

ACADEMIA DE CIENCIAS ODONTOLÓGICAS DE ESPAÑA

LA APLICACIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL AVANCE DE LAS CIENCIAS ODONTOLÓGICAS

DISCURSO PRONUNCIADO POR LA

Excma. Dra. D.^a Inmaculada Tomás Carmona

EN EL ACTO DE SU TOMA DE POSESIÓN
COMO ACADÉMICA DE NÚMERO
EL DÍA 14 DE ABRIL DE 2023

Y LA CONTESTACIÓN DEL

Excmo. Dr. D. Juan Manuel Seoane Lestón



SANTIAGO DE COMPOSTELA
MMXXIII

DEPÓSITO LEGAL: C 494-2023
ISBN: 978-84-125744-1-8
IMPRESO EN ESPAÑA

ÍNDICE

DISCURSO DE LA EXCMA. PROF.^a DRA. D.^a INMACULADA TOMÁS CARMONA

Preámbulo	7
Inteligencia Artificial. Breve descripción	10
Inteligencia Artificial en las Ciencias de la Salud: el programa <i>AlphaFold</i> . . .	13
Inteligencia Artificial en las Ciencias Odontológicas.	16
Inteligencia Artificial en la formación en Odontología	26
Limitaciones, consideraciones éticas y jurídicas de la Inteligencia Artificial en las Ciencias de la Salud	27
Bibliografía	30

DISCURSO DE CONTESTACIÓN DEL EXCMO. PROF. DR. D. JUAN MANUEL SEOANE LESTÓN

<i>Laudatio</i>	37
Comentarios a su discurso	39



DISCURSO DE LA

Excma. Prof.^a Dra. D.^a Inmaculada Tomás Carmona



Rector Magnífico de la Universidad de Santiago de Compostela
Excelentísimo Sr. Presidente de la Academia de Ciencias Odontológicas
Excelentísimas Señoras y Señores Académicos
Dignísimas Autoridades
Queridos Familiares, Compañeros y Amigos
Señoras y Señores

LA APLICACIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN EL AVANCE DE LAS CIENCIAS ODONTOLÓGICAS

PREÁMBULO

En primer lugar, me gustaría manifestar el gran honor que supone para mi haber sido propuesta Académica de Número de esta Academia de Ciencias Odontológicas. Quiero expresar mi gratitud a todos sus miembros, y de forma muy especial al Excmo. Prof. Dr. D. Antonio Bascones Martínez por considerarme merecedora de este ilustre nombramiento que recibo con gran ilusión, y que me motiva, aún más, a seguir trabajando con ánimo y tesón por el avance académico, científico y clínico de las Ciencias Odontológicas.

En segundo lugar, me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas e instituciones que de una forma u otra han hecho posible que hoy me encuentre aquí. Los primeros, mis queridos padres, Carmen y Francisco, unos buenos padres, a los que les debo todo. Ellos supieron trasmitirme los valores esenciales de la honradez, el esfuerzo y la constancia de la mejor manera posible, viéndolo desde muy niña todos los días con sus propios ejemplos.

A la Universidad de Santiago de Compostela por abrirme sus puertas hace 22 años cuando llegue a esta buena tierra con una maleta, un ordenador, aires granadinos y una ilusión infinita de “hacer carrera académica y dedicarme a la docencia e investigación”. Con el paso de los años, he descubierto mi otra vocación, ésta de índole clínica, la “Odontología en Pacientes con Necesidades Especiales”, un ámbito clínico desafiante que me plantea retos diarios, pero también me aporta grandes satisfacciones y experiencias inolvidables con nuestros pacientes

y sus familias, sus cuidadores y otros profesionales maravillosos como el Dr. José Balboa con el que es un placer trabajar.

Bajo el lema “hacer escuela”, de lo que más orgullosa me siento en estos momentos es del grupo clínico y de investigación que coordino desde hace más de 13 años. Un equipo dinámico de jóvenes profesionales, bien formados, con valores éticos y personales, con espíritu de trabajo en equipo, que contribuyen al avance de nuestro Servicio Clínico Universitario con el fin último de satisfacer lo mejor posible las necesidades de nuestros pacientes. Especial mención a las personas que me apoyaron al principio, cuando estaba todo por hacer: Angela Aneiros, Marita Sixto, Alba Regueira, Triana Blanco, Paulina Varas y Claudia Sillero que, junto con las nuevas incorporaciones, Berta Suárez, Alba Sánchez, Noelia Seijas e Iryna Kuz, conforman el actual grupo clínico e investigador.

Bajo la creencia absoluta en la importancia de llevar a cabo una “investigación multidisciplinar”, las investigadoras clínicas de mi grupo estudian y se esfuerzan por adquirir conocimientos de otras áreas científicas con el propósito de aplicarlos en el ámbito de las Ciencias Odontológicas, demostrando que es posible hacer una investigación traslacional de alta calidad en Odontología. A este respecto, expresar mi gratitud al Dr. Alejandro Mira del Instituto de Investigación FISABIO, pionero en la aplicación de las tecnologías ómicas en nuestro país, por introducirme hace más de 10 años en el fascinante mundo “ómico”.

Igualmente, mi agradecimiento a la profesora María José Carreira y a todo su equipo del Centro de Investigación en Tecnologías Inteligentes de la USC por su colaboración en diversos proyectos comunes basados en IA desde hace más de siete años, lo que nos ha permitido aprender y enriquecernos enormemente como grupo de investigación. Destacar de forma notable a la Fundación de Investigación Sanitaria de Santiago de Compostela (FIDIS) por su apoyo, el cual ha sido clave para nuestro desarrollo científico.

También, quiero agradecer la colaboración activa de distintos investigadores con nuestro grupo: las Dras. Manuela Alonso y Susana Bravo del FIDIS, la Dra. Marta Relvas del CESPU en Portugal y el Dr. Luigi Nibali del King’s College London.

Mi etapa de Vicedecana de Odontología durante cuatro años fue una experiencia muy bonita y enriquecedora en la que viví momentos inolvidables, y que debo agradecer al profesor Juan Gestal, en calidad de Decano, por la confianza que depositó en mí. Quisiera extender mi reconocimiento a todos mis compañeros de la Facultad de Medicina y

Odontología, del Departamento de Cirugía y Especialidades Médico-Quirúrgicas, y especialmente, del área de Estomatología, con los que trabajo diariamente superando obstáculos y altibajos, de los que aprendo continuamente y en los que me apoyo cuando lo necesito, encontrando siempre esa ayuda.

También, me siento muy orgullosa de pertenecer a un área que, aun siendo un grupo muy reducido de profesores permanentes, es capaz de posicionar a la Facultad de Odontología de la USC entre las 150 mejores del mundo según el último ranking de Shanghái, lo cual refleja, sin duda, la excelente formación clínica y académica del profesorado y de los tutores clínicos, así como su alto grado de compromiso e implicación en las tareas docentes e investigadoras.

Millones de gracias a mi familia por su apoyo incondicional. En primer lugar, Regina y José, son para mí, mis segundos padres porque me tratan y me cuidan como a una hija. Mis últimas palabras son para Carlos, mi marido al que adoro, la persona más generosa del mundo con la que tengo la gran suerte de compartir la vida tanto personal como profesional y que representa el motor de mi existencia.

Y a todos ustedes, muchas gracias por su asistencia a este acto.

A continuación, paso a leer el discurso preceptivo como Académica Numeraria.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL. BREVE DESCRIPCIÓN

La Inteligencia Artificial (AI) es desde hace mucho tiempo el pilar de la ciencia ficción popular, cuyo máximo exponente literario fue Isaac Asimov al formular las tres famosas leyes de la robótica.

En las últimas cinco décadas, la IA ha evolucionado espectacularmente, aportando avances de gran importancia que han mejorado nuestra vida y actividades cotidianas de muchas maneras (por ejemplo, con el reconocimiento facial, la clasificación de imágenes, la conducción autónoma, etc.). Los avances tecnológicos en robótica e IA han automatizado cada vez más tareas, en particular, trabajos laboriosos y tediosos. Los robots pueden limpiar suelos, cortar hierba y, sobre todo, ayudar en la producción industrial, con lo cual se están convirtiendo en parte integrante de nuestra vida cotidiana y profesional.

El británico Alan Turing en 1950 describió por primera vez el concepto de utilizar ordenadores para simular pensamiento crítico. En el libro *Computers and Intelligence*, Turing describió una sencilla prueba conocida como “test de Turing” o “juego de imitación” para determinar si los ordenadores eran capaces de alcanzar la inteligencia humana.

En 1956, el estadounidense John McCarthy, considerado el padre de la IA, acuñó este término como “la ciencia y la ingeniería de hacer máquinas inteligentes”. En 1959, el informático Arthur Samuel utilizó la expresión “*machine learning*” (conocido en castellano como aprendizaje automático) para referirse a un conjunto de algoritmos y al desarrollo de clasificadores. El aprendizaje automático es un tipo de IA que predice el resultado basándose en el conjunto de datos que se le proporciona, utilizando algoritmos como los árboles de decisión, las redes bayesianas, las redes neuronales, etc.

Fue en 1943 cuando Warren McCulloch y Walter Pitts propusieron el clásico modelo de neurona artificial en el que se basan las redes neuronales artificiales actuales.

La inspiración para la formación de este tipo de redes puede encontrarse en la biología del cerebro humano. Una neurona artificial es una función matemática concebida como un modelo de una neurona biológica, donde los nodos ponderados reciben las entradas (que representan las sinapsis) que son sumadas para una activación (que representa el axón) y transmiten esta activación a una función, llamada función de activación o de transferencia, para generar la señal de salida. Cada neurona actúa como una unidad elemental de procesamiento. La señal de salida de una unidad alimenta a decenas o incluso miles de

unidades situadas a continuación, organizadas paralelamente formando capas, donde múltiples capas forman finalmente una red neuronal artificial.

Esta red “aprende” de los datos de entrada y construye un modelo matemático basado en los datos proporcionados para, posteriormente, encontrar soluciones con precisión con nuevos datos no usados durante el aprendizaje. Esta herramienta de predicción puede aplicarse dinámicamente para la toma de decisiones en lugar de seguir un algoritmo estático.

El “*deep learning*” (conocido en castellano como aprendizaje profundo) es una evolución del *machine learning*, la cual fue introducida en 2006 por el informático Geoffrey Hinton, que implica un conjunto de modelos computacionales compuestos por múltiples capas de procesamiento de datos que permiten aprender representando estos datos a través de varios niveles de abstracción. En comparación con el *machine learning*, las redes neuronales profundas son capaces de aprender de forma independiente y jerarquizar el conjunto de datos de entrenamiento, pero por la contra, requieren mayores cantidades de datos. El desarrollo del algoritmo de retropropagación en 1969 allanó el camino para el desarrollo de los sistemas de *deep learning*.

A partir del año 2000, la disponibilidad de conjuntos de datos más amplios gracias al desarrollo de internet y una mejora significativa de la potencia informática impulsó de forma extraordinaria el avance de la IA. Otro factor indirecto, que en muy pocas ocasiones se destaca, son los movimientos de software libre o de código abierto.

Un gran visionario llamado Richard Matthew Stallman, denominado coloquialmente como RMS, fue el fundador del movimiento del software libre, desarrolló el sistema operativo GNU y creó la fundación para el software libre (*Free Software Foundation*). El fin último de Stallman y de este movimiento era la democratización en el uso y distribución del software, incluyendo poder estudiarlo, cambiarlo y redistribuirlo una vez modificado. Más adelante, apareció el sistema operativo Linux desarrollado por Linus Torvalds en 1991. A partir de estos proyectos se desarrollaron nuevos lenguajes de programación con propósitos muy diferentes. Entre éstos, hay que destacar los lenguajes R y Python como los dos grandes motores del desarrollo de las nuevas técnicas aplicadas en la IA.

En el 2011, tuvo lugar el inicio de la denominada “Cuarta Revolución Industrial”, también conocida como Industria 4.0, caracterizada por el empleo de tecnología informática para imitar el pensamiento crítico, la

toma de decisiones y un comportamiento inteligente similar al de los humanos. Actualmente, bajo el concepto de IA, hay distintos ámbitos científicos entre los que destacaremos la visión por ordenador y el procesamiento del lenguaje natural.

La visión por ordenador es el proceso mediante el cual un ordenador obtiene información y comprensión de una serie de imágenes o vídeos lo que permite, posteriormente, la toma de decisiones. Este ámbito científico es una pieza esencial de la tecnología de IA que utiliza *deep learning* y redes neuronales convolucionales. Una red neuronal convolucional se compone de varias capas que analizan imágenes para reconocer y encontrar patrones que permiten crear filtros específicos. El resultado final se produce por la combinación de todas las características de las capas totalmente conectadas. La función de la red neuronal convolucional es compactar las imágenes en una plantilla que sea más sencilla de manejar sin perder los detalles esenciales. Distintas áreas de la visión por ordenador son la clasificación de textos alfanuméricos, la clasificación de imágenes digitales y el reconocimiento de objetos.

El procesamiento del lenguaje natural es el campo de conocimiento de la IA que se ocupa de investigar la manera de comunicar las máquinas con las personas mediante el uso de cualquier comunicación escrita o hablada. Actualmente, el GPT-4 es uno de los modelos de lenguaje natural más potentes que ha sido creado por la empresa *OpenAI* y que puede usarse para múltiples tareas específicas como, por ejemplo, generar texto similar al habla humana, clasificar textos, escribir software en distintos lenguajes, responder a preguntas, etc.

ChatGPT-4, recientemente presentado hace un par de semanas, representa un extraordinario avance en el campo de la IA, ya que es una interfaz conversacional basada en GPT-4 donde el usuario interactúa con la máquina con un grado de sofisticación tan elevado que, en ocasiones, puede parecer una persona real debido a que es capaz de entender el lenguaje natural con una precisión sin precedentes. GPT-4 está construido sobre la misma arquitectura que su predecesor, pero ha sido entrenado con un conjunto de datos mucho más grande, lo que lo hace más potente y capaz de entender y generar un lenguaje más complejo. GPT-4 ha sido entrenado con más de 10 billones de palabras, que es 10 veces más que ChatGPT-3. Además, una novedad importante es que ahora puede procesar imágenes.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LAS CIENCIAS DE LA SALUD: EL PROGRAMA *ALPHAFOLD*

En Ciencias de la Salud, un número creciente de campos pueden beneficiarse del apoyo de la IA, incluido el quirúrgico (por ejemplo, sistemas inteligentes de cirugía asistida y videocirugía), el diagnóstico automático de enfermedades (por ejemplo, sistemas de diagnóstico de apoyo a la decisión a partir de imágenes) y la medicina personalizada que proporciona la predisposición a las enfermedades, el diagnóstico y la selección del mejor tratamiento para un individuo concreto. De igual forma, la IA contribuye potencialmente al avance de la medicina preventiva del futuro.

En 2019, Morgan Stanley, la multinacional financiera estadounidense, estimó que el mercado mundial de IA en la atención sanitaria podría pasar de 1.300 millones de dólares a 10.000 millones para el 2024, creciendo a una tasa compuesta anual del 40%.

En la literatura científica, hay un sinfín de desarrollos de IA aplicados a diferentes problemáticas clínicas en distintas especialidades médicas. Sin embargo, me gustaría centrarme en describir el que, probablemente, sea el mejor desarrollo de IA realizado hasta la fecha en el campo de la Biomedicina, se denomina *Alpha Fold*.

Las proteínas están presentes en todos los seres vivos y desempeñan un papel central en los procesos químicos esenciales para la vida. Están compuestas por cadenas de aminoácidos y se erigen en estructuras de tres dimensiones de infinitas formas muy elaboradas y complejas. La forma geométrica tridimensional de las proteínas determina sus funciones biológicas y su posible combinación con otras moléculas.

Muchas enfermedades están relacionadas con el papel de las proteínas en la catalización de reacciones químicas (enzimas), pero también en la lucha contra enfermedades (anticuerpos) o actuando como mensajeros químicos (como la insulina). Incluso pequeños reordenamientos de estas moléculas fundamentales pueden tener efectos catastróficos en nuestra salud, por lo que una de las formas más eficientes de comprender una enfermedad y encontrar nuevos tratamientos es estudiar la estructura tridimensional de las proteínas participantes.

Hay decenas de miles de proteínas humanas y muchos miles de millones en otras especies, incluidas bacterias y virus, pero conocer la forma de una sola proteína requiere equipos costosos y puede llevar años.

En 1972, Christian Anfinsen fue galardonado con el premio Nobel por su trabajo que demuestra que es posible determinar la forma de las proteínas basándose en la secuencia de sus componentes básicos de aminoácidos. Cada dos años, decenas de equipos de investigación de más de 20 países usan ordenadores para intentar predecir la forma de un conjunto de alrededor de 100 proteínas a partir de sus secuencias de aminoácidos.

Al mismo tiempo, los biólogos elaboran las estructuras tridimensionales en el laboratorio utilizando técnicas tradicionales como la cristalografía de rayos X y la espectroscopía de resonancia magnética nuclear, las cuales determinan la ubicación de cada átomo en relación con otro en la molécula de proteína.

Un equipo de científicos del CASP (el experimento comunitario sobre la evaluación crítica de la predicción de la estructura de la proteína) compara estas predicciones con estructuras en 3D que ya han sido resueltas usando métodos experimentales.

DeepMind, un laboratorio de investigación británico fundado en 2011, muy conocido por haber alcanzado varios hitos en IA, ha sido el creador de *AlphaFold*. Este programa es el primer método computacional que puede predecir regularmente la estructura tridimensional de las proteínas con precisión atómica, incluso en casos, en los que no se conoce ninguna estructura similar. Se basa en un novedoso enfoque de aprendizaje automático que incorpora conocimientos físicos y biológicos sobre la estructura de las proteínas, aprovechando las alineaciones multisequenciales en el diseño del algoritmo de aprendizaje profundo. La precisión alcanzada por *AlphaFold* es comparable con la obtenida con las técnicas de laboratorio.

La consecuencia inmediata de este algoritmo ha sido la asociación en el año 2021 entre *DeepMind* y el Instituto Europeo de Bioinformática (*European Bioinformatics Institute*, EBI) para determinar y poner a disposición de la comunidad científica cientos de miles de predicciones informatizadas de estructuras proteicas de forma gratuita a través de un nuevo recurso de datos, denominado *AlphaFold DataBase (AlphaFold DB)*.

La versión inicial de *AlphaFold DB* proporciona predicciones de la estructura de la mayoría de las proteínas del proteoma humano, así como de los proteomas de otras 20 especies de gran interés biológico o médico. En los siguientes meses, se pretende predecir las estructuras de todas las secuencias de proteínas conocidas que se encuentran almacenadas en la base de datos *UniProt*. Así pues, por primera vez en

la historia de la humanidad se dispondrá de un modelo 3D de alta calidad para casi todas las proteínas de secuencia conocida.

Actualmente, existen solo 180.000 secuencias de proteínas cuyas estructuras en tres dimensiones están desarrolladas, cuando realmente se conocen 246 millones de secuencias diferentes en *UniProt* de las cuales su estructura es desconocida, lo que supone una limitación importante en muchas áreas de investigación.

Los modelos *AlphaFold* tendrán un impacto inmediato en la investigación de la biología estructural molecular y, a más largo plazo, una importante repercusión científica, médica y, en última instancia, económica. Aportarán nuevos conocimientos y comprensión de procesos fundamentales relacionados con ciencias de la salud, biotecnología, agricultura, ciencia de los alimentos y bioingeniería.

La disponibilidad de ese gran número de modelos predichos podrá utilizarse para poner en marcha la determinación experimental de estructuras *de novo*, incluso con conjuntos de datos de baja calidad o resolución, que de otro modo serían difíciles o imposibles de resolver. Con esta herramienta se acelerará la identificación de nuevos fármacos candidatos y dianas farmacológicas, ya que ahora se dispondrá de modelos tridimensionales para empezar a buscar sitios susceptibles de fármacos, poner en marcha la determinación de estructuras, diseñar pantallas de ligandos o fragmentos dirigidos.

El fundador de *DeepMind* es Demis Hassabis que, con tan solo 46 años, recibió el año pasado el premio Princesa de Asturias de Investigación Científica y Técnica.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LAS CIENCIAS ODONTOLÓGICAS

Indudablemente, la IA también ha llegado a la Odontología en los últimos años, y se espera que la revolucione mucho más en las próximas décadas. En nuestro ámbito, al igual que en el resto de la Ciencias de la Salud, los sistemas de IA nos van a permitir determinar con precisión características clínicas relevantes, establecer el diagnóstico o tratamiento de una enfermedad e incluso anticipar la presencia de la patología oral o su pronóstico mediante el análisis de genes, la priorización de factores de riesgo o la predicción de resultados.

A continuación, se expondrán algunos desarrollos novedosos de IA aplicados a resolver importantes problemáticas clínicas en las distintas áreas de la Odontología.

Odontología preventiva

Se sabe que la placa dental está directamente relacionada con la aparición y progresión de importantes enfermedades o situaciones orales como son la caries, las descalcificaciones, las enfermedades periodontales o la halitosis. Por ello, la monitorización del desarrollo de la placa dental es un tema de suma importancia para establecer mejores estrategias preventivas y de control de las enfermedades orales causadas por biopelículas microbianas.

Existen varios índices clínicos utilizados con frecuencia en el ámbito clínico y por la comunidad científica para cuantificar la placa dental. En general, la mayoría de estos índices convencionales emplean una escala ordinal como parte de un método sencillo y semicuantitativo para evaluar superficies cubiertas por placa dental. Sin embargo, su aplicación en boca completa consume mucho tiempo y tiene grandes limitaciones, dada la gran imprecisión y subjetividad inherente a la realización de exámenes visuales.

Con la finalidad de crear una herramienta que fuera útil a clínicos e investigadores, nuestro grupo de investigación desarrolló en 2018 el software *DenTiUS Deep Plaque*, el cual incorpora algoritmos de IA y permite la cuantificación automática, fiable y repetible de los niveles de placa dental, proporcionando información sobre el área, la intensidad y el patrón de crecimiento. El sistema cuantifica no solo los niveles de placa madura visible al ojo humano equiparable a la que se detectaría con los índices convencionales, sino también los niveles de una placa

inmadura no visible, abarcando de este modo todo el proceso evolutivo de desarrollo de la placa dental.

La aplicación del software *DenTiUS Deep Plaque* en el análisis de los patrones de evolución de la placa asociados a diferentes condiciones orales, así como para evaluar la eficacia de diversas medidas de higiene oral, representa una mejora sustancial en el ámbito clínico y en la calidad metodológica de los estudios, aportando mayor fiabilidad que los índices clínicos convencionales.

Odontología conservadora

La caries dental se considera una causa de discapacidad que afecta a personas de todas las edades en todo el mundo. A escala mundial, se calcula que la caries dental afecta a 530 millones de niños con dentición temporal y 2.300 millones de adultos con dentición permanente.

El dolor y las molestias que suelen asociarse a la caries dental pueden llegar a comprometer el sueño, la dieta, el bienestar social y la autoestima del individuo, lo que puede afectar a su calidad de vida. En 2015, se informó que el coste mundial de las enfermedades bucodentales, implicando a la caries dental, superaba los 540.000 millones de dólares, lo que supone una importante carga sanitaria y financiera.

Por consiguiente, la detección precoz y precisa de la patología cariosa puede permitir medidas preventivas rentables y opciones de tratamiento más conservadoras, reduciendo los costes sanitarios. Tradicionalmente, la inspección visual y exploración táctil con sonda en combinación con la evaluación radiográfica es el método de diagnóstico habitual para la detección de la caries dental. Sin embargo, los estudios indican la presencia de una variabilidad considerable en su fiabilidad y precisión condicionada, principalmente, por el nivel de experiencia clínica de los odontólogos. La sensibilidad puede oscilar entre el 19-92% para la caries oclusal y del 39-94% para la caries interproximal.

En la actualidad, son numerosos los modelos de IA desarrollados para la predicción, detección y diagnóstico de la caries dental. En una revisión sistemática publicada por Rahimi et al. en 2022 en la que se analizó 42 sistemas de IA, la precisión de los modelos de clasificación de caries varió, del 89% al 95% en las imágenes de tomografía de coherencia óptica, del 82% al 99% en radiografías periapicales, del 88% al 95% en radiografías de aleta de mordida y del 86% al 96% en las radiografías panorámicas. Los sistemas de IA funcionaron peor sobre fotografías intraorales (71-96%) e imágenes de transiluminación (68-78%).

En consecuencia, la aplicación de sistemas de IA sobre determinadas imágenes radiológicas podría utilizarse en la práctica clínica para mejorar el diagnóstico y la calidad del tratamiento de la caries dental. También, estos modelos predictivos pueden contribuir a mejorar la planificación de la atención odontológica preventiva, y el diseño de planes de higiene bucal y control dietético en pacientes con alto riesgo de caries dental.

Endodoncia

La IA en el campo de la endodoncia está adquiriendo cada vez más relevancia debido a su importancia en el diagnóstico de patología y en la planificación del tratamiento endodóntico.

La infección bacteriana del sistema de conductos radiculares suele dar lugar a una periodontitis apical que se presenta como lesiones radiolúcidas periapicales en las radiografías; su prevalencia puede alcanzar hasta el 35% en dientes endodonciados.

Aunque el diagnóstico definitivo de la periodontitis apical requiere un estudio histopatológico, la detección de esta patología se realiza mediante examen clínico y/o radiográfico. En las radiografías, las lesiones periapicales presentan una visión radiolúcida que va desde un ligero ensanchamiento del ligamento periodontal hasta una aparente lesión bien definida. A menudo, su detección es casual, ya que muchas de estas lesiones son asintomáticas.

Las técnicas radiográficas convencionales tienen limitaciones inherentes y de interpretación diagnóstica debido a que son imágenes bidimensionales de lesiones tridimensionales en las que hay falta de homogeneidad y superposición de otras estructuras anatómicas. Las imágenes tridimensionales como la tomografía computarizada de haz cónico (*Cone Beam Computed Tomography*, CBCT) tienen mayor precisión en detectar lesiones periapicales, pero son más costosas y exponen a los pacientes a dosis de radiación más elevadas. Los recientes avances en radiografía digital se centran en reducir la subjetividad del evaluador y aumentar la precisión diagnóstica.

Recientemente, Sadr et al. investigaron de forma sistemática y metaanalítica la precisión de los modelos de *deep learning* en la detección de lesiones radiolúcidas periapicales en imágenes radiográficas. El estudio incluyó 18 desarrollos de IA, de los cuales 6 se seleccionaron para los análisis cuantitativos. En comparación con los clínicos expertos, la IA mostró mayor precisión en la detección de lesiones radiolúcidas en la zona dentaria periapical sobre imágenes radiográficas con unos valores de sensibilidad del 92,5% y de especificidad del 85%.

Las diferencias observadas en los parámetros de clasificación entre los distintos sistemas automatizados se atribuyeron a diversos factores: tipo de imagen utilizada, el CBCT en comparación con las radiografías panorámicas mostraron mayor detalle y menos artefactos anatómicos en las regiones de interés; el tipo de diente (su angulación y posición) y su ubicación respecto a estructuras superpuestas que afectan a la capacidad discriminativa del modelo, y en tercer lugar, los distintos filtros utilizados para aumentar los datos de entrenamiento de los modelos.

En la literatura también se describen otros desarrollos de IA dirigidos a la detección de fracturas radicales verticales, la predicción de la morfología del canal radicular, la localización del foramen apical menor, la segmentación dental e incluso a la predicción del retratamiento endodóntico.

Ortopedia y ortodoncia

El diagnóstico preciso, la planificación del tratamiento y la predicción del pronóstico son los factores clave para el éxito de cualquier tratamiento ortodóntico.

La IA es cada vez más frecuente en el ámbito de la ortodoncia y se utiliza, principalmente, para identificar y analizar puntos de referencia cefalométricos, toma de decisión en la extracción de dientes permanentes, predicción de cirugía ortognática, determinación de la edad cronológica, patrones de crecimiento, análisis facial y segmentación de dientes, mandíbula y articulación temporomandibular.

Desde hace décadas, la identificación de puntos de referencia cefalométricos en radiografías laterales de cráneo ha sido fundamental en el diagnóstico ortodóntico. Una identificación incorrecta de los puntos de referencia cefalométricos por parte del profesional clínico puede causar decisiones incorrectas en el tratamiento ortodóntico. Actualmente, existen varios softwares y aplicaciones web basados en IA que permiten realizar análisis cefalométricos automatizados tales como CephX, WebCeph, Dolphin Imaging, Quick Ceph, FACAD, AudaxCeph y OrisCeph Rx.

“Extraer o no extraer” ha sido la cuestión clave en la ortodoncia desde tiempos inmemoriales, con una alta variabilidad en las decisiones de los ortodoncistas. Como era de esperar, existen un elevado número de desarrollos de IA que reducen la subjetividad relativa o la mayor complejidad de tomar la decisión de la extracción dental. Dependiendo del modelo de red neuronal artificial, los porcentajes de acierto oscilaron entre el 80% y el 92%, evidenciándose que estos sistemas automatizados

son válidos prediciendo la necesidad de exodoncia previa a la ortodoncia y pueden representar una buena guía de planificación del tratamiento para profesionales con menos experiencia.

Choi et al. ampliaron el uso de las redes neuronales artificiales para determinar la posible indicación de cirugía ortognática, además de la decisión de exodoncia. Los resultados de su estudio mostraron una tasa de éxito del 96% para la decisión de cirugía ortognática *versus* no cirugía, y del 91% para el diagnóstico detallado del tipo de cirugía y la decisión de exodoncia.

La determinación de la edad cronológica es un aspecto clínico de interés en el ámbito de la odontopediatría y ortodoncia, con la existencia de varios métodos clásicos, como los métodos de Nolla y Dermijian, basados en el desarrollo dentario observado en una ortopantomografía. Sin embargo, estos métodos muestran importantes limitaciones, ya que se tratan de mediciones o clasificaciones manuales asociadas a un alto grado de subjetividad intra e interobservador, y su aplicación requiere radiografías panorámicas que cumplan estrictos criterios de inclusión como la ausencia de patología dental o tratamiento.

En 2019, nuestro grupo de investigación desarrolló la aplicación informática *DenTiUS Age*, la cual está formada por dos arquitecturas de redes neuronales convolucionales, y cuyo propósito es realizar la estimación automatizada de la edad cronológica sobre radiografías panorámicas, incorporando características específicas del sexo. El método *DASNet* se comparó con los métodos manuales de estimación de la edad cronológica, mostrando menos problemas de sobreestimación o subestimación. En consecuencia, nuestro sistema de IA puede utilizarse para predecir automáticamente de forma fiable la edad cronológica de un sujeto, especialmente, en sujetos jóvenes con dentición en desarrollo.

En base a los hallazgos observados en los mapas de calor que nos indicaban que los dientes eran los elementos de la imagen que contribuían más a la predicción de la edad cronológica, y con la finalidad de facilitar la interpretabilidad del sistema automatizado, el siguiente objetivo de desarrollo que nos planteamos fue una aplicación de IA basada en dos redes neuronales convolucionales centradas en las estructuras dentarias. Estas redes permitieron, en primer lugar, la detección y selección de los dientes permanentes mandibulares y, en segundo lugar, la estimación de distribuciones de probabilidad de la edad cronológica por cada diente para obtener la predicción final del parámetro. Así, por ejemplo, en un paciente con 18 años y 3 meses, los dientes posteriores 37, 47, 38 y 48 fueron los dientes más predictores de la edad cronológica.

Actualmente, los sistemas de IA se encuentran integrados en la planificación y fabricación de los dispositivos ortodóncicos. Utilizando escaneados 3D precisos y modelos virtuales se pueden imprimir en 3D los alineadores de ortodoncia de acuerdo con una estrategia de tratamiento única. A medida que se procesan datos, se desarrolla un algoritmo que determina de forma inteligente la cantidad de presión y la forma en que los dientes del paciente deben ser alineados, así como los puntos de presión específicos. Los alineadores asistidos por IA prometen acortar los tiempos de tratamiento y simplificar los horarios de las citas, además de proporcionar una ejecución precisa del tratamiento y un seguimiento de los progresos.

Periodoncia

La periodontitis está considerada la sexta enfermedad más prevalente en la humanidad afectando a más 795 millones de personas en todo el mundo y, probablemente, estas cifras aumenten a medida que la población siga envejeciendo.

Esta enfermedad es una de las principales causas de pérdida prematura de los dientes con un elevado impacto sobre la calidad de vida, y se ha relacionado con patologías sistémicas graves como la diabetes, las enfermedades cardiovasculares y la demencia. Por lo tanto, un diagnóstico preciso y rápido de la afección periodontal es esencial, ya que la pérdida ósea y de tejidos blandos puede provocar secuelas estéticas, funcionales y sistémicas.

La periodontitis también supone un reto para los odontólogos a la hora de reconocerla y diagnosticarla con precisión. Actualmente, el diagnóstico clínico de esta enfermedad se centra en medir los tejidos blandos con una sonda graduada y evaluar los tejidos duros con imágenes radiográficas. Sin embargo, estos métodos muestran una baja fiabilidad inter e intraexaminador debido a las variaciones en la presión de sondaje y la angulación radiográfica.

En el ámbito de la periodoncia, la IA se encuentra aún en una fase relativamente incipiente y aún no se ha aprovechado todo su potencial. De hecho, hay trabajos en la literatura en los que se evaluó la eficacia de la aplicación de un sistema automatizado en el diagnóstico de la inflamación gingival, pero los resultados no fueron óptimos, con valores de AUC de 0,67.

Otros autores demostraron que un algoritmo de red neural convolucional desarrollado sobre datos radiográficos periapicales era útil para evaluar la detección y la progresión de dientes periodontalmente

comprometidos, con valores de precisión diagnóstica del 81% para premolares y del 77% para molares, y valores de precisión para predecir la exodoncia del 83% para premolares y del 73% para molares. Para estos autores, estos resultados podrían mejorar con una mayor optimización del conjunto de datos y mejoras en los algoritmos.

En la última década, el desarrollo de la secuenciación del metagenoma completo y de la tecnología de secuenciación del ARNr 16S ha acelerado drásticamente la investigación del microbioma oral asociado a las enfermedades orales, incluidas las periodontales. Debido a la alta dimensionalidad y a las características intrínsecas de los datos, los métodos bioinformáticos tradicionales sólo pueden explicar los cambios más significativos con una predicción limitada. En cambio, la IA basada en el aprendizaje automático es capaz de desenmarañar la alta dimensionalidad y los complicados problemas correlacionales, contribuyendo a mejorar la precisión en el diagnóstico de las enfermedades y a identificar nuevos biomarcadores.

Actualmente, nuestro grupo de investigación a partir de más de 3000 muestras adecuadamente clasificadas se encuentra trabajando en el desarrollo de diferentes modelos de *machine learning* y en el ensamblado de múltiples de estos modelos. Todos ellos son construidos a partir de secuencias genómicas orales del gen bacteriano 16S ARNr con el fin último de desarrollar clasificadores fenotípicos para el diagnóstico, por ejemplo, de la periodontitis en sus distintos grados de severidad, obteniéndose excelentes resultados preliminares de precisión de entre el 86% y el 92%.

Implantología

El resultado del tratamiento con implantes dentales depende en gran medida de la precisión de su colocación. Para reducir los errores de colocación de los implantes, los odontólogos utilizan plantillas quirúrgicas y sistemas de navegación. Sin embargo, la ubicación de un diente ausente y las limitaciones de la boca pueden crear posiciones de trabajo incómodas, que pueden provocar fatiga y errores humanos. La cirugía de implantes asistida por robot permitiría una mayor flexibilidad, estabilidad y precisión en la colocación de implantes.

En 2017, Zhao et al. presentaron el primer sistema autónomo de colocación de implantes dentales del mundo. Los procedimientos quirúrgicos se podían ejecutar sin la intervención de un profesional, y las tareas quirúrgicas pueden modificarse automáticamente con un alto grado de autonomía. Sin embargo, los datos de validación son escasos

en cuanto a la viabilidad y fiabilidad de la colocación del implante por parte del sistema robótico.

El Hospital de la Cuarta Universidad Médica Militar (Xi'an, China) y la Universidad de Pekín también desarrollaron un robot autónomo implantológico en 2017. El sistema robótico tenía como objetivo prevenir errores quirúrgicos e incluía un robot mecánico, el software *DentalNavi*, una base de implantación y una base guiada por imágenes. Tras colocar los implantes dentales, se evaluó la precisión comparando el CBCT postcirugía con la trayectoria preoperatoria planificada. El resultado fue excelente, con una desviación media de entrada de $0,70 \pm 0,14$ mm y una desviación apical media de $0,99 \pm 0,14$ mm.

Aunque se está produciendo un enorme avance hacia los robots autónomos en implantología, en la actualidad, los pocos sistemas robóticos prometedores aún no están a disposición de los profesionales clínicos. Hay que superar el elevado coste de adquisición y la complejidad innata del hardware antes de que los robots se generalicen en la práctica de este procedimiento odontológico. Otro aspecto vital que considerar será la aceptación y conformidad de su uso por parte de los profesionales y los pacientes.

Medicina oral y cirugía maxilofacial

La incidencia mundial del cáncer oral ha aumentado en los últimos años. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), se estima que cada año se detectan alrededor de 700.000 nuevos casos detectados de cáncer de cavidad oral y faringe, y también es motivo de 330.000 fallecimientos.

Específicamente, el carcinoma oral de células escamosas (COCE) es un tipo frecuente de cáncer del epitelio oral que representa más del 90% de los cánceres orales. Los COCE son la sexta neoplasia más frecuentes del mundo. A pesar de su elevado impacto en la mortalidad, los métodos de cribado para el diagnóstico precoz del COCE a menudo carecen de precisión y, por tanto, estos cánceres se suelen diagnosticar mayoritariamente en una fase tardía. Sin embargo, es sabido que la detección precoz y la estimación precisa del contorno de los COCE conducirían a un mejor resultado curativo y a una reducción de las tasas de recurrencia tras el tratamiento quirúrgico. El diagnóstico precoz puede aumentar la tasa de supervivencia hasta el 75-90%.

La aplicación de la IA en la detección y clasificación de alteraciones sospechosas de la mucosa, tanto premalignas como malignas, puede ser extraordinariamente beneficiosa. En la revisión sistemática publicada

por Al-Rawi et al. en 2022 se analizó el uso de IA en el diagnóstico del cáncer oral en 17 estudios seleccionados con un total de 7.245 pacientes y 69.425 imágenes de diferente índole (fotográficas, histopatológicas, de autofluorescencia y luz blanca, etc.). En base a sus resultados, estos autores concluyeron que el aprendizaje profundo era más preciso que el aprendizaje automático supervisado para el diagnóstico precoz del cáncer oral con valores mínimos de precisión del 81% frente al 43,5%.

Los estudios de IA sobre imágenes histopatológicas demostraron mayor eficacia cuando los modelos predictivos incluían datos clínicos y genómicos, de tal forma que, cuando la experiencia clínica de los patólogos expertos se combinaba con sistemas de IA podían obtenerse resultados superiores con menos errores de diagnóstico. Por otro lado, resaltar el potencial de los modelos predictivos de estar constantemente retroalimentándose con datos adicionales que permiten la mejora en las predicciones.

Algunos autores evaluaron un enfoque automático para el diagnóstico del COCE utilizando tecnologías de aprendizaje profundo en imágenes de endomicroscopía láser confocal, y comprobaron como el sistema de IA superaba el estado del arte en el reconocimiento y clasificación de estas imágenes de microscopía con un AUC de 0,96 y una precisión del 88% (sensibilidad del 87% y especificidad del 90%).

La tomografía de coherencia óptica (OCT) es una técnica confiable para diagnosticar lesiones cancerosas orales. Hay estudios que plantearon que la adición de un algoritmo de IA a un sistema de OCT superaría los requisitos de formación de los usuarios para la lectura de este tipo de imágenes. Los resultados demostraron que la plataforma automatizada de detección del cáncer podía diferenciar entre tejidos sanos y displásicos con respecto a tejidos malignos con una sensibilidad del 87% y una especificidad del 83%.

En la actualidad, el uso de biomarcadores del cáncer oral en el ámbito clínico es limitado. La introducción de numerosas tecnologías ómicas como la genómica y la proteómica ha permitido recopilar grandes cantidades de datos sobre el cáncer oral. La práctica clínica mejorará significativamente en el futuro con la combinación de las características de las imágenes clínico-patológicas y los datos ómicos bajo el enfoque de la IA.

Las lesiones malignas de la orofaringe no siempre son fácilmente accesibles quirúrgicamente y el tratamiento convencional debe recurrir a menudo a la radioterapia y/o quimioterapia. En este sentido, la cirugía maxilofacial robótica asistida por IA se ha convertido en una posibilidad

atractiva, especialmente, en el tratamiento del carcinoma orofaríngeo. En 2009, la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (*Food and Drug Administration*, FDA) aprobó el sistema da Vinci para el tratamiento quirúrgico de determinadas lesiones malignas y no malignas de la orofaringe, incluso las localizadas en la base de la laringe y la lengua.

Odontología forense

La odontología forense es la rama de la odontología que trata del manejo y el examen adecuado de la evidencia dental y de la valoración de los hallazgos dentales que puedan tener interés por parte de la justicia. La odontología forense abarca temas relevantes para las investigaciones judiciales tales como: dictámenes de edad en procesos migratorios y de adopción, delitos sexuales, maltrato infantil, responsabilidad profesional y tragedias masivas. La tecnología de IA se ha aplicado en este campo y ha aportado excelentes resultados.

Como ejemplo, citaremos los desarrollos de IA realizados por nuestro grupo de investigación sobre imágenes panorámicas para la predicción del sexo en base a la mandíbula o los dientes. En el primero, aplicamos una red neural convolucional para la detección automática del contorno de la mandíbula y, en un segundo paso, evaluamos cuatro descriptores diferentes de la forma de la mandíbula. El valor máximo de precisión obtenido en la predicción del sexo fue del 88%, lo que supuso un 89% de identificaciones correctas para las mujeres y un 86% para los hombres. Con respecto a los dientes, la predicción automatizada del sexo utilizando los caninos y los primeros molares permanentes se asoció a una precisión del 92%.

Por último, pero no por ello menos importante, uno de los usos más creativos y espectaculares de la IA es el campo de la “bioimpresión”, que permite crear tejidos vivos e incluso órganos en finas capas sucesivas de células. Puede que algún día se utilice para reconstruir tejidos orales duros y blandos que se han perdido por causas involuntarias o patológicas.

INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA FORMACIÓN EN ODONTOLOGÍA

En Japón, en 2017, se realizó el experimento de utilizar un humanoide, es decir, un sistema robótico de simulación de sujeto de cuerpo completo para comprobar si un sujeto robótico (un supuesto “paciente”) era más eficaz en comparación con los maniquíes utilizados normalmente por los estudiantes de Odontología a la hora de acostumbrarse a los “pacientes reales”.

El humanoide SIMROID, llamado “Hanako”, mide 165 cm de alto y su piel tiene un patrón de encías basado en vinilcloruro con esqueleto metálico. “Hanako” emula a un humano en sus expresiones y acciones, puede realizar movimientos de muñeca, codo, lengua y mandíbula, sacudir la cabeza ante el dolor, parpadear, girar los ojos y expresar verbalmente su malestar. Además, también puede simular funciones para inducir el flujo salival y el sangrado, y simular el reflejo del vómito mediante un sensor de úvula. La experiencia docente evidenció que el uso de SIMROID demostró ser eficaz para mejorar la actitud de los estudiantes hacia los pacientes, dando así importancia a las consideraciones sobre los “pacientes reales” durante la práctica formativa odontológica.

Actualmente, las tecnologías inmersivas desarrolladas con IA tienen aplicaciones muy evidentes en la formación odontológica, ya que permiten a los clínicos pasar de los enfoques 2D a la visualización en 3D. La realidad virtual, la realidad aumentada, la realidad mixta y la tecnología háptica (que es una extensión de la realidad virtual) han cobrado un enorme impulso en la formación odontológica.

La tendencia educativa actual en los estudios de Odontología se concentra, específicamente, en el uso de modelos de realidad virtual y realidad aumentada para ayudar a los estudiantes en la optimización del proceso enseñanza-aprendizaje, desarrollando una educación digital crítica con la adquisición de habilidades y una retroalimentación personalizada. En la actualidad, las simulaciones de realidad virtual y realidad aumentada más usadas y cuya eficiencia han sido constatadas, son en la preparación de cavidades dentarias, la navegación quirúrgica y la formación anestésica.

Aunque la utilidad generalizada de las herramientas virtuales en la enseñanza odontológica aún no es concluyente y se requiere más investigación y evidencia científica, la integración de las tecnologías basadas en IA en los planes de estudios futuros es una realidad inminente.

LIMITACIONES, CONSIDERACIONES ÉTICAS Y JURÍDICAS DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LAS CIENCIAS DE LA SALUD

En 2021, la Organización Mundial de la Salud (OMS) estableció seis principios consensuados para garantizar que la IA redunde en un beneficio a la humanidad: (1) proteger la autonomía humana, los profesionales deben seguir controlando el sistema sanitario y las decisiones médicas, (2) garantizar la seguridad, precisión y eficacia de la IA, (3) garantizar la transparencia, la comprensibilidad y la inteligibilidad de la IA, (4) fomentar la responsabilidad y asumir consecuencias de la aplicación incorrecta de la IA, (5) garantizar la inclusión y la equidad y (6) promover una IA receptiva y sostenible.

Como principales limitaciones actuales, señalar la necesidad de potenciar la IA explicable o interpretable, la cual tiene como objetivo establecer transparencia haciendo que los resultados de la solución sean comprensibles para el ser humano, aumentando la interpretabilidad del sistema y la confianza en la predicción. Por otro lado, la dificultad de encontrar estudios que compartan el código informático puede cuestionar su grado de fiabilidad, ya que impide su posible réplica y limita la reproducibilidad general de la investigación en el campo de la IA.

A pesar del buen rendimiento encontrado de los diferentes sistemas inteligentes en Ciencias de la Salud, los investigadores, los clínicos y los responsables de la toma de decisiones deben permanecer cautelosos, ya que la mayoría de estos desarrollos de IA sólo se validaron internamente por lo que se precisa verificar su fiabilidad utilizando datos externos adecuados. Consecuentemente, la comunidad científica se encuentra obligada a incrementar el número de estudios clínicos prospectivos dirigidos a comparar los sistemas automatizados con las decisiones tomadas por los profesionales sanitarios, lo que permitirá estimar su potencial clínico real. Esta falta de claridad en la eficacia de los sistemas de IA se ha considerado un riesgo para la seguridad de los pacientes y el sistema sanitario.

En muchos sentidos, se plantea una cuestión contradictoria: ¿Cómo se puede aceptar las promesas del desarrollo de la IA al tiempo que se abordan sus posibles desafíos morales? Uno de ellos, es el riesgo de crear una brecha entre la investigación y el uso clínico, así como debilitar la confianza de los profesionales sanitarios y pacientes en los futuros desarrollos y dispositivos. Esta cuestión de la confianza es clave y

podría requerir que los investigadores examinen más a fondo los riesgos potenciales asociados a las tecnologías de IA utilizadas en su trabajo.

La Comisión Europea en su Libro Blanco de IA publicado en el 2020 destaca como el centro del problema de confianza “la naturaleza de los datos y su uso adecuado”. La Comisión Europea afirma que:

“A medida que la tecnología digital adquiere un carácter cada vez más primordial en los distintos aspectos de la vida de las personas, es necesario que estas últimas puedan confiar en ella. Generar confianza es un requisito previo para su adopción...”

En este libro, la Comisión reitera en varias ocasiones la importancia de la confianza que deben de transmitir este tipo de tecnologías escribiendo:

“Teniendo en cuenta el enorme impacto que puede tener la inteligencia artificial en nuestra sociedad y la necesidad de que suscite confianza, resulta clave que la inteligencia artificial europea se asiente en nuestros valores y derechos fundamentales, como la dignidad humana y la protección de la privacidad”.

En este sentido, las distintas ciencias médicas están elaborando directrices y protocolos éticos con el fin de utilizar mejor la IA en su área. En nuestro caso, la Federación Dental Internacional ha publicado recientemente el Libro Blanco de la IA en Odontología.

Cabe señalar las consideraciones medioambientales derivadas del uso de esta tecnología, el campo podría enfrentarse a una realidad compleja, ya que la IA es una tecnología altamente contaminante con una huella de carbono cada vez mayor, pero paradójicamente, también contribuye a alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030 establecidos en la Asamblea General de las Naciones Unidas en el 2015.

Respecto a la supervisión reglamentaria, tanto la Agencia Europea del Medicamento (EMA) como la FDA han abordado la necesidad de establecer procesos de regulación jurídica y ética a la hora de autorizar dispositivos médicos basados en sistemas inteligentes. Ambas agencias estipulan la regulación y aprobación de los programas informáticos basados en IA como productos sanitarios de acuerdo con la categorización de riesgos descrita en el Reglamento de Productos Sanitarios, que entró en vigor en 2021. Este reglamento considera a un software usado con fines médicos de predicción o pronóstico de enfermedades como un producto sanitario y establece una categorización atendiendo al estado de situación sanitaria (crítica, grave o no grave), el uso previsto de la información basada en software y el nivel de impacto (diagnosticar o

tratar, impulsar la gestión clínica o mitigar el impacto sobre la salud pública).

Sin embargo, el impedimento más grave en la supervisión reglamentaria es la esencia misma de lo que hace tan excepcional a la IA. La principal virtud de las redes neuronales es su capacidad de mejorar constantemente mediante el entrenamiento en el mundo real. En el pasado, las agencias gubernamentales habían aprobado sobre todo algoritmos que se “bloqueaban” antes de su comercialización (es decir, el algoritmo se manipula y ofrece un resultado idéntico cada vez que se le aplica la misma entrada y no cambia cuando se expone a la retroalimentación con nuevos datos).

Sin embargo, esta actitud es absurda, ya que elimina literalmente la “inteligencia” de la IA, recorta seriamente la autonomía y la capacidad deseada del software para aprender y adaptarse en un entorno real. En la actualidad, los Estados están trabajando en un marco descrito como “Plan de Control de Cambios Predeterminados”.

Este plan pretende predefinir ya en la fase de concepción las diversas modificaciones previstas junto con la metodología que se utilizará, para posibilitar estos cambios de forma controlada. Un plan de este tipo permitirá supervisar un producto de software adaptable desde su desarrollo antes de su comercialización hasta su rendimiento después de ella. Esta estrategia proporcionará un cierto grado de garantía de seguridad y eficacia, al tiempo que se consiente la autonomía de la IA en los productos sanitarios.

Como reflexión final, considero fascinante e inimaginable el futuro que nos depara la aplicación de la IA en las Ciencias de la Salud y, específicamente, en las Ciencias Odontológicas, y cómo esos avances revertirán en el progreso de la humanidad. Sin embargo, este extraordinario auge de la IA va acompañado, sin duda, de nuevos retos en cuanto a responsabilidades morales que van mucho más allá de los requisitos técnicos y jurídicos, y debemos ser absolutamente conscientes de ello. Todos los implicados en el desarrollo y aplicación de la IA en Ciencias de la Salud estamos llamados a cumplir este imperativo moral.

Esperando haber estado a la altura de lo que supone tan ilustre institución, la Academia de Ciencias Odontológicas, que ha tenido a bien recibirme como Académica de Número, les agradezco a todos su atención.

He dicho.

BIBLIOGRAFÍA

- Agrawal P, Nikhade P. Artificial intelligence in dentistry: past, present, and future. *Cureus*. 2022; 14(7): e27405.
- Ahmad P, Alam MK, Aldajani A, Alahmari A, Alanazi A, Stoddart M, Sghaireen MG. Dental robotics: a disruptive technology. *Sensors (Basel)*. 2021; 21(10): 3308.
- Ahmed N, Abbasi MS, Zuberi F, Qamar W, Halim MSB, Maqsood A, Alam MK. Artificial intelligence techniques: analysis, application, and outcome in dentistry-a systematic review. *Biomed Res Int*. 2021; 2021: 9751564.
- Al-Rawi N, Sultan A, Rajai B, Shuaeeb H, Alnajjar M, Alketbi M, Mohammad Y, Shetty SR, Mashrah MA. The effectiveness of artificial intelligence in detection of oral cancer. *Int Dent J*. 2022; 72(4): 436-447.
- Bernauer SA, Zitzmann NU, Joda T. The use and performance of artificial intelligence in prosthodontics: a systematic review. *Sensors (Basel)*. 2021; 21(19): 6628.
- Bichu YM, Hansa I, Bichu AY, Premjani P, Flores-Mir C, Vaid NR. Applications of artificial intelligence and machine learning in orthodontics: a scoping review. *Prog Orthod*. 2021; 22(1): 18.
- Bonfanti-Gris M, Garcia-Cañas A, Alonso-Calvo R, Salido Rodriguez-Manzaneque MP, Pradies Ramiro G. Evaluation of an artificial intelligence web-based software to detect and classify dental structures and treatments in panoramic radiographs. *J Dent*. 2022; 126: 104301.
- Carrillo-Pérez F, Pecho OE, Morales JC, Paravina RD, Della Bona A, Ghinea R, Pulgar R, Pérez MDM, Herrera LJ. Applications of artificial intelligence in dentistry: a comprehensive review. *J Esthet Restor Dent*. 2022; 34(1): 259-280.
- Collins GS, Dhiman P, Andaur Navarro CL, Ma J, Hooft L, Reitsma JB, Logullo P, Beam AL, Peng L, Van Calster B, van Smeden M, Riley RD, Moons KG. Protocol for development of a reporting guideline (TRIPOD-AI) and risk of bias tool (PROBAST-AI) for diagnostic and prognostic prediction model studies based on artificial intelligence. *BMJ Open*. 2021; 11(7): e048008.
- Comisión Europea, Dirección General de Redes de Comunicación, Contenido y Tecnologías. Libro Blanco sobre la inteligencia artificial - un enfoque europeo orientado a la excelencia y la confianza. Bruselas, 19.2.2020 COM(2020) 65 final. <https://www.op.europa.eu/es/publication-detail/-/publication/ac957f13-53c6-11ea-aece-01aa75ed71a1>
- Cruz Rivera S, Liu X, Chan AW, Denniston AK, Calvert MJ; SPIRIT-AI and CONSORT-AI Working Group. Guidelines for clinical trial protocols for interventions involving artificial intelligence: the SPIRIT-AI extension. *Lancet Digit Health*. 2020; 2(10): e549-e560.

- Choi E, Kim D, Lee JY, Park HK. Artificial intelligence in detecting temporomandibular joint osteoarthritis on orthopantomogram. *Sci Rep*. 2021; 11(1): 10246.
- Evangelista K, de Freitas Silva BS, Yamamoto-Silva FP, Valladares-Neto J, Silva MAG, Cevidanes LHS, de Luca Canto G, Massignan C. Accuracy of artificial intelligence for tooth extraction decision-making in orthodontics: a systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Investig*. 2022; 26(12): 6893-6905.
- Hegde S, Ajila V, Zhu W, Zeng C. Artificial intelligence in early diagnosis and prevention of oral cancer. *Asia Pac J Oncol Nurs*. 2022; 9(12): 100133.
- Ilhan B, Lin K, Guneri P, Wilder-Smith P. Improving Oral cancer outcomes with imaging and artificial intelligence. *J Dent Res*. 2020; 99(3): 241-248.
- Jiang L, Chen D, Cao Z, Wu F, Zhu H, Zhu F. A two-stage deep learning architecture for radiographic staging of periodontal bone loss. *BMC Oral Health*. 2022; 22(1): 106.
- Jumper J, Evans R, Pritzel A, Green T, Figurnov M, Ronneberger O, Tunyasuvunakool K, Bates R, Žídek A, Potapenko A, Bridgland A, Meyer C, Kohl SAA, Ballard AJ, Cowie A, Romera-Paredes B, Nikolov S, Jain R, Adler J, Back T, Petersen S, Reiman D, Clancy E, Zielinski M, Steinegger M, Pacholska M, Berghammer T, Bodenstein S, Silver D, Vinyals O, Senior AW, Kavukcuoglu K, Kohli P, Hassabis D. Highly accurate protein structure prediction with AlphaFold . *Nature*. 2021; 596(7873): 583-589.
- Kaul V, Enslin S, Gross SA. History of artificial intelligence in medicine. *Gastrointest Endosc*. 2020; 92(4): 807-812.
- Khanagar SB, Al-Ehaideb A, Maganur PC, Vishwanathaiah S, Patil S, Baeshen HA, Sarode SC, Bhandi S. Developments, application, and performance of artificial intelligence in dentistry - a systematic review. *J Dent Sci*. 2021; 16(1): 508-522.
- Khanagar SB, Alfouzan K, Awawdeh M, Alkadi L, Albalawi F, Alfadley A. Application and performance of artificial intelligence technology in detection, diagnosis and prediction of dental caries (DC)-a systematic review. *Diagnostics (Basel)*. 2022; 12(5): 1083.
- Kulikowski CA. An opening chapter of the first generation of artificial intelligence in Medicine: the first Rutgers AIM Workshop, June 1975. *Yearb Med Inform*. 2015; 10(1): 227-233.
- Lee CT, Kabir T, Nelson J, Sheng S, Meng HW, Van Dyke TE, Walji MF, Jiang X, Shams S. Use of the deep learning approach to measure alveolar bone level. *J Clin Periodontol*. 2022; 49(3): 260-269.
- Mahmood H, Shaban M, Rajpoot N, Khurram SA. Artificial Intelligence-based methods in head and neck cancer diagnosis: an overview. *Br J Cancer*. 2021; 124(12): 1934-1940.
- Mohaideen K, Negi A, Verma DK, Kumar N, Sennimalai K, Negi A. Applications of artificial intelligence and machine learning in orthognathic surgery: a scoping review. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg*. 2022; 123(6): e962-e972.

- Mohammad-Rahimi H, Motamedian SR, Rohban MH, Krois J, Uribe SE, Mahmoudinia E, Rokhshad R, Nadimi M, Schwendicke F. Deep learning for caries detection: a systematic review. *J Dent*. 2022; 122: 104115.
- Mörch CM, Atsu S, Cai W, Li X, Madathil SA, Liu X, Mai V, Tamimi F, Dilhac MA, Ducret M. Artificial intelligence and ethics in dentistry: a scoping review. *J Dent Res*. 2021; 100(13): 1452-1460.
- Parikh RB, Helmchen LA. Paying for artificial intelligence in medicine. *NPJ Digit Med*. 2022; 5(1): 63.
- Patcas R, Bornstein MM, Schätzle MA, Timofte R. Artificial intelligence in medico-dental diagnostics of the face: a narrative review of opportunities and challenges. *Clin Oral Investig*. 2022; 26(12): 6871-6879.
- Patil S, Albogami S, Hosmani J, Mujoo S, Kamil MA, Mansour MA, Abdul HN, Bhandi S, Ahmed SSSJ. Artificial intelligence in the diagnosis of oral diseases: applications and pitfalls. *Diagnostics (Basel)*. 2022; 12(5): 1029.
- Ramezanzade S, Laurentiu T, Bakhshandah A, Ibragimov B, Kvist T, Bjørndal L. The efficiency of artificial intelligence methods for finding radiographic features in different endodontic treatments - a systematic review. *Acta Odontol Scand*. 2022; 22: 1-14.
- Regueira-Iglesias A, Vázquez-González L, Balsa-Castro C, Blanco-Pintos T, Vila-Blanco N, Carreira MJ, Tomás I. Impact of 16S rRNA gene redundancy and primer pair selection on the quantification and classification of oral microbiota in next-generation sequencing. *Microbiol Spectr*. 2023: e0439822.
- Regueira-Iglesias A, Vázquez-González L, Balsa-Castro C, Vila-Blanco N, Blanco-Pintos T, Tamames J, Carreira MJ, Tomás I. *In-silico* evaluation and selection of the best 16S rRNA gene primers for use in next-generation sequencing to detect oral bacteria and archaea. *Microbiome* 2023 (en prensa).
- Revilla-León M, Gómez-Polo M, Barmak AB, Inam W, Kan JYK, Kois JC, Akal O. Artificial intelligence models for diagnosing gingivitis and periodontal disease: a systematic review. *J Prosthet Dent*. 2022: S0022-3913(22)00075-0.
- Righolt AJ, Jevdjevic M, Marcenes W, Listl S. Global-, regional-, and country-level economic impacts of dental diseases in 2015. *J Dent Res*. 2018; 97(5): 501-507.
- Sadr S, Mohammad-Rahimi H, Motamedian SR, Zahedrozegar S, Motie P, Vinayahalingam S, Dianat O, Nosrat A. Deep learning for detection of periapical radiolucent lesions: a systematic review and meta-analysis of diagnostic test accuracy. *J Endod*. 2023; 49(3): 248-261.e3.
- Saghiri MA, Vakhnovetsky J, Nadershahi N. Scoping review of artificial intelligence and immersive digital tools in dental education. *J Dent Educ*. 2022; 86(6): 736-750.
- Scott J, Biancardi AM, Jones O, Andrew D. Artificial intelligence in periodontology: a scoping review. *Dent J (Basel)*. 2023; 11(2): 43.

- Schwendicke F, Blatz M, Uribe S, Cheung W, Verma M, Linton J, Kim YJ. Artificial intelligence for dentistry. FDI artificial intelligence working group. <https://www.fdiworlddental.org/artificial-intelligence-dentistry-white-paper>
- Schwendicke F, Samek W, Krois J. Artificial intelligence in dentistry: chances and challenges. *J Dent Res.* 2020; 99(7): 769-774.
- Shan T, Tay FR, Gu L. Application of artificial intelligence in dentistry. *J Dent Res.* 2021; 100(3): 232-244.
- Sharma M, Chaudhary PR, Mudgal A, Nautiyal A, Tangri S. Review on artificial intelligence in Medicine. *J Young Pharm.* 2023; 15(1), 01–06.
- Sounderajah V, Ashrafian H, Golub RM, Shetty S, De Fauw J, Hooft L, Moons K, Collins G, Moher D, Bossuyt PM, Darzi A, Karthikesalingam A, Denniston AK, Mateen BA, Ting D, Treanor D, King D, Greaves F, Godwin J, Pearson-Stuttard J, Harling L, McInnes M, Rifai N, Tomasev N, Normahani P, Whiting P, Aggarwal R, Vollmer S, Markar SR, Panch T, Liu X; STARD-AI Steering Committee. Developing a reporting guideline for artificial intelligence-centred diagnostic test accuracy studies: the STARD-AI protocol. *BMJ Open.* 2021; 11(6): e047709.
- Subramanian AK, Chen Y, Almalki A, Sivamurthy G, Kafle D. Cephalometric analysis in orthodontics using artificial intelligence-a comprehensive review. *Biomed Res Int.* 2022; 2022: 1880113.
- Thurzo A, Urbanová W, Novák B, Czako L, Siebert T, Stano P, Mareková S, Fountoulaki G, Kosná ová H, Varga I. Where is the artificial intelligence applied in dentistry? systematic review and literature analysis. *Healthcare (Basel).* 2022; 10(7): 1269.
- Torun FM, Virreira Winter S, Doll S, Riese FM, Vorobyev A, Mueller-Reif JB, Geyer PE, Strauss MT. Transparent exploration of machine learning for biomarker discovery from proteomics and omics data. *J Proteome Res.* 2023; 22(2): 359-367.
- Uthoff RD, Song B, Sunny S, Patrick S, Suresh A, Kolar T, Keerthi G, Spires O, Anbarani A, Wilder-Smith P, Kuriakose MA, Birur P, Liang R. Point-of-care, smartphone-based, dual-modality, dual-view, oral cancer screening device with neural network classification for low-resource communities. *PLoS One.* 2018; 13(12): e0207493.
- Varadi M, Anyango S, Deshpande M, Nair S, Natassia C, Yordanova G, Yuan D, Stroe O, Wood G, Laydon A, Židek A, Green T, Tunyasuvunakool K, Petersen S, Jumper J, Clancy E, Green R, Vora A, Lutfi M, Figurnov M, Cowie A, Hobbs N, Kohli P, Kleywegt G, Birney E, Hassabis D, Velankar S. AlphaFold protein structure database: massively expanding the structural coverage of protein-sequence space with high-accuracy models. *Nucleic Acids Res.* 2022; 50(D1): D439-D444.
- Vila-Blanco N, Carreira MJ, Varas-Quintana P, Balsa-Castro C, Tomas I. Deep neural networks for chronological age estimation from OPG images. *IEEE Trans Med Imaging.* 2020; 39(7): 2374-2384.

- Vila-Blanco N, Freire V, Balsa-Castro C, Tomás I, Carreira MJ. DenTiUS Plaque, a Web-Based Application for the Quantification of Bacterial Plaque: Development and Usability Study. *J Med Internet Res*. 2020; 22(9): e18570.
- Vila-Blanco N, Varas-Quintana P, Aneiros-Ardao Á, Tomás I, Carreira MJ. XAS: Automatic yet explainable age and sex determination by combining imprecise per-tooth predictions. *Comput Biol Med*. 2022; 149: 106072.
- Vila-Blanco N, Varas-Quintana P, Aneiros-Ardao Á, Tomás I, Carreira MJ. Automated description of the mandible shape by deep learning. *Int J Comput Assist Radiol Surg*. 2021; 16(12): 2215-2224.
- Wu Y, Wang F, Fan S, Chow JK-F. Robotics in dental implantology. *Oral Maxillofacial Surg Clin N Am* 2019; 31:513-518.

DISCURSO DE CONTESTACIÓN DEL

Excmo. Prof. Dr. D. Juan Manuel Seoane Lestón



Rector Magnífico de la Universidad de Santiago de Compostela, Excelentísimo Sr. Presidente de la Academia Nacional de Ciencias Odontológicas, dignísimas autoridades, señoras y señores,

En la sesión de hoy, día 14 de abril, y en el marco del Salón Noble de Fonseca, la Academia acoge como nueva Académica de Número, con la medalla Número 16, en la sección de Estomatología Médico-Quirúrgica, a la Catedrática de esta Universidad, la profesora Inmaculada Tomás Carmona.

En primer lugar, me gustaría agradecer a los miembros de la Academia y, específicamente, a su Presidente, el profesor Antonio Bascones, el encargo de elaborar el discurso de contestación, al discurso de ingreso de la recipiendaria. Encargo con el que me siento honrado y que asumo gustosamente, dado que he podido ser testigo en primera persona de su recorrido académico, desde que llegó a nuestra Universidad en octubre de 1999.

LAUDATIO

A modo de preámbulo permítanme algunos apuntes biográficos, Inmaculada Tomás nace en Granada, en el seno de una familia con cuatro hermanos y cuyos padres Carmen y Francisco se empeñaron en educarlos en la cultura del esfuerzo, el tesón y la honradez.

Cursa la enseñanza secundaria en el instituto público “Sierra Elvira”, donde aparte de sus logros académicos, puede desarrollar su vena artística, participando activamente en grupos de teatro con un cierto éxito, interpretando incluso algún papel protagonista. Sin embargo, su vocación es claramente sanitaria y finalmente se decide por seguir los estudios de Odontología.

En la Universidad de Granada, además de obtener calificaciones excelentes, es alumna interna en la disciplina de “Odontología en Pacientes Especiales”, con el profesor Antonio Cutando, y lleva a cabo su Tesina con los Profesores Miguel Urquía y Miguel Ángel González Moles, lo que le permite familiarizarse con los principios de la investigación y del trabajo de laboratorio. Posteriormente, se casa con Carlos, ingeniero de telecomunicación, cuyas inquietudes científicas parecen encontrarse perfectamente alineadas con las de ella, y juntos, han sabido compatibilizar la vida familiar y la profesional.

Actividad académica, investigadora y asistencial

Toda su actividad académica, investigadora y asistencial está básicamente vinculada a la Universidad de Santiago de Compostela, con 25 años, se incorpora a la asignatura de “Odontología en Pacientes con Necesidades Especiales”, que dirige el profesor Pedro Diz, y defiende su trabajo de Tesis que versó sobre la eficacia de la profilaxis antibiótica y antiséptica en las bacteriemias secundarias a la práctica de exodoncias.

El devenir académico la lleva a conseguir la habilitación en el año 2007, y un año más tarde, consigue la titularidad en la misma disciplina. Desde este momento, consolida su liderazgo y establece sus propias líneas de investigación, desde un abordaje multidisciplinar, líneas centradas en las tecnologías “ómicas”, especialmente, en el estudio del microbioma oral asociado a las enfermedades periodontales. También, en el desarrollo de procedimientos diagnósticos odontológicos en base a la inteligencia artificial. La doctora Tomás consiguió la acreditación a Catedrático de Universidad con 40 años y 8 años después alcanzó el grado de Profesora Catedrática.

No es fácil sintetizar en unas pocas líneas toda la actividad universitaria de la Profesora Tomás, resumiendo, ha publicado sus investigaciones en más de 120 artículos con criterios de calidad (JCR), ha dirigido 17 tesis doctorales, 8 de ellas han sido Premio Extraordinario de Doctorado, ha participado en 25 proyectos competitivos y contratos con empresas multinacionales, figurando en 15 de estas actividades como Investigadora Principal, y ha desarrollado numerosas patentes. El grupo de investigación de la USC/FIDIS que lidera: “*Oral Science Research Group*”, colabora de forma estable con centros y grupos de relevancia internacional, como el “*Eastman Dental Institute*”, la “*Queen Mary University*” y el “*King College*” de Londres.

En el ámbito de la docencia ha publicado diversos artículos focalizados en el clima educacional de los estudiantes de Medicina y Odontología, interesándose por los aspectos de la inclusión y del bienestar emocional de nuestros estudiantes, también ha publicado más de 25 capítulos de libros y un libro sobre: “Odontología en Pacientes con Necesidades Especiales”, que compendia de forma didáctica y actualizada los contenidos de la disciplina. Además, su compromiso con la gestión de nuestra Universidad, la han llevado a aceptar cargos unipersonales de responsabilidad, como el de Vicedecana de la Facultad de Medicina y Odontología, entre los años 2011 y 2014.

Dejo para el final de la *laudatio* de la profesora Tomás, algo que desde mi punto de vista tiene un valor particular, como es el de dirigir desde el año 2011, el “Servicio Clínico de Pacientes con Necesidades Especiales”, ubicado en la primera planta de Odontología y donde se tratan pacientes con discapacidad física, psíquica o sensorial y pacientes con patología sistémica. Pacientes que precisan de tratamientos muy especializados, pacientes muy vulnerables, y muchos de ellos olvidados por nuestra sociedad.

COMENTARIOS A SU DISCURSO

Considero un gran acierto la elección de la profesora Tomás, poniendo a la Inteligencia Artificial (IA) como eje temático de su discurso, estas tecnologías propiciarán un cambio revolucionario en la optimización de los sistemas productivos en todos los ámbitos, en la sostenibilidad medioambiental, en las relaciones humanas, y en la prevención y promoción de la salud. Así, se estima que en el 2030 los recursos asociados a la IA aportarán a la economía mundial más de 15 billones de dólares. Sin embargo, es un tema sometido a debate, y que también despierta recelos y desconfianza en la sociedad. En este sentido, es paradigmático el artículo “*Dual use of artificial intelligence powered drug discovery*” publicado este año pasado en la revista *Nature Machine Intelligence*, sobre el uso inadecuado e indecente de estas tecnologías para el desarrollo de moléculas tóxicas. La implementación de las nuevas tecnologías exige de la confianza de la sociedad, y nadie confiará en tecnologías que puedan tener consecuencias negativas en términos de salud, de limitación de los derechos civiles, económicos, sociales o culturales.

En los últimos 70 años se han desarrollado las diferentes tecnologías en las que se basa la IA, con el objetivo de simular o remedar el pensamiento crítico y con capacidad de aprender incluso en un entorno no supervisado. La doctora Tomás emplea adecuadamente el verbo “simular” o “imitar” en su discurso, dado que la IA no puede replicar el pensamiento crítico tal como lo concebimos y lo mismo ocurre con la empatía y la valoración ética en la toma de decisiones. Así pues, no parece que la IA pueda erosionar el pensamiento crítico humano. Rais Busom, reflexiona en su artículo sobre el pensamiento crítico transformador, a cerca de la necesidad de personas con habilidades de razonamiento, que puedan decidir dónde, cuándo y de qué manera se implementan los sistemas inteligentes. A estas capacidades les confiere una trascendencia más

allá de lo político o de lo corporativo, y lo considera como una misión de la especie humana.

En el discurso también se ha enfatizado sobre el uso creciente de la aplicabilidad de la IA en las Ciencias de la Salud, en el diagnóstico automatizado de las enfermedades, en el ámbito quirúrgico y en la medicina personalizada, de manera que, en palabras de un insigne miembro de nuestra comunidad universitaria, nos encaminamos hacia una Medicina 5P, personalizada, preventiva, predictiva, poblacional y participativa.

A pesar de que el médico y el dentista, en tanto que seres humanos, son una fuente inagotable de errores, la IA no tiene como objetivo sustituirlos, antes bien, propicia fomentar la humanización de la medicina proporcionando a los profesionales tiempo, para establecer una relación robusta y terapéutica del médico/dentista y el paciente.

La doctora Tomás, también ha desgranado pormenorizadamente las aplicaciones de la IA a las Ciencias Odontológicas, abarcando a la odontología preventiva, la conservadora, la endodoncia, la ortodoncia, y la periodoncia. En el ámbito de la implantología, además de la adecuada inserción tridimensional de nuestras fijaciones, lo que ya conseguimos con la cirugía guiada y de navegación, la IA permitirá el diseño de nuevas superficies inteligentes, que faciliten una osteointegración precoz, duradera y resistente a la enfermedad periimplantaria. En el ámbito del cáncer oral y de orofaringe, la IA permitirá diagnósticos en la fase preclínica de la enfermedad, minimizará los tratamientos quirúrgicos complejos generadores de secuelas importantes, y los tratamientos en base a la medicina personalizada serán muy mayoritariamente médicos y con intención curativa.

Permítanme, por último, detenerme en algunos aspectos de la IA relacionados con la educación. El empleo de plataformas personalizadas, materiales didácticos inteligentes personalizados a cada estudiante y asistentes virtuales podrán optimizar el proceso de enseñanza-aprendizaje. Sin embargo, la UNESCO nos advierte sobre la falta de privacidad, la falta de transparencia, de equidad y de inclusión, y de la potencial pérdida de interacción alumno-profesor. También, nos alerta sobre el riesgo de sesgo del algoritmo, o mejor aún, del sesgo asociado al autor del algoritmo, por ello, los desarrollos de la IA en educación deberían estar completamente impregnados de una perspectiva humanista y de pensamiento crítico.

A pesar de la esperanzadora revolución que se aproxima, emergen barreras asociadas a la disonancia cognitiva y conflictiva, esto es,

la divergencia entre nuestra creencia y la evidencia, y con ello, la impermeabilidad al cambio. También, la distopía de la sustitución por la IA, del médico o el dentista. Sin embargo, la práctica de la Medicina y de la Odontología exige de un perfil específico basado en valores como el altruismo, la compasión y la empatía, y en esto el ser humano no tiene competencia.

He dicho.

