Inteligencia artificial (IA) en odontologia

Artificial Intelligence (AI) in Dentistry

Disponible en http://saber.ucv.ve/ojs/index.php/rev_aov
Recepción de trabajo:19/05/2025
Inicio de arbitraje: 12/06/2025
Aprobado:28/10/2025

Ybelisse Romero-Méndez[1], Yucelin Ramirez-Soto[2], Ramphy S Rojas-Hernández[3]

1. Odontólogo. Dra. Cs Sociales, Mención Salud. Docente Facultad de Odontología. Directora de Tecnología Avanzada, Universidad de Carabobo. https://orcid.org/0000-0003-4169-1584

2. Médico Cirujano. Docente de la Facultad de Ciencias de la Salud. Universidad de Carabobo. https://orcid.org/0009-0000-9610-7918 .

3. Teólogo SETAVEN. Docente. Director Redmasiva. https://orcid.org/0009-0000-5941-0459

RESUMEN

Inteligencia Artificial (IA), es un concepto controvertido en la investigación informática. Representa la habilidad que tienen las máquinas de imitar el conocimiento humano. Su función en el campo odontológico, radica en el uso de algoritmos de IA que facilitan el ejercicio clínico con resultados precisos y fiables. El objetivo fue analizar el impacto de la IA en odontología a través de una revisión documental. A pesar que la tecnología ha invadido el campo odontológico, la irrupción de la IA es de poca data. Su aplicación está centrada en el diagnóstico, planificación de tratamientos, análisis predictivo, robótica, automatización, asistentes virtuales, investigación, realidad virtual y aumentada. Los algoritmos de aprendizaje profundo (*Deep Learning*-DL) más utilizados en odontología son, redes neuronales artificiales (ANN) y convolucionales (CNN); en la inteligencia artificial generativa, los más usados han sido las redes generativas adversarias (GAN), y transformer (GPT). Todas las especialidades odontológicas reportan su uso: radiología, periodoncia, endodoncia, patología oral, ortodoncia, operatoria, prostodoncia, cirugía, implantología y odontología forense; siendo el diagnóstico imagenológico, la disciplina más reportada. La ética y la bioética constituyen la brújula moral que guían la implementación de la IA en odontología y la relación entre ambas, es de interdependencia. Se concluye, que la IA en odontología es una herramienta útil que potencializa las habilidades del profesional, no obstante, cualquier decisión apoyada en la información proporcionada por un sistema basado en IA, debe ser supervisada y validada por un profesional cualificado.

Palabras Clave: Inteligencia artificial, odontología, aprendizaje automático, redes neuronales, IA generativa.

ABSTRACT

Artificial Intelligence (AI) is a controversial concept in computer science research. It represents the ability of machines to imitate human knowledge. Its role in the dental field lies in the use of AI algorithms to facilitate clinical practice with accurate and reliable results. The objective was to analyze the impact of AI on dentistry through a documentary review. Although technology has invaded the dental field, the emergence of AI is recent. Its application focuses on diagnosis, treatment planning, predictive analysis, robotics, automation, virtual assistant, investigation, virtual and augmented reality. The most widely used deep learning (DL) algorithms in dentistry are artificial neural networks (ANN) and convolutional neural networks (CNN); in generative artificial intelligence, the most widely used have been generative adversarial networks (GAN) and transformer networks (GPT). All dental specialties report its use: radiology, periodontics, endodontics, oral pathology, orthodontics,

operative dentistry, prosthodontics, surgery, implantology, and forensic dentistry; diagnostic imaging is the most reported discipline. Ethics and bioethics constitute the moral compass that guides the implementation of AI in dentistry, and the relationship between both, is one of interdependence. It is concluded that AI in dentistry is a useful tool that enhances the professional's skills; however, any decision based on information provided by an AI-based system must be supervised and validated by a qualified professional.

Key words: Artificial intelligence, dentistry, machine learning, neuronal network, generative AI.

INTRODUCCIÓN

Inteligencia Artificial (IA), es un término que proviene de las ciencias computacionales; encargado del diseño y desarrollo de sistemas dotados de procesos intelectuales, característicos de los humanos. Representa la capacidad que tienen las máquinas para autoaprender con algoritmos y realizar actividades cognitivas.[1-4] En sí, es la habilidad de las máquinas de imitar el conocimiento humano, detectando situaciones y respondiendo a circunstancias con acciones específicas.[5,6]

La IA nace con Jhon McCarthy en 1955, quien relacionó las teorías de la computación con redes neuronales, creando un nuevo campo de la investigación; internacionalizando el término en 1956.[7,8] Su basamento filosófico fue dado por Turing en 1936, quien afirmaba que todo problema que fuera computable, podía ser solucionado.[9] La IA adquiere significancia en estas últimas décadas, como una herramienta útil que ha revolucionado el mundo moderno en todas las áreas. Los elementos claves están dados por los algoritmos de la IA, la gran base de datos (*Big Data*) y el crecimiento informático. Un algoritmo es la secuencia de reglas o instrucciones sistemáticas para el desarrollo de una tarea.[1,10,11]

La IA avanza de manera paralela a la evolución tecnológica, generando cambios en el mundo actual. El área de la salud no escapa a ello, surgiendo así, la inteligencia artificial en salud.[2-4,12,13] Su uso en este campo se basa en los modelos de aprendizaje automáticos, que a partir de datos de entrada (input), ocurre un proceso para generar el conocimiento nuevo (output) como apoyo al profesional, con mejores resultados por su precisión, exactitud, fiabilidad, y experiencias en los pacientes. [3,6,9-11,14,15]

INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y ODONTOLOGÍA

La tecnología en odontología, ha generado la automatización de los procesos con grandes transformaciones.[16,17] A la digitalización de la profesión se le une la IA de manera sinérgica, creando una asociación odontólogo-máquina que potencializa las facultades y aptitudes del profesional, conjugando humanismo y mecanicismo.[18,19] Aquí se privilegia la capacidad de la máquina de almacenar datos de manera casi infinita. La "*Big Data*", junto a los algoritmos inteligentes se comportan como "*sistemas expertos*", indispensables para resolver problemas odontológicos, superar errores humanos y favorecer el progreso de las investigaciones.[3,10,12,14]

Los datos odontológicos de entrada que movilizan los algoritmos, pueden ser imágenes, textos o audios. El proceso se traduce en buscar, descubrir, identificar datos si se trata del aprendizaje automático; reconocer patrones y analizar imágenes, si se utilizan el aprendizaje profundo; y generar nueva información, si se refiere a la IA generativa. De

manera que, la maquina actúa según el algoritmo que la mueve, para producir una respuesta.[4,20-22]

En la práctica clínica, las aplicaciones de la IA abordan todas las disciplinas odontológicas, superando la incertidumbre diagnóstica fisiopatológica, terapéutica y pronostica. Aquí se integran los datos como historias clínicas, tratamientos, reportes, exámenes de laboratorios, imágenes, entre otros.

USOS DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN ODONTOLOGÍA

Diagnóstico: permite hacer diagnósticos asistidos del estado de salud o enfermedades bucales, con mayor precisión y eficiencia.[1,13,22,23]

Planificación de tratamiento: mediante el análisis de los datos de los pacientes y resultados de tratamientos, se obtiene una información valiosa para la toma de decisiones sobre las opciones de tratamiento, materiales y técnicas.[1,9,23,24]

Análisis predictivo: el procesamiento de la gran cantidad de datos permite identificar patrones y predecir afecciones de salud bucal, generando una atención proactiva, planes de tratamiento personalizados e intervenciones preventivas.[13,19,22,24]

Robótica y automatización de procesos: sistematiza tareas repetitivas en odontología, como la preparación de dientes, implantes, ajustes de ortodoncia, entre otros. [1,3,13,24]

Asistentes virtuales: la gestión automatizada agiliza las tareas administrativas al intercambiar datos con usuarios, programar citas, facturar, entre otros; y la telemedicina y monitoreo que apoya las consultas y tratamientos en línea.[3,18,22,24]

Investigación: utilizada para la producción de fármacos, genoma personalizada, modelos de negocio, pesquisa académica y la investigación biomédica odontológica.[3,11,17,19]

Realidad virtual: tecnología inmersiva que permite sumergirse en un entorno completamente virtual, utilizada para la educación y visualización de tratamientos.[1,25,26]

Realidad aumentada: superpone información digital en el entorno bucal en tiempo real, a través de la simulación virtual de imágenes y vídeos en directo.[1,24-27]

ALGORITMOS UTILIZADOS EN ODONTOLOGÍA

El algoritmo del aprendizaje automático (*Machine Learning-ML*) más utilizado en odontología para tareas de clasificación y regresión, es la máquina de vectores de soporte (*Soport Vector Machine-SVM*). Es un algoritmo supervisado con estructura lineal que está formado por tres capas: entrada, proceso y salida.[10,28]

En el aprendizaje profundo (*Deep Learning-DL*), está el modelo de redes neuronales artificiales (Artificial Neural Network-ANN), es el modelo más básico del DL, presenta un mínimo de tres capas: entrada, ocultas y salida. Con un solo movimiento de avance. Se utilizan para clasificar, analizar textos, reconocimiento de imágenes, voz y facial. [1,10,25] Igualmente se tiene, a la Red Neuronal Convolucional (*Convolutional Neural Network-CNN*), ampliamente reportadas en odontología por la

capacidad de análisis de imágenes.[6] Consta de capas de convolución de redes neuronales, con movimientos que simulan al cerebro humanos.[1,10,25,27]

En la Inteligencia artificial generativa (*Generative Artificial Intelligence-GAI*), se cuenta con las Redes Neuronales Generativas (*Generative Adversarial Networks-GAN*). Es un algoritmo capaz de procesar el lenguaje natural y generar textos, hacer traducciones simultaneas, lecturas de imágenes, convertir texto a voz y voz a texto.[3,10,24] Otro algoritmo utilizado es el Transformador Generativo Preentrenado Conversacional (Conversacional Generative Pretrained Transformer-GPT).[29,30] Es una red neuronal que utiliza técnicas de aprendizaje profundo y autoatención para manejar secuencias de datos. Con la capacidad de múltiples entradas de manera simultánea, puede generar nueva información como imágenes, audios, videos y textos, a partir de datos existentes. Las GAI a pesar de ser más avanzadas, su uso ha sido menos reportadas en las investigaciones odontológicas, por ser más nuevas.[1,10,27]

IMPACTO DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN ODONTOLOGÍA

Radiología

El diagnóstico imagenológico representa el campo con mayor uso de la IA, logrando avances significativos en precisión, eficiencia e identificación de características sutiles, que podrían pasar desapercibidas por los profesionales.[6,13,14] Su mayor beneficio es el apoyo a los radiólogos.[17] El proceso está dado por algoritmos entrenados con imágenes médicas, previamente diagnosticadas por radiólogos expertos.[18,31] Permiten detectar y clasificar patologías bucales y patrones anormales, diagnosticar estructuras fisiológicas, identificar materiales odontológicos. Las Rx panorámicas son las más analizadas, seguidas de periapicales, tomografías computarizadas volumétricas y resonancias magnéticas; éstas últimas, con mejores resultados en el diagnóstico de patologías.[6,32]

Se han creado algoritmos de DL, para el análisis de escaneos ópticos digitales 3D de arcadas e imágenes CBCT, segmentando automáticamente dientes y hueso alveolar con una capacidad de análisis igual al radiólogo.[10] Igualmente modelos de D-CNN para el diagnóstico de estructuras anatómicas y dentarias en radiografías periapicales con una tasa de precisión de 95,8-99,45%, casi rivalizando con el trabajo de los expertos clínicos, cuya tasa de precisión está alrededor de 99,98%.[1,10,25]

Periodoncia

La IA permite diagnosticar la periodontitis y clasificar los tipos de enfermedades periodontales plausibles, a través del uso de radiografías panorámicas o fotografías intraorales.[33] Igualmente, se ha utilizado en el análisis de parámetros inmunológicos relativamente simples, para diagnosticar casos de periodontitis agresiva y crónica.[6,32,34] La mejor predicción de la enfermedad periodontal se ha logrado con una ANN, cuya información de entrada incluye monocitos, eosinófilos, recuento de neutrófilos, relación de células T, interleucinas y títulos de anticuerpos IgG.[25,32]

En el diagnóstico y tratamiento periodontal, se han empleado distintos algoritmos con alta precisión diagnóstica y reducción del tiempo requerido para la ejecución del examen periodontal. Éstos son:

Deep Learning Architectures y CAD (*Computer Aided Diagnoses*), CNN, R-CNN, D-CNN y SVM. Los elementos a evaluar han sido, la pérdida ósea y el grado de periodontitis de dientes comprometidos periodontalmente.[1,6]

Para el diagnóstico y predicción de la periodontitis crónica, Naguyen y colbs.[34] reportan el uso de algoritmos de CNN, para determinar la necesidad de extracción por causas periodontales, con una precisión de 76,7-81%; y 73,4-82,8%. Otros estudios, utilizando imágenes radiográficas reportan pérdida ósea alveolar, con una precisión entre 73,4-99%.[35]

Endodoncia

Se han utilizado las CNN para diferenciar conductos y fracturas radiculares, conductos en forma de C, lesiones periapicales, predicciones de tratamientos, necesidad de retratamiento y viabilidad de las células madres de la pulpa dental.[22] La precisión en el diagnóstico del conducto distal del primer molar permanente inferior es 86,9%, a través del análisis panorámico y tomográfico con mejores resultados en especificidad, precisión y sensibilidad. El uso de Rx panorámicas implica mayor consumo de tiempo, por la segmentación manual de la imagen y enfoque específico necesario.[36] Se reporta la combinación de un R-CNN y el conocimiento de expertos, para clasificar dientes con y sin tratamientos de conductos, con 95,6% de precisión. El nivel de precisión en el diagnóstico y planeación de tratamientos endodónticos utilizando radiografías periapicales, es 90% .[28]

Se ha utilizado otra ANN para la detección de lesiones periapicales, con una confiabilidad de 92,8% y una sensibilidad de 99.95% en el análisis tomográfico,[36,37] y una especificidad de 92% en el análisis de Rx panorámicas.[25,34,35] En casos de detección de fracturas radiculares verticales, la sensibilidad fue 98%, especificidad 90,5% y precisión 95,7-96,6%; esto se ha logrado analizando las escalas de grises de la raíz, mediante el uso de panorámicas y tomografías, estas últimas con mejores resultados.[38,39] Igualmente se creó un modelo ANN como segunda opinión para los endodoncistas, en la ubicación del foramen apical y conocimiento de la longitud radicular, con una precisión de 93% y 96% respectivamente y, la IA tuvo más aciertos (96%) que los endodoncistas (76%).[40,41]

Utilizando algoritmos de ML, se ha logrado predecir el pronóstico endodóntico, considerando la longitud, calidad de relleno, anatomía y posición del diente.[28,39] Kishimoto,[42] refiere que el nivel de precisión de los análisis en endodoncia ha sido de 83-98,9%; y de 90% en los diagnósticos endodónticos.

Patología

Existen modelos predictivos de IA, para detectar patrones de patologías a partir de datos de relevancia clínica, imperceptibles a la vista humana. De allí, parte su aplicación para la detección precoz de riesgos de cáncer, disminuyendo la probabilidad de aparición. El uso de las CNN, han servido como método para diagnosticar lesiones orales benignas, malignas y analizar biopsias, utilizando como material de entrada imágenes radiográficas, microscópicas, ultrasonografías y fotografías.[6,19,25,34,43] La precisión y especificidad del algoritmo en el diagnóstico de lesiones tumorales de cabeza y cuello, en imágenes radiográficas es de 78-81,8% y 80-83,3%, respectivamente. Valores similares al de los especialistas (83,2% y 82,9% respectivamente).[34]

Algoritmos como SVM y ANN, han logrado distinguir lesiones orales malignas y displásicas.[6] Estudios también refieren el alto potencial de las CNN en el diagnóstico diferencial de lesiones tumorales de los maxilares, como el ameloblastoma y tumores odontogénicos-queratoquísticos, con una especificidad de 81,8% y precisión de 83,3%, muy semejante al obtenido por los especialistas clínicos, que ha sido 81,1% y 83,2%, respectivamente.[44] Las imágenes ópticas intraorales, han servido para detectar trastornos orales potencialmente malignos y carcinomas orales de células escamosas; diferenciar mucosa normal de la patológica en cabeza y el cuello; y detectar ubicaciones anormales de estructuras como nervios, músculos de la lengua, glándulas parótidas y salivales.[10,36]

Ortodoncia

Utilizada para la planificar tratamientos, predecir resultados y simular cambios de apariencia con fotografías faciales, antes y después del tratamiento. Analizando los cefalogramas laterales con algoritmos de IA, se ha logrado visualizar el impacto del tratamiento, patrones esqueléticos y puntos de referencia anatómicos.[10,45]

Un modelo de ML, ha permitido predecir la necesidad de extracciones a través de análisis fotográfico y radiográfico.[6,45] Modelos de ANN, presentan gran potencial en la toma de decisiones clínicas, predicción de tratamientos e identificación de la necesidad de extracciones dentales, antes de la terapia de ortodoncia.[25] La precisión de este algoritmo en ortodoncia es, 80-93%.[6,10,46] Una arquitectura CNN se ha utilizado para monitorear el tratamiento ortodóncico, mejorar el diagnóstico esquelético y predecir de la erupción de los terceros molares.[46]

Operatoria

El diagnostico de la caries dental incipiente a través de imágenes bidimensionales, representa un reto para el clínico. Esto se ha logrado superar con el uso de un modelo de D-CNN, que permite segmentar las radiografías periapicales con una precisión del 75,5- 93,3% y una sensibilidad de 74,5-97,1%, combinado con su rapidez. Esta precisión supera al diagnóstico realizado por los clínicos utilizando radiografías, como único método de diagnóstico.[10,34] También, se han utilizado unos modelos de IA para diagnosticar fracturas radiculares verticales, lesiones apicales, evaluación volumétrica del espacio pulpar y el desgaste dentario.[10,47]

Prostodoncia

El uso de la IA ha permitido el análisis predictivo en el diseño digital de sonrisa, planificando el resultado final en 3D, corrigiendo forma, color, posición y tamaño de los dientes.[16] Igualmente, se han propuesto novedosos modelos 2D-GAN y 3D-GAN para generar coronas similares a los diseños de los técnicos dentales. Los datos de entrada y de entrenamiento son mapas de profundidad 2D, convertidos a partir de modelos de dientes y datos 3D. La integración de la IA con CAD/CAM o la impresión 3D/4D, permiten la coincidencia de colores y predicción de restauraciones deseables con alta eficiencia y morfología similar a los dientes naturales.[10,48] Otros estudios han propuesto un modelo de IA capaz de predecir los cambios faciales después de la colocación de una prótesis total removible, utilizando datos de escaneo facial.[49]

Cirugía

Su uso está concentrado principalmente en la realidad aumentada. Esto le permite al cirujano interactuar entre el mundo físico y virtual, proyectando la imagen en 3D, pudiendo intervenir en la operación insertando objetos virtuales en tiempo real. Esta herramienta brinda entrenamiento, educación anatómica y guías para la cirugía.[13,24]

Utilizando el algoritmo CNN en radiografías panorámicas y TCV, se ha logrado una correcta toma de decisiones quirúrgicas en casos de extracción dentaria y localización del conducto dentario, lo que evita complicaciones en la extracción del tercer molar inferior.[10] También se ha utilizado en el manejo, diagnóstico y predicción del riesgo del paciente con labio leporino y paladar hendido, en ortopedia prequirúrgica, evaluación del habla y cirugías.[50] Así mismo, se ha utilizado un modelo de DL predictivo en casos de cirugía asistida, planificación quirúrgica y reconocimiento de la morfometría pterigomaxilar, con grandes éxitos al identificar la inclinación del proceso pterigoideo en relación a la tuberosidad del maxilar.[50,51]

Implantología

Su uso ha permitido identificar y clasificar sistemas de implantes en radiografías dentales.[36] La predicción del éxito es de 90,22% utilizando una ANN y de 93,8% utilizando un modelo D-CNN. El insumo de entrada ha sido radiografías panorámicas y periapicales, para detectar fracturas y zonas con periimplantitis. Con esto se ha logrado mejores rangos de predicción en los periodoncistas que en los implantólogos.[51] Así como, este algoritmo permite mapear automáticamente la literatura sobre el efecto de los fármacos en los implantes. Otros algoritmos utilizados son: Architectures (VGGNet-19, *Google Net, Incepción*. V3 y *Automated* D-CNN), para detección y clasificación de fracturas; SVM con LOOCV para la detección de perimplantitis; IA *fully digital workflow* para determinar el pronóstico.[6,12,51]

Odontología forense

Un modelo de IA conocido como Alex Net, permite identificar cadáveres con sólo una pieza dental y una precisión de 95% en incisivos, 94,5% en caninos y 97,5% en premolares y molares. Igualmente, se han utilizado modelos de D-CNN en panorámicas para determinar la edad del cadáver y otras ANN para identificar sexo y raza, con mínimos errores.[6]

DESAFÍOS ÉTICOS Y BIOÉTICOS DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN ODONTOLOGÍA

La ética y bioética de la inteligencia artificial en odontología son fundamentales y, deben ir de la mano para guiar su integración de manera responsable y segura. Su fin, como área de estudio multidisciplinario es buscar el equilibrio entre innovación tecnológica y preservación de los principios que salvaguarden el bienestar humano y social. Se define a la ética desde los sistemas de la inteligencia artificial, como el conjunto de principios morales que ayudan a discernir entre el bien y el mal, en el desarrollo y uso de esta herramienta. La bioética sobre la inteligencia artificial dictamina que cualquier aplicación de IA en salud, debe ser desarrollada y utilizada bajo una estricta vigilancia regulatoria.[15,17, 52]

Se espera que la tecnología actúe como complemento del profesional, con una orientación hacia

valores de justicia, confidencialidad, privacidad y transparencia. La privacidad y la protección de los datos, para evitar vulnerabilidades y riesgos de acceso no autorizado; y el consentimiento informado, como un documento más detallado debido a la complejidad de los tratamientos asistidos por IA. El paciente debe entender el papel y las limitaciones de la tecnología en su tratamiento. La trasparencia y equidad está relacionada con democratizar el uso de los algoritmos, evitando los sesgos.[52] Los profesionales deben prever que los sistemas de IA no perpetúen o amplifiquen las desigualdades existentes. [13,17,52]

La ética y la bioética representan la brújula moral que guía la implementación de la IA en la odontología y la relación entre ambas es de interdependencia. La tecnología provee las herramientas y la ética/bioética, establecen las normas para asegurar que esas herramientas se utilicen para el bienestar del paciente, manteniendo la integridad y la confianza como base de la práctica clínica.[15,52-54]

Para el logro de esto se debe respetar las normas y regulaciones sobre el uso responsable de la IA en salud. Aun cuando no existe una única regulación, se considera el enfoque de riesgo centrado en los derechos humanos, planteado por la UNESCO y Unión Europea que tiende a conducir a una regulación más estricta y preventiva. Los principios y marcos éticos de Canadá (FASTER), que busca el equilibrio entre la innovación y la mitigación de riesgos. El enfoque de pro-innovación del Reino Unido y Estados Unidos, que tiende hacia una intervención regulatoria más ligera. La Regulación de Síntesis Profunda de China, que exige el consentimiento de datos, con permiso explícito. [15,17,53-54] A esto se le suma la regulación norteamericana sobre privacidad y seguridad de datos, como el Reglamento General de Protección de Datos (RGPD).[17,52]

PERSPECTIVAS DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN ODONTOLOGÍA

Son numerosos los beneficios potenciales que tiene la IA al incorporarla al entorno odontológico. Los procedimientos se hacen más sencillos, con disminución de los tiempos en clínica. No obstante, es importante reconocer que la IA debe ir acompañada del profesional, no solo con el propósito de humanizarla, sino también que, toda información emanada de ella debe ser interpretada, validada para luego ser generalizada[1,20], Esto representa las piedras angulares de la IA en la salud odontológica, donde la toma de decisiones clínicas deben estar basadas en la experiencia y juicio personal, con mecanismos de evaluación y regulación considerando las evidencias científicas.

A pesar de sus inmensos beneficios, la integración de la IA en la odontología no está exenta de desafíos. La prioridad es garantizar que los sistemas de IA sean seguros, transparentes, no discriminatorios y sustentables. Su éxito a largo plazo, dependerá de una implementación bioética y responsable, donde la tecnología se utilice como una herramienta para potenciar las habilidades del profesional y no como un reemplazo de la relación humana fundamental entre el odontólogo y el paciente. El profesional debe mantener en todo momento el control del proceso, reconociendo que la Odontología es un campo que implica una estrecha relación médico-paciente, basada en la confianza y la comunicación afectiva.

La perspectiva de la IA en odontología es de una colaboración sin dependencia. El juicio clínico, la compasión y la habilidad manual del odontólogo no serán sustituidos por la inteligencia artificial. Por el contrario, la IA funcionará como un copiloto inteligente que libere al profesional de las tareas repetitivas, para que pueda enfocarse en tareas más complejas y en el cuidado del paciente. El futuro de la odontología será más preciso, más eficiente y más personalizado, con la IA en el centro de esta evolución.

CONCLUSIONES

La intervención de la IA en la salud bucal, aporta una asociación de calidad. El impacto de su uso, está dado por el apoyo en la toma de decisiones en diagnósticos y tratamientos, almacenamiento de datos médicos y capacidad del análisis virtual de gran cantidad de datos, en el campo de acción de todas las disciplinas. No obstante, cualquier decisión apoyada en la información proporcionada por un sistema basado en el procesamiento automatizado de algoritmos, debe ser supervisada por un odontólogo cualificado. Aun cuando, se ha demostrado que la IA puede aprender más allá de la experiencia humana.

La IA es una ciencia que está en crecimiento y constante evolución, por el progreso de los algoritmos y los datos de entrenamiento digitalizados. Su futuro en odontología está encaminado a una colaboración cada vez más estrecha, donde la tecnología actúa como un asistente inteligente para el profesional, mejorando la eficiencia y la calidad de la atención al paciente. El futuro no se centra en el reemplazo de los odontólogos por robots, sino en la integración de herramientas que potencian las capacidades humanas y la resolución de casos. Se establece una relación simbiótica entre profesional y máquina, que combina las capacidades humanas y las ventajas de la tecnología.

Sin olvidar que la implementación de sistemas de IA en el campo de la salud, representan un reto, dado que los datos personales de los pacientes, aun cuando son confidenciales, son necesarios para el entrenamiento, validación y mejora de los algoritmos de IA. Los desafíos éticos y prácticos requieren una planificación cuidadosa y una adopción responsable para asegurar que los beneficios lleguen a todos los pacientes de manera segura y equitativa. Hacer uso del consentimiento informado y establecer mecanismos de seguridad del paciente y control de la calidad de los algoritmos utilizados para evitar los sesgos, es indispensable.

En conclusión, el futuro de la IA en la odontología es prometedor por su relación sinérgica y utilidad infinita, aun cuando queda mucho por explorar y recorrer, se han logrado grandes avances.

BIBLIOGRAFÍA

1. Romero-Méndez Y, Ramírez-Soto Y, Rojas- Rojas-Hernández R. Áreas y algoritmos de inteligencia artificial aplicados en Odontología. Rev.Odous Científica. 2025;1(26):61-80 [Internet]. [citado 2025 mar09] Disponible en: http://servicio.bc.uc.edu.ve/odontologia/revista/vol26n1/art06.pdf

2. Li-Ping H, Yung-Kai H, Yu-Chao C. The implementation of artificial intelligence in dentistry could enhance environmental sustainability, J.D.Sciences. 2022; 17(issue2):1081-1082. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jds.2022.02.002

3. Ramírez-Soto Y, Romero-Méndez Y, Rojas-Rojas-Hernández R. Gestión de Salud a través de la Inteligencia Artificial. Rev.Visión. Gerencial. 2025;24(1):08-23. DOI: https://doi.org/10.53766/VIGEREN

4. Gil-Aluja J. De la razón artificial a la inteligencia artificial. Encuentros multidisciplinares. 2020;64(22):8-10. [Internet]. [citado 2025 ene15] Disponible en: http://hdl.handle.net/10486/690913

5. Rajendra P, Kumari M, Rani S, Dogra N, Boadh R, Kumar A, Dahiya M. Impact of artificial intelligence on civilization: Future perspectives, Materials Today: Proceedings. 2022; 1(56):252-256. DOI: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.113

6. Cacñahuaray-Martínez G, Gómez-Meza D, Lamas-Lara V y Guerrero M. Aplicación de la inteligencia artificial en Odontología. 2021;24(3):243-5. DOI: https://doi.org/10.15381/os.v24i3.20512

7. Crevier D. AI: the tumultuous history of the search for artificial intelligence. Basic Books, Inc. 1993.

8. McCarthy J, Minsky M, Rochester N, Shannon C. A proposal for the Dartmouth summer research project on artificial intelligence. AI.Mag. 1995;27(4):12. DOI: https://doi.org/10.1609/aimag.v27i4.1904

9. London D K. Simply Artificial intelligence. New York: DK Publishimg. 2023.

10. Ding H, Wu J, Zhao W, Matinlinna JP, Burrow M, Tsoi J. Artificial intelligence in dentistry. Front. Dent. Med. 2023;4:1085251. DOI: https://doi.org/10.3389/fdmed.2023.1085251

11. Busnatu S, Niculescu A, Bolocan A, Petrescu G, Păduraru D, Năstasă I, Lupușoru M, Geantă M, Andronic O, Grumezescu A, Martins H. Clinical Applications of Artificial Intelligence-An Updated Overview. J.Clin Med. 2022;11(8):2265.

12. Lanzagorta-Ortega D, Carrillo-Pérez D, Carrillo-Esper R. Inteligencia artificial en medicina: presente y futuro. Gac.Méd. Méx. 2022;158(91):55-59. DOI: https://doi.org/10.24875/gmm.m22000688

13. Núñez J, Krois J, Schwendicke F, Sauro S. La inteligencia artificial. Qué es, su uso en odontología y qué debemos saber para aplicarla. J.Gac.Dental: Industria y profesiones. 2022;(342):96-105. *[internet]. [citado 2025 feb25].* Disponible en: https://files.epeldano.com/publications/pdf/97/gaceta-dental_97_342.pdf

14. Ruibal-Tavares E, Calleja J, Rivera R, Aguilera D. Inteligencia artificial en medicina: panorama actual. REMUS. Julio-dic, 2023. DOI:10.59420/remus.10.2023.178

15. Fundación Instituto Roche. Inteligencia artificial en salud: retos éticos y legales. Informes anticipando. 2020. *[Internet] [citado 2025 feb25].* Disponible en: file:///D:/INTELG%20ARTIFICIAL/Informes_roche_RETOS_ETICOS_DEF.pdf

16. Carrillo-Perez F, Pecho O, Morales J, *et al*. Applications of artificial intelligence in dentistry: A comprehensive review. J.Esthet. Restor. Dent. 2022;34(1): 259-280. DOI:10.1111/jerd.12844.

17. Romeo C, Lazcoz. Inteligencia artificial aplicada a la salud: ¿qué marco jurídico? Sistema Universitario Vasco. Comisión Europea. Enero-abril, 2020;(89):253-271. *[Internet] [citado 2025 feb25].* Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7633112

18. Paridhi A y Pradnya N. Artificial Intelligence in Dentistry: Past, Present, and Future. NML. Jul, 2022;14(7):27405. DOI: https://doi.org/10.7759/cureus.27405

19. Ducret M, Mörch C-M, Karteva T, Fisher J, Schwendicke F. Artificial intelligence for sustainable oral healthcare. J.Dent 2022;127:104344. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jdent.2022.104344

20. Pérez F, Jiménez J. ¿qué es el estado del arte de la Inteligencia artificial en Odontología? Gac.Dental. Jun 2022;348:116-118. *[Internet] [citado 2025 feb25].* Disponible en: https://files.epeldano.com/publications/pdf/97/gaceta-dental_97_348.pdf

21. Sivari E, Senirkentli GB, Bostanci E et al. Deep learning in diagnosis of dental anomalies and diseases. Diagnostics. 2023;13:2512.

22. Schwendicke F, Krois J. Data Dentistry: How Data Are Changing Clinical Care and Research. J.Dent.Res. 2021;101:Issue1. DOI: https://doi.org/10.1177/00220345211020265

23. Menendez M. La revolución de la IA en la Odontología. Dental tribune Latinoamericana. Feb, 2024. *[Internet] [citado 2025 feb28].* Disponible en: https://la.dental-tribune.com/news/la-revolucion-de-la-ia-en-la-odontologia/

24. Versaci M. Artificial intelligence and dentistry. ADA takes lead role in setting standards for dental practice uses. ADA. Jun, 2023. *[Internet] [citado 2025 feb25].* Disponible en: https://adanews.ada.org/ada-news/2023/june/artificial-intelligence-and-dentistry/

25. Bilaniuk O y Durand R. Use of Artificial Intelligence in Dentistry: Current Clinical Trends and Research Advances. Dental News.Mag. Jun, 2021. *[Internet] [citado 2025 feb25].* Disponible en: https://www.dentalnews.com/2021/10/08/artificial-intelligence-ai-dentistry/

26. Del Río S, López J, Vaquero C. La inteligencia artificial en el ámbito médico. Rev Española Investig Quirúrgica. 2018;21(3):113

27. Mohammad-Rahimi H, Rokhshad R, Bencharit S, Krois J, Schwendicke F. Deep learning: A primer for dentists and dental researchers. J.Dent. Mar, 2023;130:104430. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jdent.2023.104430

28. Ngoc VTN, Viet DH, Anh LK, *et al.* Periapical Lesion Diagnosis Support System based on X-ray Images Using Machine Learning Technique. World J.Dent. 2021;12(3):189-193

29. Tandon D, Rajawat J, Banerjee M. Present and future of artificial intelligence in dentistry. J.Oral Biology and Craniofacial. 2020;10(4):391-396.

30. Thanathornwong B, Suebnukarn S, Ouivirach K. Decision support system for predicting color change after tooth whitening. Comput Methods Programs Biomed. Mar, 2016; 125:88-93. DOI: 10.1016/j.cmpb.2015.11.004.

31. Xie X, Wang L, Wang A. Artificial neural network modeling for deciding if extractions are necessary prior to orthodontic treatment. Angle Orthod. Mar, 2010;80(2):262-6. DOI: 10.2319/111608-588.1

32. Flores A, Rysavy S, Enciso R, Okada K. Non-invasive differential diagnosis of dental periapical lesions in cone-beam CT. 2009 IEEE International Symposium on Biomedical Imaging. 2009:566-9. DOI: 10.1109/ISBI.2009.5193110

33. Revilla-León M, Gómez-Polo M, Barmak AB, Inam W, Kan JYK, Kois JC, *et al*. Artificial intelligence models for diagnosing gingivitis and periodontal disease: A systematic review. J.Prosthetic Dentistry. 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2022.01.026

34. Nguyen T, Larrivée N, Lee A, Bilaniuk O, Durand R. Use of Artificial Intelligence in Dentistry: Curre Use of Artificial Intelligence in Dentistry. J.Can Dent. Assoc. May, 2021;87:l7.

35. Alabi R, Youssef O, Pirinen M, Elmusrati M, Mäkitie A, Leivo I, *et al*. Machine learning in oral squamous cell carcinoma: Current status, clinical concerns and prospects for future-A systematic review. Artificial Intelligence in Medicine 2021;115:102060. DOI: 10.1016/j.artmed.2021.102060

36. Orhan K, Bayrakdar IS, Ezhov M, Kravtsov A, Özyürek. Evaluation of artificial intelligence for detecting periapical pathosis on cone-beam computed tomography scans T. J.Int.Endod 2020;53:680–689.

37. Hiraiwa T, Ariji Y, Fukuda M, Kise Y, Nakata K, Katsumata A, Fujita H, Ariji E. A deep-learning artificial intelligence system for assessment of root morphology of the mandibular first molar on panoramic radiography. Dentomaxillofac Radiol. Mar, 2019;48(3):20180218. DOI: 10.1259/dmfr.20180218.

38. Ghaffari M, Zhu Y, Shrestha A. A review of advancements of artificial intelligence in dentistry. Dentistry Review. 2024;2(4). DOI: https://doi.org/10.1016/j.dentre.2024.100081.

39. Khanagar S, Alfadley A, Alfouzan K, Awawdeh M, Alaqla A, Jamleh A. Developments and Performance of Artificial Intelligence Models Designed for Application in Endodontics: A Systematic Review. *Diagnostics.* 2023;*13*:414. DOI: https://doi.org/10.3390/diagnostics13030414

40. Saghiri M, Asgar K, Boukani KK, Lotfi M, Aghili H, Delvarani A, Karamifar K, Saghiri A, Mehrvarzfar P, Garcia-Godoy F. A new approach for locating the minor apical foramen using an artificial neural network. J.Int. Endod. Mar, 2012;45(3):257-65. DOI: 10.1111/j.1365-2591.2011.01970.x

41. Saghiri M, Garcia-Godoy F, Gutmann J, Lotfi M, Asgar K. The reliability of artificial neural network in locating minor apical foramen: a cadaver study. J.Endod. Aug, 2012;38(8):1130-4. DOI: 10.1016/j.joen.2012.05.004

42. Kishimoto T, Goto T, Matsuda T, Iwawaki Y, Ichikawa T. Application of artificial intelligence in the dental field: A literature review. J.Prosthodont Res. 2022;66(1):19-28. DOI: 10.2186/jpr.JPR_D_20_00139

43. Nishi Singh N, Pandey A,, Prakash A, Pratap B. Attitude, perception and barriers of dental professionals towards artificial intelligence. Rev.Biología Oral e Investigación Craneofacial. 2023;13(5):584-588. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jobcr.2023.06.006.

44. Poedjiastoeti W, Suebnukarn S. Application of Convolutional Neural Network in the Diagnosis of Jaw Tumors. Healthc Inform.Res. Jul, 2018;24(3):236-241. DOI: 10.4258/hir.2018.24.3.236.

45. Bichu Y, Hansa I, BichuA, *et al*. Applications of artificial intelligence and machine learning in orthodontics: a scoping review. Prog.Orthod. 2021;22(18). DOI: https://doi.org/10.1186/s40510-021-00361-9

46. Park JH, Kim Y-J, Kim J, Kim J, Kim I-H, Kim N, *et al*. Use of artificial intelligence to predict outcomes of non-extraction treatment of Class II malocclusions. Seminars in Orthodontics. 2021;27(issue2):87-95. *[Internet] [citado 2025 feb28].* Disponible en: https://www.clinicalkey.com/#!/content/journal/1-s2.0-S1073874621000281?scrollTo=%23hl0000505

47. Schwendicke F, Golla T, Dreher M, Krois J. Convolutional neural networks for dental image analysis: A review. Journal of Dentistry. 2019; 91: 103226.Revilla-León M, Gómez-Polo M, Vyas S, Barmak AB, Gallucci GO, Att W, Özcan M, Krishnamurthy VR. Modelos de inteligencia artificial para prostodoncia fija y removible dentosoportada. J.Prosthet Dent. 2023;29(2):276-292. DOI: 10.1016/j.prosdent.2021.06.001.

48. Cui Q, Chen Q, Liu P, Liu D, Wen Z. Clinical decision support model for tooth extraction therapy deried from electronic dental records. J.Prosthet Dent. 2020;(20):S0022-3913. DOI: https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2020.04.010

49. Minnema J, Ernst A, van Eijnatten M, Pauwels R, Forouzanfar T, Batenburg KJ, Wolff J. A review on the application of deep learning for CT reconstruction, bone segmentation and surgical planning in oral and maxillofacial surgery. DentomaxillofacRadiol. Sep, 2022;1;51(7):20210437. DOI: https://doi.org/10.1259/dmfr.20210437

50. Revilla-León M, Gómez-Polo M, Vyas S, Barmak BA, Galluci GO, Att W, *et al*. Artificial intelligence applications in implant dentistry. J.Prosthet.Dent. 2023;129:293-300. DOI: https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2021.05.008.

51. Marco R. Inteligencia Artificial Y Mercantilismo. Reflexiones sobre la ética en la Odontología moderna. Rev. Odontólogos de hoy. 2023. *[Internet] [citado 2025 sep8].* Disponible en: https://www.odontologosdehoy.com/inteligencia-artificial-y-mercantilismo-reflexiones-sobre-la-etica-en-la-odontologia-moderna/

52. UNESCO. Recomendación sobre la ética de la inteligencia artificial. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Paris. 2022.

53. European Comission. AI Act. Shaping Europe's digital future. Digital-strategy.ec.europa.eu. 2024. [Internet] [citado 2025 sep8]. Disponible en https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/regulatory-framework-ai