



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

UNIDAD ACADÉMICA DE SALUD Y BIENESTAR
CARRERA DE ODONTOLOGÍA

**INTELIGENCIA ARTIFICIAL EN LA DETECCIÓN DE CARIES
DENTAL MEDIANTE RADIOGRAFÍAS PERIAPICALES.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE ODONTÓLOGA**

AUTOR: LIZBETH JOHANA CEPEDA MULLO

DIRECTOR: ING. ÁNGEL AURELIO MOROCHO MACAS

AZOGUES - ECUADOR

2024

DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO



Declaratoria de Autoría y Responsabilidad

Lizbeth Johana Cepeda Mullo portador(a) de la cédula de ciudadanía N° **0650222177**. Declaro ser el autor de la obra: “**Inteligencia artificial en la detección de caries dental en radiografías periapicales.**”, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Azogues, **12 de Noviembre de 2024**

F:

Lizbeth Johana Cepeda Mullo
C.I. **0650222177**

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ángel Aurelio Morocho Macas

DOCENTE DE LA CARRERA DE ODONTOLOGIA

De mi consideración:

Certifico que el presente trabajo de titulación denominado: "**Inteligencia artificial en la detección de caries dental en radiografías periapicales**". realizado por: **Lizbeth Johana Cepeda Mullo**, con documento de identidad: **0650222177**, previo a la obtención del título de **Odontólogo** ha sido asesorado, orientado, revisado y supervisado durante su ejecución, bajo mi tutoría en todo el proceso, por lo que certifico que el presente documento, fue desarrollado siguiendo los parámetros del método científico, se sujeta a las normas éticas de investigación que exige la Universidad Católica de Cuenca, por lo que está expedito para su presentación y sustentación ante el respectivo tribunal.

Azogues, 28 de Octubre 2023



Ángel Aurelio Morocho Macas

0703605675

TUTOR

DEDICATORIA.

Con todo mi corazón, dedico este trabajo a Dios, quien me sostuvo durante los momentos de duda y me dio la fuerza para superar los obstáculos.

A mi papá, Patricio, mi cómplice y confidente, quien siempre creyó en mí.

A la mujer que me dio la vida, mi mamá María, mi ángel de la guarda.

A Sneider, mi hermano menor, pero mi mayor apoyo.

A Kennia, un ser lleno de alegría y locuras.

A mi hermanito quien partió demasiado pronto. Aunque no tuvimos mucho tiempo juntos, tu recuerdo me inspira cada día.

Este trabajo es un pequeño regalo para ti, un intento por honrar tu memoria y todo lo que significas para mí.

EPIGRAFE

“Ya te lo he ordenado:

¡Sé fuerte y valiente!

¡No tengas miedo ni te desanimes!

Porque el SEÑOR tu Dios te acompañará dondequiera que vayas.”

Josué 1:9

AGRADECIMIENTOS:

El presente trabajo es el resultado de un largo proceso en el cual conté con el apoyo incondicional de diversas personas.

En primer lugar, deseo expresar mi gratitud a Dios, por brindarme la sabiduría y las herramientas necesarias para llevar a cabo esta investigación.

A mis padres, Patricio y María, por su apoyo económico y emocional.

A mis hermanos, Kennia y Sneider, por su compañía y amistad, gracias por ser un hombro en el que llorar y mi mano para levantarme.

Y a mi tío Fernando, por sus valiosos consejos y su ejemplo de vida.

Inteligencia artificial en la detección de caries dental en radiografías periapicales.

Lizbeth Johana Cepeda Mullo, Ángel Aurelio Morocho Macas

Universidad Católica de Cuenca, Lizbeth.cepeda@est.ucacue.edu.ec

RESUMEN

La inteligencia artificial (IA) ha ido avanzando en el campo de la odontología, especialmente al momento de detectar la caries dental, Actualmente una serie de estudios han indicado que los modelos de IA, particularmente las redes neuronales convolucionales (CNN) aventajan a los profesionales odontólogos. El objetivo de este trabajo pretende determinar las diferencias en la detección de caries dental mediante el análisis de radiografías periapicales, entre los métodos tradicionales y el uso de inteligencia artificial en términos de precisión, sensibilidad y especificidad. El estudio se realizó mediante una revisión sistemática de la literatura, las bases de datos científicas consultadas fueron Web of Science, PubMed, Cochrane Library, IEEE Xplore. Los resultados evidencian que las redes neuronales convolucionales presentan una gran capacidad para perfeccionar la detección de caries, sin embargo, existe la necesidad de realizar una serie de investigaciones para establecer si es la herramienta definitiva para su diagnóstico. En conclusión, si bien la inteligencia artificial representa un progreso notable para el campo de la odontología, su amplia implementación requiere abordar impedimentos como la variabilidad del rendimiento en función del tipo de datos e imágenes. Sin embargo, su capacidad para mejorar la precisión del diagnóstico y su relevancia en la práctica clínica la convierten en un instrumento prometedor para el avance del diagnóstico radiográfico dental.

Palabras claves: Inteligencia artificial, Caries dental, Radiografías periapicales

Artificial Intelligence in Detecting Dental Caries in Periapical Radiographs.

Lizbeth Johana Cepeda Mullo, Ángel Aurelio Morocho Macas
Catholic University of Cuenca, Lizbeth.cepeda@est.ucacue.edu.ec

ABSTRACT

Artificial intelligence (AI) has been advancing in dentistry, especially when detecting dental caries. Currently, a series of studies have indicated that AI models, particularly convolutional neural networks (CNN), are ahead of dental professionals. This work aims to determine the differences in the detection of dental caries by analyzing periapical radiographs between traditional methods and artificial intelligence in terms of accuracy, sensitivity, and specificity. This study was conducted through a systematic literature review with scientific databases, including Web of Science, PubMed, Cochrane Library, and IEEE Xplore. The results indicate that convolutional neural networks can significantly improve caries detection. However, there is a need for further research to establish whether it is the definitive tool for caries diagnosis. In conclusion, while artificial intelligence represents remarkable progress in dentistry, its widespread implementation requires addressing impediments, such as performance variability depending on the data type and images. Nevertheless, its ability to improve diagnostic accuracy and its relevance to clinical practice makes it a promising tool for advancing dental radiographic diagnosis.

Keywords: Artificial intelligence, Dental caries, Periapical radiographs



1. INTRODUCCIÓN

La caries dental es una de las enfermedades más comunes y significativas en términos de salud pública a nivel mundial (1,2). La detección precisa y temprana de la caries es esencial para prevenir su progresión y evitar complicaciones severas, como infecciones, dolor crónico y pérdida dental (3). En este sentido, los métodos tradicionales de detección de caries, que se basan en el examen clínico visual y el análisis de radiografías periapicales por parte de odontólogos, presentan limitaciones inherentes, como la variabilidad en la interpretación y el riesgo de errores diagnósticos debido a la subjetividad del observador (2,4). En este contexto, las métricas que se tomarán en consideración son: Precisión: el cual nos da a conocer con exactitud si un diente tiene caries. Sensibilidad: tiene la capacidad de identificar todos los casos de caries dental. Especificidad: está encargado en identificar las piezas dentales sanas (4,5). Actualmente la inteligencia artificial hace referencia a todo tipo de tecnología que tenga la capacidad de simular una serie de habilidades que caracterizan a los seres humanos (6). La inteligencia artificial nació en 1956 con Dartmouth quien dio apertura a un gran potencial en el campo de la investigación incluyendo las redes neuronales convolucional siendo este el avance más reciente, el cual está encargado de imitar al sistema neurológico dando respuesta a los estímulos (1,6). La IA ha demostrado notables avances en el campo de la odontología. Por ejemplo, los modelos de aprendizaje profundo han mostrado resultados prometedores al momento de detectar caries dental y lesiones periapicales usando radiografías (7,8,9), evidenciando una alta acogida, siendo esta una herramienta complementaria al momento de su diagnóstico (5, 6,10). Además, se destaca el potencial de las redes neuronales convolucionales (CNN) en la detección de caries, con GoogLeNet al mostrar un mejor rendimiento (1,9). Entre otros ejemplos, Bhattacharjee (2) desarrolló un sistema de IA que utiliza una red neuronal artificial (RNA) para detectar cavidades en imágenes dentales, logrando una alta precisión y proporcionando explicaciones visuales para sus diagnósticos (2). Matloobi et al. (11) aplicó una red inmune artificial para identificar cavitación en bombas centrífugas, demostrando una precisión superior en la detección de cavitación en las primeras etapas (11). Alireza et al. (12) da a conocer una RNA para detectar cavidades subsuperficiales en una central eléctrica, demostrando además la versatilidad y eficacia de la IA en la detección de cavidades(12). Asimismo, la caries dental se puede identificar mediante radiografías periapicales el cual ha sido explorado a través de diversos métodos (13). Tikhe et al. (14) desarrollaron un algoritmo utilizando radiografías periapicales digitales para detectar caries del esmalte e interproximales, mejorando la facilidad de identificación de la caries, descubrió que tanto la radiografía panorámica como la intraoral son igual de eficaces para detectar lesiones periapicales, siendo esta última también útil para detectar caries (14). Por su parte Hassan Aqeel Khan et al. (15) destacaron el potencial de las redes neuronales convolucionales de aprendizaje profundo para detectar y diagnosticar caries dentales en radiografías periapicales, ofreciendo una evaluación más precisa y objetiva (15). Mientras que el Moharrami et al. (4) indicaron que la precisión diagnóstica de la radiografía periapical digital intraoral con la tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) para detectar defectos óseos periapicales, demostraron la CBCT con una mayor sensibilidad y una mejor detección (4).

Por ello, la inteligencia artificial (IA) ha emergido como una tecnología prometedora en el campo de la odontología, especialmente en el análisis de imágenes radiográficas (1,2). En este sentido, se puede suponer que ciertos algoritmos de IA podrían llegar a superar los métodos tradicionales en términos de precisión, sensibilidad y especificidad en la detección de caries dental en radiografías periapicales (9,16), pero, a pesar de estos avances, aún persiste una falta de consenso sobre la efectividad comparativa de la IA frente a estos métodos tradicionales (14,16).

Por lo expuesto, este estudio se propone abordar en el conocimiento mediante una revisión exhaustiva de la literatura existente, con la finalidad de proporcionar una evaluación rigurosa del desempeño de la IA en la detección de caries dental en radiografías periapicales. Por lo cual, el objetivo pretende determinar si existe diferencias en la detección de caries dental mediante el análisis de radiografías periapicales, entre los métodos tradicionales y el uso de inteligencia artificial en términos de precisión, sensibilidad y especificidad.

2. METODOLOGÍA

2.1. Diseño del Estudio

Este estudio se llevó a cabo mediante una revisión sistemática para mapear la literatura disponible sobre el uso de inteligencia artificial (IA) en la detección de caries dental en radiografías periapicales. La revisión siguió estrictamente las directrices del método PRISMA.

2.2. Pregunta PICO

La pregunta PICO para el artículo de revisión sistemática titulado "Inteligencia artificial en la detección de la caries dental en radiografías periapicales" fue: ¿Existen diferencias en la detección de caries dental mediante el análisis de radiografías periapicales, entre los métodos tradicionales y el uso de inteligencia artificial en términos de precisión, sensibilidad y especificidad?

2.3. Criterios de Elegibilidad

2.3.1. Criterios de Inclusión:

- Estudios observacionales, estudios de validación diagnóstica, ensayos clínicos.
- Estudios que se hayan realizado en pacientes con sospecha de caries dental.
- Investigaciones que hayan usado algoritmos de inteligencia artificial para la detección de caries en radiografías periapicales y también métodos tradicionales de detección de caries por odontólogos (por ejemplo, detección visual).
- No existe límite de tiempo de publicación
- Documentos de acceso completo

2.3.2. Criterios de Exclusión:

- Estudios que no comparen directamente la IA con métodos tradicionales.
- Estudios con diseños inadecuados o con datos insuficientes sobre los resultados de interés.
- Artículos de opinión, cartas al editor, estudios en animales y estudios preclínicos.
- Artículos que no son de acceso completo.

2.4. Estrategia de Búsqueda

Se realizó una búsqueda exhaustiva en las siguientes bases de datos científicas **Web of Science, PubMed, Cochrane Library, IEEE Xplore**. La búsqueda incluyó términos y combinaciones de palabras clave relacionadas con la "inteligencia artificial", "caries dental", "radiografías periapicales", y términos específicos como "deep learning", "machine learning", "dental caries detection", y "periapical radiographs". Se adaptó las estrategias de búsqueda a las especificidades de cada base de datos.

Tabla 1. Cadena de búsqueda

N	Base de Datos	Cadena de búsqueda
1	Web of Science (WoS)	TS= ("intelligence artificial" OR "machine learning" OR "deep learning") AND TS= ("dental caries" OR "dental decay" OR "caries detection") AND TS= ("periapical radiographs" OR "dental radiography" OR "periapical x-ray")
2	PubMed	((("intelligence artificial"[MeSH Terms] OR "machine learning"[MeSH Terms] OR "deep learning"[MeSH Terms]) AND ("dental caries"[MeSH Terms] OR "dental decay"[MeSH Terms] OR "caries detection"[MeSH Terms]) AND ("periapical radiographs"[MeSH Terms] OR "dental radiography"[MeSH Terms] OR "periapical x-ray"[MeSH Terms]))
3	Cochrane Library	("intelligence artificial" OR "machine learning" OR "deep learning") AND ("dental caries" OR "dental decay" OR "caries detection") AND ("periapical radiographs" OR "dental radiography" OR "periapical x-ray")
4	IEEE Xplore	("intelligence artificial" OR "machine learning" OR "deep learning") AND ("dental caries" OR "dental decay" OR "caries detection") AND ("periapical radiographs" OR "dental radiography" OR "periapical x-ray")

Nota. Fuente: Los autores

2.5. Selección de Estudios

La selección de los estudios fue realizada por dos de los autores del manuscrito, los cuales analizaron los títulos y resúmenes de los estudios identificados en la búsqueda inicial para determinar su elegibilidad. Los estudios potencialmente relevantes fueron evaluados en su totalidad para confirmar su inclusión en la revisión. Cualquier discrepancia entre los revisores fue resuelta mediante discusión y, de ser necesario, con la intervención de un tercer revisor.

La búsqueda inicial dio como resultado 1563 documentos, luego de aplicar los criterios de inclusión y exclusión se obtuvieron 776 artículos. A continuación, se procedió a leer los títulos y resúmenes de los archivos de acceso completo, logrando identificar 12 manuscritos que se incluyeron en el estudio para el análisis cualitativo. Tal cual, se demuestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Caracterización de los documentos incluidos en el estudio

Autor	Diseño de estudio	Población	Variable	Resultados
Sanmartín-Rodríguez et al. (2022)	Revisión narrativa	Niños	Métodos diagnósticos de caries interproximal	Comparación de métodos diagnósticos visuales y radiográficos

Musri et al. (2021)	Revisión sistemática	No especificado	Algoritmos CNN para detección temprana de caries	Análisis de estudios sobre uso de redes neuronales convolucionales para diagnóstico de caries en radiografías periapicales
Khan et al. (2021)	Estudio original	No especificado	Detección automatizada de caries en radiografías periapicales	Desarrollo de un modelo basado en aprendizaje profundo para identificar características de caries en radiografías
Moharrami et al. (2024)	Revisión sistemática	No especificado	Detección de caries en fotografías dentales	Análisis de estudios sobre uso de inteligencia artificial para diagnóstico de caries en fotografías intraorales
Sonavane et al. (2021)	Estudio original	No especificado	Clasificación de caries dental	Desarrollo de una red neuronal convolucional para clasificar cavidades dentales
Ünal et al. (2024)	Estudio original	No especificado	Evaluación de IA para detección de lesiones periapicales	Análisis del rendimiento de la inteligencia artificial para identificar lesiones periapicales en radiografías panorámicas
Lin et al. (2022)	Estudio original	No especificado	Detección de caries proximal en radiografías periapicales	Desarrollo de un modelo basado en CNN para detectar caries proximal en radiografías con limitaciones de datos
Zadrožny et al. (2022)	Estudio original	No especificado	Aplicación de IA en radiografías panorámicas	Evaluación del uso de la inteligencia artificial para el análisis de radiografías panorámicas
Zheng et al. (2021)	Estudio original	No especificado	Diagnóstico de caries profunda y pulpitis	Desarrollo de un modelo basado en CNN para diagnóstico de caries profunda y pulpitis usando radiografías
Mao et al. (2021)	Estudio original	No especificado	Detección de caries y restauraciones	Utilización de aprendizaje por transferencia con redes neuronales convolucionales para detectar caries y restauraciones en radiografías de aleta de mordida
Chuo et al. (2022)	Estudio original	No especificado	Detección de lesiones apicales	Desarrollo de un sistema basado en aprendizaje por transferencia para identificar lesiones apicales en radiografías periapicales
Imak et al. (2022)	Estudio original	No especificado	Detección de caries dental	Desarrollo de un modelo basado en CNN multi-entrada para detección de caries dental

2.6. Extracción de Datos

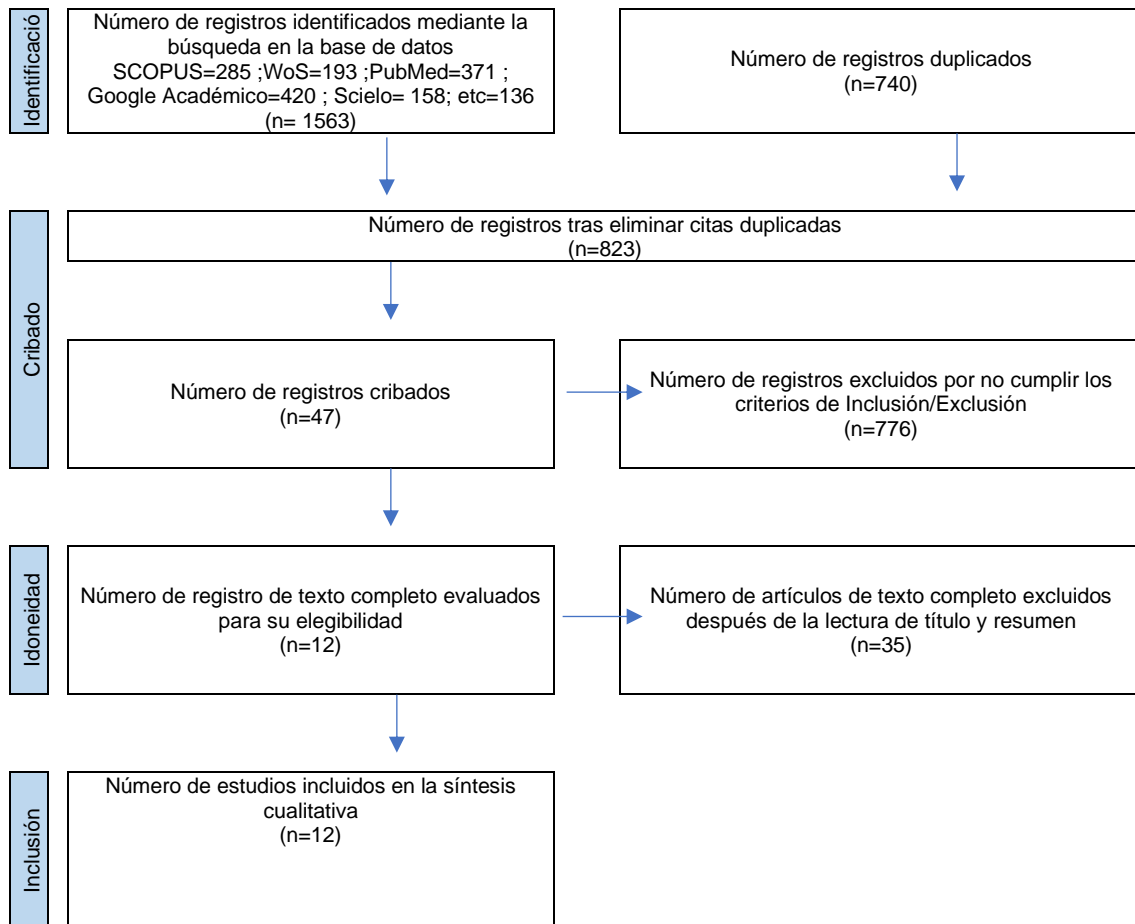
Se utilizó un formulario de extracción de datos estandarizado para recopilar la siguiente información de cada estudio:

- Información bibliográfica (autores, año de publicación)
- Diseño del estudio
- Características de la población
- Descripción de la intervención (tipo de algoritmo de IA)
- Métodos de comparación (técnicas tradicionales)
- Resultados principales (precisión, sensibilidad, especificidad)
- Limitaciones del estudio

3. RESULTADOS

En la Figura 1, se muestra el proceso de selección de artículos que se incluyeron en el estudio. Obteniendo un total de 12 documentos. Como se demuestra a continuación.

Figura 1. Diagrama de flujo de la búsqueda bajo la declaración PRISMA



3.1. Contextualización de los métodos tradicionales y el uso de inteligencia artificial para abordar la detección de caries dental mediante el análisis de radiografías

Por otro lado, en cuanto a los estudios que abordan la detección de caries dental mediante el análisis de radiografías usando métodos tradicionales y el uso de inteligencia artificial, se puede percibir que:

- El uso de bandas separadoras, según Sanmartín, es eficaz para aumentar la sensibilidad y la especificidad del examen clínico visual, en particular en las zonas de difícil acceso (17). Leur tour, Musri, como también Khan consideran la necesidad de aplicar análisis estadísticos rigurosos para evaluar la exactitud de los métodos de diagnóstico (7,16). En conjunto, estos resultados demuestran la pertinencia de combinar la experiencia clínica con herramientas y técnicas para obtener diagnósticos más precisos y posterior a ello proponer tratamientos dentales eficaces y sobre todo personalizados (13). (Tabla 2).
- Mientras que en los estudios que involucran el uso de IA, derivados del trabajo pionero de Sonavane, en 2021 hasta la investigación más reciente de Unal, en 2023 coincidirán en que las redes neuronales convolucionales (CNN) demuestran un gran potencial para revolucionar el diagnóstico de la caries dental (14,15). Estos modelos de inteligencia artificial, al analizar rayos X e imágenes visuales, han demostrado una precisión comparable, o incluso mejor que la de los dentistas (19). La investigación de Mohamand et al. (14) en 2023 destacó la importancia de seleccionar métodos de evaluación adecuadas, como la puntuación F1, para evaluar con precisión el rendimiento de estos modelos, especialmente en conjuntos de datos desequilibrados (14). A medida que avanza la investigación, como lo demuestran los estudios de Zheng y Huang (22)

en 2021, están identificando que los CNN cada vez más eficaces y precisas para la detección de caries. Aunque es esencial continuar la investigación para abordar desafíos como el desequilibrio de los datos y la interpretación de modelos con el objetivo de maximizar su impacto en la salud bucal (22). (Tabla 2)

Tabla 2. Métodos usados para la interpretación de radiografías periapicales.

Autor	Año	Interpretación de radiografías periapicales	
		Método tradicional	Inteligencia artificial
Estefanía sanmartín, paola ordoñez, priscilla medina, sebastián lópez, camila vasquez.	2022	Los valores de sensibilidad y especificidad en el examen clínico visual se han visto influenciados positivamente con el uso de las ligas separadoras, ya que éstas permiten obtener un espaciamiento momentáneo que nos ayuda a evaluar con más precisión en las superficies proximales, superficies dentales que presentan cierto grado de complejidad por encontrarse fuera del alcance del ojo clínico.	
Nabilla musri, Brenda christie, Solachuddin jauhari.	2021	Se evaluaron la precisión diagnóstica, la sensibilidad, la especificidad, el valor predictivo positivo y el valor predictivo negativo. Se consideró que los valores $p < 0,05$ indicaban significación estadística y se calcularon intervalos de confianza (ic) del 95%.	
H. Khan, m. A. Haider, hassan ali ansari, hamna ishaq, a. Kiyani,	2020	Además, para las características clínicamente relevantes evaluadas en nuestro estudio actual y para características adicionales (como caries dentales sutiles y radiolucidez periapical), planeamos realizar una investigación que incluirá la determinación de medidas diagnósticas de precisión, como sensibilidad y especificidad, además de realizar análisis de características operativas del receptor para determinar los valores del área bajo la curva (auc) como una medida de precisión.	
Mohamand moharrani, Alistair e w johnson, Julie farmer.	2023		Para las tareas de detección, también informamos sobre la precisión media promedio (map), así como el umbral de intersección sobre unión (iou) en función de los cuales se calcularon las métricas de clasificación. En nuestra síntesis, cuando estaba disponible o podía calcularse manualmente, informamos principalmente la puntuación f1, que proporciona un promedio armonizado de recuperación/sensibilidad y precisión. Si no estaba disponible, informamos sobre auroc o tanto la sensibilidad como la especificidad. Tenga en cuenta que algunos estudios informaron la precisión, que tiende a reflejar principalmente la prevalencia de lesiones de caries y no necesariamente el rendimiento del modelo (en el caso de conjuntos de datos muy desequilibrados, que son comunes); no informamos sobre los resultados únicamente basados en la precisión en nuestra síntesis.
Apurva sonavane, rohit yadav and aditya khamparia	2021		Para detectar caries dentales, los médicos utilizan diferentes modalidades de imagen; sin embargo, en este artículo hemos utilizado imágenes visuales de dientes y hemos

		aplicado una red neuronal convolucional profunda (cnn) para clasificar los dientes en cariadados o no cariadados. Hemos utilizado las imágenes del conjunto de datos de kaggle y, después de ajustar nuestro modelo, pudimos lograr una precisión del 71,43 %.
Suay yağmur ünal, gaye keser1, filiz namdar pekiner, zeynep yıldızbaş, mehmet ali kurt	2024	Faltaban doce lesiones apicales. El modelo de ia pudo segmentar las lesiones incluso en cinco situaciones en las que no había lesiones apicales. Con un iou del 70 %, los valores de sensibilidad, precisión y puntuación f1 fueron, en ese orden, 0,92, 0,84 y 0,88. Los resultados revelaron la posible utilidad de los algoritmos de aprendizaje profundo de ia en un entorno de odontología clínica.
Tugba ari, hande sag lam, hasan öksüzog lu.	2022	Las imágenes obtenidas se evaluaron y anotaron en tres clases diferentes: "sin cambios en la superficie (nsc)"; "visualmente no cavitadas (vnc)"; y "cavitadas" (c). Se desarrolló un sistema de clasificación svm automatizado de dos pasos para la detección de caries. Se encontró que la precisión, sensibilidad y especificidad fueron del 92,37 %, 88,1 % y 96,6 %,
Łukasz zadroz 'ny' Piotr regulski, katarzyna brus- sawczuk.	2022	Se obtuvo una sensibilidad baja para la evaluación de caries, lesión periapical, así como de conductos con sobrellenado o con relleno insuficiente.
Liwen zheng, Haolin wang, Li mei, Qiuman chen.	2021	Los rendimientos de detección de los tres modelos probados en este estudio se resumieron en la tabla 3. El modelo resnet18 mostró el mejor rendimiento, con el auc más alto de 0,89 (ic del 95 %: 0,86-0,92), precisión de 0,82 (ic del 95 %: 0,80-0,84), precisión de 0,81 (ic del 95 %: 0,73-0,89), sensibilidad de 0,85 (ic del 95 %: 0,79-0,91) y especificidad de 0,82 (ic del 95 %: 0,76-0,88), en comparación con vgg19, inception v3 y los dentistas de comparación.
Huang Y, Lee S.	2022	El modelo inception presentó los mejores resultados y una tasa de corrección impresionante incluso en un conjunto de datos pequeño y desequilibrado. La exactitud, precisión, recuperación, especificidad y valores predictivos negativos finales fueron 0,817, 0,762, 0,923, 0,711 y 0,902, respectivamente. En investigaciones anteriores, se puede ver que una red neuronal convolucional (cnn) es un método de aprendizaje profundo que se utiliza con mayor frecuencia para analizar imágenes visuales.
Debanti Giri, Piyush Dongre	2022	Se logró una precisión del 78,2 por ciento, una sensibilidad del 75,4 por ciento y una especificidad del 81,0 por ciento utilizando un sistema de clasificación de imágenes cnn equivalente a los de los radiólogos expertos. [
Andac Imak, Adalet Celebi, Kamran Siddique.	2022	De acuerdo con estos resultados, la puntuación máxima de precisión para el modelo alexnet basado en imágenes sin procesar e imágenes filtradas fue del 98,26 % para ambos métodos. Como se puede ver en la tabla 4, el modelo de conjunto cnn de múltiples entradas basado en puntuaciones propuesto obtuvo una puntuación de precisión del 99,13 %. Además, las otras medidas de rendimiento, como la sensibilidad, la especificidad, la precisión y los valores de f1_score fueron del 98 %, 100 %, 100 % y 98,99 %, respectivamente.

Fuente: Los autores

3.2. Precisión, sensibilidad, especificidad en la detección de caries en radiografías periapicales utilizando la inteligencia artificial en comparación con los métodos tradicionales

En la Tabla 3, se puede demostrar que la comparación de precisión, sensibilidad y especificidad entre el uso de inteligencia artificial (IA) y los métodos tradicionales para la detección de caries en radiografías periapicales muestra una clara tendencia hacia la superioridad de los modelos de IA en varios aspectos. Si bien el examen clínico visual combinado con técnicas como los separadores de ortodoncia se considera suficiente para detectar caries interproximales, su capacidad de detección varía significativamente según la experiencia del odontólogo y la calidad de las imágenes, lo que limita su precisión en comparación con las herramientas avanzadas de IA (22,23).

En términos de IA, modelos como ResNet18 han demostrado una sensibilidad y especificidad de 0,89 y 0,86, respectivamente, en la detección de caries profundas y pulpitis, los cuales han sido considerados significativamente con esta herramienta IA reportados en comparación a la evaluación manual (14,15). Esta capacidad superior de la IA para detectar lesiones tanto superficiales como profundas sugiere que puede reducir el riesgo de diagnóstico erróneo o subestimación, especialmente en las primeras etapas de la caries, favoreciendo el tratamiento oportuno (20).

Por otra parte, los modelos más avanzados, como los basados en redes neuronales convolucionales (CNN), alcanzan precisiones de hasta el 99,13% y una especificidad del 100%, lo que indica una capacidad prácticamente infalible para identificar lesiones cariosas (23). Esta alta precisión es particularmente relevante en escenarios donde la interpretación radiológica puede ser compleja, por ejemplo, cuando se detectan lesiones apicales o en casos donde las cavidades no son muy obvias (24). Por el contrario, los métodos tradicionales requieren una mayor intervención humana y están sujetos a la variabilidad interobservador, lo que puede resultar en un menor grado de consistencia diagnóstica (25).

Tabla 3. Contraste de la Precisión, sensibilidad, Especificidad respecto a la temática de estudio

Cod.	Procedimiento, Herramienta o Modelo	Precisión	Sensibilidad	Especificidad	Otras métricas	Observaciones
1	Examen clínico visual con separadores de ortodoncia					Mejor para caries interproximales
2	U-Net					Alto potencial para el análisis automatizado de PA
3	Aplicación de inteligencia artificial para teléfonos inteligentes	84.6%	75%			Detección en tiempo real a partir de radiografías de aleta de mordida
4	ResNet18 C	0.86	0.89	0.86		Diagnóstico de caries profundas y pulpitis
5	Modelo CNN propuesto	96.21%				Detección de lesiones apicales
6	Conjunto CNN profundo	99.13%	98	100		Alta precisión para la detección de caries
7	CNN capacitada/o con estrategia EE	860	Más alto que el ojo humano			Detección de caries proximales
8	Aprendizaje profundo para lesiones periapicales	8.578	Sensibilidad mejorada para lesiones pequeñas.			Radiografías panorámicas
9	CNN de aprendizaje profundo	89.0%	84.9%	94.0%		Premolares y molares

10	Modelos DL y no DL				Puntuación F1	Detección de caries dentales
11	Modelo CNN	90.30%	100%	99.7%		Clasificación de caries y restauraciones
12	Modelo CNN	71.43%				Clasificación de las caries

Fuente: Los autores

4. DISCUSIÓN

Esta revisión sistemática busca analizar la evidencia existente sobre las disparidades en precisión, sensibilidad y especificidad entre los dos métodos, basándose en las investigaciones empíricas más recientes, así como evaluar las posibles implicaciones de la IA en la práctica clínica dental.

Por ello, la literatura evidencia que, en la actualidad, la integración de las herramientas de inteligencia artificial (IA) en el ámbito de la odontología nos da a conocer un progreso sustancial en la mejora de la detección de la caries dental. En este sentido, la evaluación de las radiografías periapicales constituye una de las metodologías empleadas con la finalidad, y la determinación del diagnóstico de los estudios comparativos entre las metodologías convencionales y las que utilizan inteligencia artificial.

En este contexto, son numerosas investigaciones que han explorado la relación de las técnicas tradicionales de diagnóstico visual o radiográfico con los modelos de IA, lo que pone de relieve las importantes mejoras en la precisión del diagnóstico facilitadas por la aplicación de la inteligencia artificial. Según Sanmartín et al. (17) la importancia de emplear complementos clínicos, como ligas separadoras, para mejorar la visibilidad y la precisión en la identificación de la caries interproximal. Este hallazgo pone de relieve que, si bien el examen visual clínico sigue siendo el punto de referencia en numerosas prácticas, su precisión puede aumentarse mediante metodologías que faciliten un mejor acceso visual a las regiones más complejas. No obstante, esta estrategia sigue dependiendo en gran medida de la competencia del profesional y de las circunstancias del paciente, lo que se traduce en una variabilidad considerable en los resultados obtenidos.

Por el contrario, la investigación realizada por Musri et al. (1) aclara que el uso de los algoritmos de la CNN ha mejorado notablemente la identificación temprana de caries en las radiografías periapicales, ya que muestran una sensibilidad y una especificidad que superan a las de las metodologías visuales tradicionales. De tal forma, que la aplicación de la IA para la identificación de caries ha revelado un potencial sustancial para mitigar ciertas limitaciones endémicas de las técnicas convencionales. Siendo, las arquitecturas de aprendizaje profundo, en particular las redes neuronales convolucionales (CNN), aquellas que se han investigado rigurosamente por su capacidad para evaluar las imágenes radiográficas de una manera más objetiva y reproducible. Los hallazgos implican que, al eliminar la dimensión subjetiva del proceso de diagnóstico, la IA proporciona una precisión diagnóstica más consistente y menos vulnerable a los errores humanos.

De manera complementaria, la investigación de Khan et al. (15) introduce un modelo de aprendizaje profundo diseñado expresamente para discernir las características de la caries en las radiografías periapicales. Esta investigación subraya que, además de mejorar la sensibilidad y la especificidad en comparación con las metodologías convencionales, el modelo posee la capacidad de detectar caries sutiles y otros matices clínicos que pueden pasarse por alto durante una evaluación visual. Este descubrimiento es particularmente pertinente cuando se aborda la identificación de lesiones pequeñas o incipientes, las cuales, representan un desafío importante para los enfoques tradicionales debido a las limitaciones intrínsecas asociadas a la interpretación visual.

La capacidad de los modelos de IA para superar estas limitaciones se ve corroborada por Únal et al. (19) Documentan que un modelo de IA basado en arquitecturas de redes neuronales era eficaz para segmentar las lesiones apicales, incluso en circunstancias

en las que los métodos tradicionales no lograban identificar las lesiones evidentes. Con una precisión, sensibilidad y especificidad registradas de 0,84, 0,92 y 0,88, respectivamente, los hallazgos de este estudio corroboran el potencial de los algoritmos de IA para mejorar la detección de lesiones en las radiografías periapicales, independientemente de la competencia o la experiencia del médico. Estos hallazgos son congruentes con los reportados por Tugba Ari et al. (20), quienes idearon un sistema de clasificación automatizado para la detección de caries que obtuvo una precisión del 92,37%, una sensibilidad del 88,1% y una especificidad del 96,6%. Este nivel de rendimiento, notablemente superior al observado en los métodos convencionales, acentúa la eficacia de la IA en los contextos clínicos.

A pesar de estos avances, algunos estudios han puesto de relieve aspectos en los que los modelos de IA no han conseguido alcanzar niveles de eficacia equivalentes. Por ejemplo, la investigación llevada a cabo por Zadrožny et al. (21) revela una disminución de la sensibilidad a la hora de evaluar las caries y las lesiones periapicales cuando se aplicaban modelos de IA a las radiografías panorámicas, lo que implica que no todas las categorías de imágenes dentales se benefician de manera uniforme de la implementación de la IA. Esta variación puede atribuirse a las características inherentes de las imágenes panorámicas, que normalmente ofrecen un detalle reducido en relación con las radiografías periapicales, lo que limita el rendimiento de los algoritmos de aprendizaje profundo en tales escenarios.

Con respecto a los modelos de IA específicos, los estudios de Zheng et al. (22) y Moharrami et al. (14) han demostrado que la arquitectura ResNet18 y otras metodologías de redes neuronales convolucionales muestran una precisión superior en comparación con los modelos más rudimentarios. Zheng et al. (22) informan de una precisión de 0,82, acompañada de una sensibilidad de 0,85 y una especificidad de 0,82, lo que subraya el rendimiento excepcional de los modelos de IA en comparación con las técnicas tradicionales. En una línea similar, Moharrami et al. (14) subrayan que el modelo Inception tiene la capacidad de ofrecer una tasa de corrección impresionante, incluso cuando se trata de conjuntos de datos limitados y desequilibrados, logrando una precisión cercana al 81,7% junto con valores predictivos elevados.

Sin embargo, algunos autores, como Giri y Dongre (24), han advertido que la eficacia de los modelos de IA puede fluctuar en función de la calidad y el equilibrio de los conjuntos de datos utilizados para entrenar los algoritmos. Estos investigadores afirman que, si bien los modelos de redes neuronales convolucionales han demostrado una precisión del 78,2%, esta métrica podría mejorarse sustancialmente mediante la utilización de conjuntos de datos más sólidos y representativos. En este contexto, la necesidad de disponer de volúmenes sustanciales de datos para entrenar adecuadamente a los modelos de IA se perfila como un factor fundamental que limita su aplicabilidad en entornos clínicos específicos caracterizados por un acceso limitado a una gran cantidad de datos.

Con respecto a la especificidad de las metodologías de inteligencia artificial, investigaciones como las realizadas por Andac et al. (25) arrojan resultados notables. En el modelo de red neuronal convolucional (CNN) que propusieron, alcanzaron una tasa de especificidad del 100%, lo que indica una capacidad casi perfecta para eliminar los diagnósticos falsos positivos en la identificación de la caries dental. Esta estadística supera con creces la de las técnicas convencionales, lo que resalta la importancia de los modelos de IA para mitigar los diagnósticos erróneos y mejorar la eficacia del diagnóstico en los entornos clínicos.

En consecuencia, la evidencia empírica indica que las metodologías impulsadas por la IA, en particular las que emplean redes neuronales convolucionales profundas, ofrecen claras ventajas en cuanto a precisión, sensibilidad y especificidad para la identificación de la caries dental en las radiografías periapicales, a diferencia de las metodologías tradicionales. No obstante, es imprescindible reconocer las limitaciones intrínsecas de los modelos de IA, que pueden estar influenciadas por la calidad de los datos y la variabilidad de los tipos de imágenes utilizadas. A pesar de estos obstáculos, el

consenso predominante en la literatura académica es que la inteligencia artificial tiene el potencial de convertirse en un activo esencial en el diagnóstico dental, siempre que se realicen investigaciones en curso y se logren avances en la calidad de los algoritmos empleados.

5. CONCLUSIÓN

En conclusión, la literatura existente corrobora que las metodologías basadas en la inteligencia artificial, en particular las redes neuronales convolucionales, superan a las técnicas convencionales en la identificación de caries dentales en cuanto a precisión, sensibilidad y especificidad. Sin embargo, estos avances dependen de la calidad y la cantidad de los datos utilizados, lo que representa un obstáculo importante para su integración integral en la práctica clínica. Y, a pesar de las limitaciones identificadas en algunos estudios, como la sensibilidad inadecuada en determinados tipos de imágenes, la inteligencia artificial tiene un potencial sustancial para mejorar la precisión del diagnóstico, lo que reduce la dependencia de la experiencia humana.

Por el contrario, siguen prevaleciendo las incoherencias en los resultados según la naturaleza de las imágenes radiográficas y el modelo de inteligencia artificial empleado, lo que acentúa la necesidad de mejorar la estandarización y la validación en entornos clínicos auténticos. Además, los resultados muestran una variabilidad considerable cuando los conjuntos de datos están desequilibrados, lo que subraya la importancia fundamental de los modelos de formación con conjuntos de datos representativos para mitigar los sesgos diagnósticos.

Por consiguiente, si bien la inteligencia artificial representa un progreso notable para el campo de la odontología, su amplia implementación requiere abordar impedimentos como la variabilidad del rendimiento en función del tipo de datos e imágenes. Sin embargo, su capacidad para mejorar la precisión del diagnóstico y su relevancia en la práctica clínica la convierten en un instrumento prometedor para el avance del diagnóstico radiográfico dental.

6. REFERENCIAS

1. Musri N, Christie B, Ichwan SJ, Cahyanto A. Deep learning convolutional neural network algorithms for the early detection and diagnosis of dental caries on periapical radiographs: A systematic review. *Imaging Sci Dent.* 2021;51(3):237-242.
2. Bhattacharjee N. Automated Dental Cavity Detection System Using Deep Learning and Explainable AI. *AMIA Annual Symposium proceedings AMIA Symposium* [Internet]. 2022; 2022:140–8. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC9285146/>
3. Patel S, Dawood AA, Mannocci F, Wilson R, Ford TR. Detection of periapical bone defects in human jaws using cone beam computed tomography and intraoral radiography. *Int Endod J.* 2009 Jun;42(6):507
4. Moharrami M, Farmer J, Singhal S, Watson E, Glogauer M, Johnson AEW, Schwendicke F, Quinonez C. Detecting dental caries on oral photographs using artificial intelligence: A systematic review. *Oral Dis.* 2024 May;30(4):1765-1783. doi: 10.1111/odi.14659. Epub 2023 Jul 1. PMID: 37392423.
5. Roosanty A, Widyaningrum R, Diba SF. Artificial intelligence based on Convolutional Neural Network for detecting dental caries on bitewing and periapical radiographs. *Jurnal Radiol Dentomaksilofasial Indones.* 2022;6(2):89-94.
6. Li S, Liu J, Zhou Z, Zhou Z, Wu X, Li Y, Wang S, Liao W, Ying S, Zhao Z. Artificial intelligence for caries and periapical periodontitis detection. *J Dent.* 2021;104:107.
7. Ramus RL. The Academy of Dentistry International. *J Am Coll Dent.* 2011 Spring;78(1):16-8.

8. Orland FJ. Editorial views and news. *J Dent Res*. 1968 Jan;47(1):3-3
9. Çelik, T., Gülşen, B., & Gedik, A. H. (2023). Detección de caries dental en radiografías periapicales utilizando redes neuronales convolucionales: Una revisión sistemática y un metaanálisis. *Journal of Dentistry*, 133, 103703
10. Li S, Liu J, Zhou Z, Zhou Z, Wu X, Li Y, et al. Artificial intelligence for caries and periapical periodontitis detection. *Journal of Dentistry*. 2022 Mar;104:107.
11. Matloobi SM, Riahi M. Identification of cavitation in centrifugal pump by artificial immune network. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part E Journal of Process Mechanical Engineering*. 2021 Jun 30;235(6):2271–80.
12. Alireza H, Caro L. Detection of Subsurface Cavities in a Power Plant Through Artificial Neural Network from Micro-Gravi [Internet]. *Pku.edu.cn*. 2023 [cited 2024 Oct 8]. Available from: <http://ccj.pku.edu.cn/article/info?aid=294023529>
13. Bhat S, Birajdar G, Patil M. Enhanced Diagnostic Accuracy for Dental Caries and Anomalies in Panoramic Radiographs Using a Custom Deep Learning Model | Semantic Scholar [Internet]. *Semanticscholar.org*. 2024 [cited 2024 Sep 26]. Available from: <https://www.semanticscholar.org/reader/d03f37c1bd25bd6a6a083dcff88cb95f865ebdc2>
14. S. Tikhe, Naik A, Bhide S, T. Saravanan, K. Kaliyamurthie. Algorithm to Identify Enamel Caries and Interproximal Caries Using Dental Digital Radiographs [Internet]. *IEEE International Advance Computing Conference*. 2016. Available from: <https://www.semanticscholar.org/paper/Algorithm-to-Identify-Enamel-Caries-and-Caries-Tikhe-Naik/fa83ff3171d0a091f5cf4a634d045c68c8c86bfb>
15. Khan HA, Haider MA, Ansari HA, Ishaq H, Kiyani A, Sohail K, Muhammad M, Khurram SA. Automated feature detection in dental periapical radiographs by using deep learning. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*. 2021 Jun;131(6):711-720. doi: 10.1016/j.oooo.2020.08.024. Epub 2020 Aug 27. PMID: 32950425.
16. Molander B, Ahlqvist M, Gröndahl H, Hollender L. Comparison of panoramic and intraoral radiography for the diagnosis of caries and periapical pathology. *Dentomaxillofac Radiol*. 1993 Feb;22(1):28-32
17. Sanmartín-Rodríguez E, Ordoñez P, Medina-Sotomayor P, López-Ochoa S, Vasquez-Ávila C. Métodos diagnósticos de caries interproximal en niños. *Revista Estudiantil CEUS (Ciencia Estudiantil Unidad de Salud)* [Internet]. 2022 Aug 2;4(2):15–24. Available from: <https://ceus.ucacue.edu.ec/index.php/ceus/article/view/97>
18. Sonavane A, Yadav R, Khamparia A. Dental cavity Classification of using Convolutional Neural Network. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021 Jan 19;1022:012116.
19. Ünal S, Keser G, Namdar P, Yıldızbaş Z, Kurt M. Evaluation of artificial intelligence for detecting periapical lesions on panoramic radiographs. *Balkan Journal of Dental Medicine* [Internet]. 2024 [cited 2024 Sep 26];28(1):64–70. Available from: <https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/2335-0245/2024/2335-02452401064Q.pdf>
20. Lin X, Hong D, Zhang D, Huang M, Yu H. Detecting Proximal Caries on Periapical Radiographs Using Convolutional Neural Networks with Different Training Strategies on Small Datasets. *Diagnostics (Basel)*. 2022 Apr 21;12(5):1047. doi: 10.3390/diagnostics12051047. PMID: 35626203; PMCID: PMC9139265.
21. Zadrożny, Ł.; Regulski, P.; Brus-Sawczuk, K.; Czajkowska, M.; Parkanyi, L.; Ganz, S.; Mijiritsky, E. Artificial Intelligence Application in Assessment of Panoramic

- Radiographs. *Diagnostics* **2022**, *12*, 224. <https://doi.org/10.3390/diagnostics12010224>
22. Zheng L, Wang H, Mei L, Chen Q, Zhang Y, Zhang H. Artificial intelligence in digital cariology: a new tool for the diagnosis of deep caries and pulpitis using convolutional neural networks. *Ann Transl Med.* 2021 May;9(9):763. doi: 10.21037/atm-21-119. PMID: 34268376; PMCID: PMC8246233.
 23. Mao Y, Chen TY, Chou HS, Lin SY, Liu S, Chen Y, et al. Caries and Restoration Detection Using Bitewing Film Based on Transfer Learning with CNNs. 2021 Jul 5;21(13):4613–3.
 24. Chuo Y, Lin WM, Chen TY, Chan ML, Chang YS, Lin YR, Lin YJ, Shao YH, Chen CA, Chen SL, Abu PAR. A High-Accuracy Detection System: Based on Transfer Learning for Apical Lesions on Periapical Radiograph. *Bioengineering (Basel).* 2022 Dec 6;9(12):777. doi: 10.3390/bioengineering9120777. PMID: 36550983; PMCID: PMC9774168.
 25. A. Imak, A. Celebi, K. Siddique, M. Turkoglu, A. Sengur and I. Salam, "Dental Caries Detection Using Score-Based Multi-Input Deep Convolutional Neural Network," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 18320-18329, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3150358.

DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN DE LA CARRERA DE
ODONTOLOGÍA CAMPUS AZOGUES

CERTIFICA

Que, el presente trabajo de titulación denominado " **Inteligencia artificial en la detección de caries dental en radiografías periapicales**", realizado por Lizbeth Johana Cepeda Mullo, ha sido inscrito y es pertinente con las líneas de investigación de la Carrera de Odontología, de la Unidad Académica de Salud y Bienestar y de la Universidad, por lo que está expedito para su presentación.

Azogues, 28 de Octubre del 2024


Od. Esp. Cristian Danilo Urgiles Urgiles, B.D.
RESPONSABLE





Lizbeth Johana Cepeda Mullo portador de la cédula de ciudadanía N° 0650222177. En calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación " **Inteligencia artificial en la detección de caries dental en radiografías periapicales.**" de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos y no comerciales. Autorizo además a la Universidad Católica de Cuenca, para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Azogues, **12 de Noviembre de 2024**

F:

Lizbeth Johana Cepeda Mullo
C.I. **0650222177**