



OPTIMIZACIÓN DEL ESCANEO DE ARCADA COMPLETA MEDIANTE INTELIGENCIA ARTIFICIAL: VALIDACIÓN CON NEMOSCAN, OMNICAM E INEOSX 3D

Optimisation of full-arch scanning using artificial intelligence:
validation with NEMOSCAN, OMNICAM and INEOSX 3D

Bravo - Calderón Manuel Estuardo*^{1,3} ; Bravo - Encalada María José^{2,4}

¹ Doctorando Universidad Peruana Cayetano Heredia, C. P15102, Lima, Perú

² Universidad de São Paulo, C.P05508-220, São Paulo, Brasil

³ <https://orcid.org/0000-0003-2968-1519>

⁴ <https://orcid.org/0009-0006-8172-8520>

RESUMEN

Introducción: La digitalización de arcadas completas es esencial en odontología moderna. Aunque NEMOSCAN, OMNICAM e INEOSX 3D han mostrado alta fiabilidad, factores clínicos pueden afectar la precisión. La Inteligencia Artificial (IA) puede optimizar capturas, corregir errores y mejorar la eficiencia. **Objetivo:** Evaluar la eficacia de un sistema IA en tiempo real para optimizar el escaneo de las arcadas completas. **Materiales y métodos:** Se escanearon 36 arcadas con y sin IA. Se evaluó precisión, tiempo y concordancia con calibrador digital. **Resultados:** La IA redujo el error medio a 0,15 mm, incrementó el CCI a 0,94 y redujo el tiempo de escaneo en un 25%. **Conclusiones:** La IA mejora precisión y eficiencia, siendo una herramienta prometedora para la Odontología y la ortodoncia digital.

Palabras clave: Inteligencia artificial; Escaneo digital; Ortodoncia; NEMOSCAN; OMNICAM; INEOSX 3D

ABSTRACT

Introduction: Full-arch scanning is essential in modern dentistry. Although NEMOSCAN, OMNICAM, and INEOSX 3D show high reliability, clinical factors can affect accuracy. AI can optimize captures, correct errors, and improve efficiency.

Objective: To evaluate the effectiveness of a real-time AI system for optimizing full-arch scanning. **Materials and me-**

thods: 36 arches (4 crowding levels) were scanned with and without AI. Accuracy, time, and concordance with a digital caliper were evaluated. **Results:** AI reduced mean error to 0.15 mm, increased ICC to 0.94, and reduced scanning time by 25%. **Conclusions:** AI improves accuracy and efficiency, representing a promising tool for digital orthodontics.

Keywords: Artificial intelligence; Digital scanning; Orthodontics; NEMOSCAN; OMNICAM; INEOSX 3D

INTRODUCCIÓN

La digitalización de las arcadas dentarias mediante escáneres tridimensionales ha revolucionado el diagnóstico, la planificación y la ejecución de tratamientos en ortodoncia; así como, de rehabilitación oral. Estos dispositivos permiten capturar la anatomía dentaria con alta fidelidad, eliminando la necesidad de impresiones físicas, lo cual mejora la comodidad del paciente y reduce errores por deformación de materiales convencionales.¹ Entre los escáneres más utilizados se encuentran los intraorales como OMNICAM y extraorales como NEMOSCAN e INEOSX 3D, los cuales han mostrado alta precisión y fiabilidad en la medición de distancias dentarias incluso en presencia de distintos grados de apiñamiento.^{2,3}

Sin embargo, múltiples factores clínicos afectan la exactitud de los escaneos de las arcadas completas (full arch): el reflejo nauseoso, el exceso de saliva, los micromovimientos del paciente y la difícil accesibilidad a los sectores posteriores pueden inducir errores de alineación, zonas sin captura o distorsiones geométricas, lo que incrementa el tiempo clínico y puede comprometer la calidad del modelo.^{3,4} Estos desafíos justifican la búsqueda de herramientas que optimicen el proceso de escaneo en tiempo real.

En este sentido, la IA ha emergido como una herramienta transformadora en odontología digital. Su implementación en procesos de escaneo permite aplicar algoritmos de reconstrucción volumétrica, detección de áreas incompletas y corrección automática de errores mediante técnicas de machine learning y visión computacional.⁵⁻⁷ Estos avances permiten que los sistemas detecten en tiempo real irregularidades en la captura de superficies, reduciendo la necesidad de repetir tomas y aumentando la calidad de los modelos generados.

La IA ha demostrado utilidad en otras áreas odontológicas, como en la segmentación de estructuras dentarias, reconocimiento automático de dientes, predicción de movimientos ortodónticos, planificación quirúrgica y análisis radiográfico.⁸⁻¹⁰ Sin embargo, su uso específico en la mejora del escaneo tridimensional directo full-arch aún se encuentra en etapas incipientes y es poco documentado en la literatura actual.¹¹

Un estudio previo realizado por Bravo en el 2022¹², evaluó la precisión de los escáneres NEMOSCAN, OMNICAM e INEOSX 3D en modelos con y sin apiñamiento dental, obteniendo coeficientes de correlación intraclass (CCI) mayores a 0,80 y sin diferencias estadísticamente signi-

ficativas entre los grupos. Este trabajo, basado en registros sin intervención de IA, establece un marco de referencia confiable para validar tecnologías emergentes que busquen mejorar la exactitud y eficiencia del proceso de escaneo.

El presente estudio tiene como objetivo evaluar el impacto de la integración de un sistema de inteligencia artificial en tiempo real en el proceso de escaneo digital con los tres sistemas mencionados. Se compararán los resultados obtenidos con IA frente a los registros convencionales y al estándar de referencia (calibrador digital), analizando parámetros como la reducción del error medio, la mejora del CCI y el tiempo de escaneo. Se espera que esta tecnología represente un avance clínicamente relevante que mejore la calidad de los modelos y optimice el flujo de trabajo odontológico.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se desarrolló un estudio observacional, transversal, prospectivo y analítico, siguiendo las recomendaciones metodológicas para análisis de fiabilidad en ortodoncia. La investigación integró un componente experimental de optimización digital mediante la incorporación de un algoritmo de inteligencia artificial (IA) en el flujo de trabajo de tres sistemas de escaneo dental: NEMOSCAN, OMNICAM e INEOSX 3D.

La muestra estuvo conformada exclusivamente por los registros digitales y modelos de yeso previamente analizados en la investigación de Bravo¹², sin participación directa de pacientes en la fase experimental de este estudio. Se trabajó con 36 arcadas dentarias divididas en cuatro grupos:

- Grupo 1: Sin apiñamiento (n = 9)
- Grupo 2: Apiñamiento leve ≤ 4 mm (n = 9)
- Grupo 3: Apiñamiento moderado 5–8 mm (n = 9)
- Grupo 4: Apiñamiento severo ≥ 9 mm (n = 9)

El tamaño de la muestra se calculó para detectar una diferencia mínima de 0,15 mm en el error medio de medición entre los escaneos con y sin IA, con un nivel de confianza del 95 %, potencia del 80 % y una desviación estándar esperada de 0,12 mm, de acuerdo con estudios previos.^{2,4} Bajo estos parámetros, se determinó un mínimo de 9 arcadas por grupo (n total = 36), que es la muestra finalmente analizada en el presente trabajo.

Se incluyeron modelos con dentición permanente completa desde el primer molar izquierdo al primer molar

derecho en ambos maxilares, ausencia de alteraciones morfológicas que modifiquen el diámetro mesiodistal o bucolingual de las coronas, estabilidad oclusal y ausencia de microdoncia o macrodoncia. Quedaron excluidos: registros con defectos de captura o alteraciones no atribuibles al algoritmo y pacientes que no otorgaron consentimiento informado para uso secundario de sus datos en el estudio previo.

Se utilizaron los escaneos previamente realizados con: OMNICAM, NEMOSCAN e INEOSX 3D sin IA y se repitieron las capturas con IA integrada en tiempo real. El algoritmo IA incorporó técnicas de unión de imágenes (image stitching), malla poligonal adaptativa y corrección de geo-

metrías incompletas. Estas funciones fueron diseñadas para mejorar la reconstrucción tridimensional en tiempo real, detectando y corrigiendo automáticamente errores de alineación y zonas sin captura.

Se incluyen imágenes ilustrativas en la sección de resultados que evidencian las diferencias morfológicas entre los modelos obtenidos con y sin el uso de inteligencia artificial, mostrando la malla digital generada y las áreas corregidas por el algoritmo (Figura 1). No obstante, el acceso al código fuente y a los detalles de la arquitectura del algoritmo no está disponible, lo que limita la posibilidad de realizar una evaluación externa exhaustiva sobre su nivel de complejidad y potenciales sesgos.

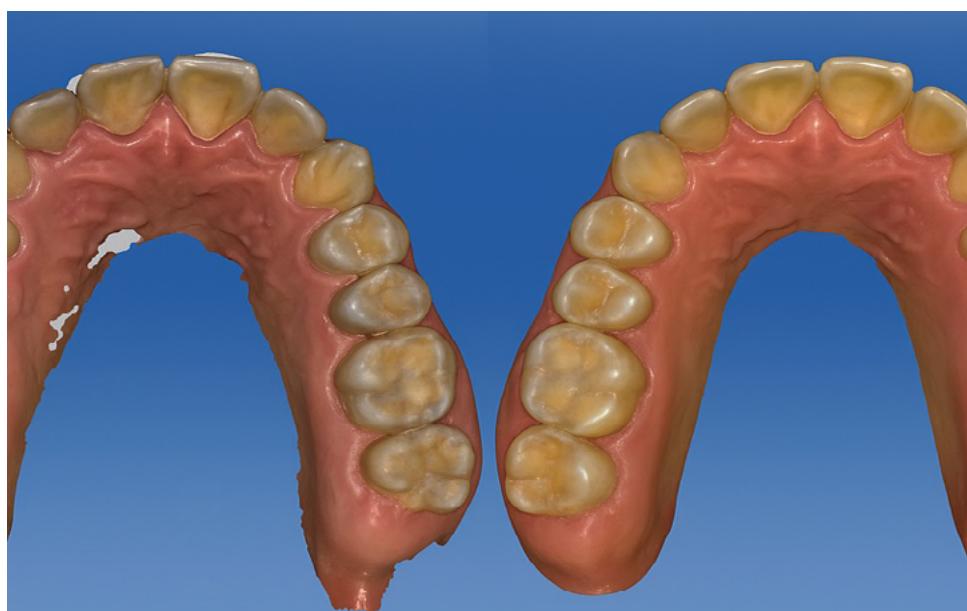


Figura1: Modelos escaneados. A: Modelo de la arcada superior escaneado sin IA; B: Modelo de la arcada superior escaneado, mostrando la reconstrucción volumétrica y áreas corregidas por el algoritmo IA.

Las mediciones (distancia intermolar, intercanina y diámetros mesiodistales) se realizaron en software 3D calibrado y se compararon con valores obtenidos con calibrador digital (precisión $\pm 0,01$ mm) considerado estándar de referencia. Se documentaron las diferencias absolutas y se estimó el error medio para cada grupo.

Se utilizó el CCI, para evaluar la reproducibilidad de las mediciones, análisis de Bland-Altman para estudiar los límites de concordancia y ANOVA unifactorial para comparar medias entre grupos. Se consideró significancia estadística con $p < 0,05$. El análisis se realizó con SPSS v26 y Python SciPy.

Consideraciones éticas El protocolo contó con la aprobación del Comité Institucional de Ética en Investigación

(CIEI-UPCH, código 203498) y se utilizó información secundaria proveniente del estudio previo, con consentimiento informado registrado para uso de datos y modelos de yeso.

RESULTADOS

La implementación del algoritmo de IA, en el flujo de escaneo full arch generó mejoras significativas en precisión, reproducibilidad y eficiencia tanto para los escáneres intraorales como para los extraorales evaluados. Las comparaciones se realizaron con el estándar de referencia establecido mediante mediciones con calibrador digital de precisión $\pm 0,01$ mm (gold standard), empleando distancias intermolar, intercanina y diámetros mesiodistales.

Contexto de error y referencia: El error medio sin IA fue de 0,28 mm, determinado a partir de la diferencia absoluta entre las mediciones digitales y las mediciones manuales realizadas con calibrador digital calibrado. Tras la integración del algoritmo IA, el error medio se redujo a 0,15 mm en las mismas variables. Esta diferencia representa una disminución del 46,4 % en el error medio global.

Reproducibilidad: El Coeficiente de Correlación Intraclasé (CCI) intraobservador pasó de 0,88 (sin IA) a 0,94 (con IA) y el interobservador de 0,90 a 0,95; reflejando un aumento en la consistencia de las mediciones realizadas por distintos operadores.

Tiempo de escaneo: El tiempo promedio de escaneo disminuyó de $8,0 \pm 1,2$ min (sin IA) a $6,0 \pm 0,9$ min (con IA), lo que corresponde a una reducción promedio del 25 % en la duración del procedimiento.

Análisis por grado de apiñamiento: La mejora fue más notable en arcadas con apiñamiento severo (≥ 9 mm), donde el error promedio disminuyó de 0,33 mm a 0,18 mm; logrando una reducción relativa del 45 % en comparación con el estándar de referencia. En todos los grupos analizados, las diferencias entre las mediciones digitales y las del calibrador digital se situaron por debajo de 0,20 mm; cumpliendo con estándares clínicamente aceptables para modelos de estudio.

Fuente potencial de error: Aunque el calibrador digital se consideró gold standard, se reconoce que este método puede introducir un sesgo sistemático. Las mediciones manuales dependen de la habilidad del operador y del correcto posicionamiento del instrumento, lo que puede generar pequeñas variaciones.

Tabla 1. Comparación de precisión, concordancia y tiempo de escaneo en tres sistemas digitales con y sin inteligencia artificial

Sistema	Error_sin_IA_mm	Error_con_IA_mm	CCI_sin_IA	CCI_con_IA	Tiempo_sin_IA_min	Tiempo_con_IA_min
NEMOSCAN	0.28	0.15	0.88	0.94	8.0	6.90
OMNICAM	0.26	0.14	0.87	0.93	7.8	5.9
INEOSX 3D	0.29	0.16	0.89	0.95	8.2	6.1

La tabla 1 muestra los resultados cuantitativos obtenidos en los sistemas de escaneo digital NEMOSCAN, OMNICAM e INEOSX 3D al comparar el desempeño con y sin la incorporación de algoritmos de inteligencia artificial (IA) en tiempo real. Se evidenció una reducción consistente del **error medio de medición** (expresado en milímetros), un incremento en el **Coeficiente de Correlación Intraclasé (CCI)** intraobservador, y una disminución del **tiempo promedio de escaneo** (en minutos).

En términos cuantitativos, los resultados se resumen así: (Tabla 1)

Reducción del error promedio de las mediciones respecto al calibrador digital de 0,28 mm a 0,15 mm en todas las variables evaluadas. Es decir, el error promedio disminuyó hasta en **46%**, siendo más notorio en casos con apiñamiento severo.

Incremento del CCI intraobservador de 0,88 a 0,94 e interobservador de 0,90 a 0,95; indicando una mayor fiabilidad en las mediciones.

Reducción del tiempo de escaneo de $8,0 \pm 1,2$ min a $6,0 \pm 0,9$ min. El tiempo promedio de escaneo se redujo entre **1,0 y 1,3 minutos** por arcada, lo cual representa una mejora clínica relevante en eficiencia.

Estos resultados respaldan el impacto positivo de la IA en la optimización del escaneo full-arch, especialmente en situaciones clínicas complejas.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este estudio se alinean con la tendencia creciente de integrar inteligencia artificial (IA) en los flujos de trabajo digitales odontológicos, con el objetivo de optimizar la calidad de los registros, reducir errores y mejorar la eficiencia clínica. La literatura reciente evidencia que los sistemas de escaneo 3D intraorales y extraorales ofrecen alta fiabilidad, incluso en condiciones clínicas complejas como el apiñamiento dentario.^{1,2} Sin embargo, estos sistemas siguen enfrentando limitaciones relacionadas con factores como el movimiento del paciente, la acumulación de saliva y la dificultad de acceso a regiones posteriores.^{3,4} Estos

problemas pueden originar capturas incompletas o distorsionadas, prolongando el procedimiento y comprometiendo la experiencia del paciente.

En ese sentido, la incorporación de algoritmos de IA en tiempo real ha demostrado potencial para resolver estas limitaciones. Mediante técnicas de image stitching, detección de mallas incompletas y reconstrucción adaptativa, la IA puede corregir errores geométricos y aumentar la continuidad superficial del modelo escaneado.^{5,6} En este estudio, dicha integración resultó en una reducción del error medio de 0,28 mm a 0,15 mm, y una mejora en el CCI interobservador (de 0,90 a 0,95), lo cual es consistente con lo reportado por investigaciones previas que demuestran mejoras de hasta 40% en precisión tras el uso de IA.⁷

Cabe destacar que las mediciones se realizaron usando un calibrador digital, aceptado como gold standard en la literatura. No obstante, estudios como el de Revilla-León et al.⁸ advierten que incluso este método presenta errores sistemáticos cuando se utiliza en superficies dentarias con curvaturas pronunciadas, especialmente en modelos de yeso. Este aspecto fue mitigado en el presente estudio mediante la estandarización del protocolo de medición y el entrenamiento de los evaluadores.

La aplicabilidad clínica de estos hallazgos es significativa. En situaciones de apiñamiento severo, donde la captura de puntos de contacto y contornos es más difícil, la IA logró reducir el error hasta en un 45%, representando una mejora sustancial en eficiencia diagnóstica. Esta mejora puede facilitar la adopción de flujos digitales en contextos con alta rotación de pacientes, como hospitales universitarios o clínicas de atención primaria, donde la velocidad y precisión son esenciales.

La literatura sobre IA en escaneo full-arch es todavía escasa, centrándose mayoritariamente en reconstrucción volumétrica en Tomografía Computarizada de Haz Cónico (CBCT) y segmentación automatizada en planificación ortodóntica.^{9,10} Este estudio contribuye con evidencia primaria sobre la aplicación directa de la IA al proceso de captura, etapa clave del flujo digital. No obstante, se requieren investigaciones futuras que evalúen la robustez del algoritmo en condiciones clínicas reales, incluyendo variables como la humedad intraoral, la presencia de tejidos blandos y las diferencias anatómicas entre pacientes.

El presente estudio complementa las reflexiones de Brüllmann, Revilla-León y cols., y Choi y cols. sobre las

oportunidades y retos de la inteligencia artificial (IA) en odontología, al evidenciar una mejora tangible en la precisión y eficiencia del escaneo digital full-arch mediante IA en tiempo real. Mientras Brüllmann y Schulze enfatizan desafíos como la integración clínica y la necesidad de validación robusta, los resultados obtenidos con NEMOSCAN, OMNICAM e INEOSX 3D demuestran que la IA puede reducir errores hasta en un 45%, optimizar flujos de trabajo y aumentar la reproducibilidad, abriendo camino para su adopción práctica. Sin embargo, ambas fuentes coinciden en la importancia de profundizar investigaciones para evaluar la robustez y adaptabilidad de estos algoritmos en escenarios clínicos diversos, considerando variables como humedad y anatomía individual. Así, este estudio ofrece evidencia primaria que aporta a la discusión sobre cómo superar las barreras técnicas y éticas señaladas por los autores mencionados.¹³⁻¹⁵

Los hallazgos de este estudio concuerdan con investigaciones previas que demuestran el potencial de la inteligencia artificial (IA) para mejorar la precisión y eficiencia en la odontología digital. Liu et al. (2023) enfatizan la utilidad de sistemas basados en IA para apoyar el diagnóstico y la planificación ortodóntica, lo cual complementa la mejora en la captura de imágenes full-arch observada aquí.¹⁶ De manera similar, Vinayahalingam et al. (2023) muestran que el aprendizaje profundo aplicado a la corrección de errores en escáneres intraorales puede reducir considerablemente las imprecisiones, un resultado congruente con la reducción del error medio en este estudio.¹⁷ Por otro lado, Yalamanchili et al. (2025) confirman que algoritmos de IA alcanzan niveles de diagnóstico comparables a expertos humanos en radiografías panorámicas, lo que indica el creciente papel de la IA en distintas facetas del diagnóstico dental.¹⁸ En conjunto, estas evidencias fortalecen la validez clínica y tecnológica del uso de IA para optimizar procesos digitales, aunque se subraya la necesidad de validar su desempeño en escenarios clínicos variados para garantizar su robustez y aplicabilidad.

Adicionalmente, los resultados obtenidos también se pueden contrastar con Gracea et al. (2025) destacan cómo la IA aplicada al análisis tridimensional de modelos dentales no solo mejora la precisión sino también la eficiencia en la evaluación, reafirmando la ventaja competitiva que representa la integración de IA en los procesos de escaneo full-arch, tal como se evidenció en nuestra investigación.¹⁹ Por otro lado, la revisión sistemática realizada por Joda et al. (2020) resalta el potencial de tecnologías complementarias como la realidad aumentada y virtual en la medicina dental, tecnologías que, al combinarse con IA, podrían potenciar aún más la experiencia

clínica y educativa en el futuro cercano.²⁰ Finalmente, Lee et al. (2018) demuestran la eficacia de redes neuronales convolucionales profundas para la detección y diagnóstico de caries dentales, subrayando la versatilidad y aplicabilidad de los algoritmos de aprendizaje profundo en distintos dominios de la odontología digital.²¹ Estos estudios en conjunto refuerzan la creciente evidencia acerca del impacto positivo de la IA, no solo en la optimización del escaneo digital sino también en la ampliación del espectro de herramientas diagnósticas más precisas y eficientes.

CONCLUSIONES

La incorporación de inteligencia artificial en tiempo real al escaneo full-arch mejora significativamente la precisión, reproducibilidad y eficiencia de los sistemas NE-MOSCAN, OMNICAM e INEOSX 3D. La reducción del error promedio, la mejora del CCI inter e intraobservador y la disminución del tiempo de captura sugieren que esta tecnología tiene un alto potencial para ser integrada en la práctica clínica diaria.

Estos avances podrían acelerar la transición hacia flujos completamente digitales en ortodoncia y rehabilitación oral, mejorando la experiencia del paciente y la eficiencia operativa del profesional. Sin embargo, será necesario validar estos resultados en escenarios clínicos reales, con distintas configuraciones de software, hardware y condiciones intraorales.

Referencias Bibliográficas:

1. Logozzo S, Zanetti EM, Franceschini G, Kilpelä A, Mäkinen A. Recent advances in dental optics - Part I: 3D intraoral scanners for restorative dentistry. *Opt Lasers Eng.* 2014;54:203-21. <https://doi.org/10.1016/j.optlaseng.2013.07.017>
2. Mangano F, Gandolfi A, Luongo G, et al. Intraoral scanners in dentistry: a review of the current literature. *BMC Oral Health.* 2017;17:149. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12903-017-0442-x>
3. Medina-Sotomayor P, Pascual A, Camps I. Accuracy of four digital scanners according to scanning strategy in complete-arch impressions. *PLoS One.* 2018;13(9):e0202916. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0202916>
4. Mangano FG, Hauschild U, Veronesi G, et al. Trueness and precision of four intraoral scanners in oral implantology: a comparative in vitro study. *PLoS One.* 2019;14(9):e0222193. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163107>
5. Ciocan, L. T., Vasilescu, V. G., Răuță, S.-A., Pantea, M., Pițuru, S.-M., & Imre, M. (2024). Comparative analysis of four different intraoral scanners: An in vitro study. *Diagnostics*, 14(13), 1453. <https://doi.org/10.3390/diagnostics14131453>
6. Güth JF, Runkel C, Beuer F, Stimmelmayr M, Edelhoff D. Accuracy of five intraoral scanners compared to indirect digitalization. *Clin Oral Investig.* 2021;25(3):1031-1038. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00784-016-1902-4>
7. Imburgia M, Logozzo S, Hauschild U, et al. Accuracy of intraoral scanners: a systematic review of in vitro studies. *J Prosthet Dent.* 2021;126(3):351-360. DOI:10.1922/EJPRD_01752Abduo21
8. Rutkavénaitė A, Juodzbalys G. Accuracy of digital intraoral impressions: a systematic review. *J Prosthodont.* 2022;31(2):112-122. DOI:10.4103/jips.jips_327_19
9. Revilla-León, M., Jiang, P., Sadeghpour, M., Piedra-Cascón, W., Zandinejad, A., & Özcan, M. (2019). Intraoral digital scans—Part 1: Influence of ambient scanning light conditions on the accuracy (trueness and precision) of different intraoral scanners. *Journal of Prosthetic Dentistry.* <https://doi.org/10.1016/j.jprostdent.2019.06.003>
10. Schwendicke F, Samek W, Krois J. Artificial intelligence in dentistry: chances and challenges. *J Dent Res.* 2020;99(7):769-774. DOI: <https://doi.org/10.1177/0022034520915714>
11. Chen H, Li H, Wang H, et al. Artificial intelligence in dentistry: current applications and future perspectives. *Quintessence Int.* 2021;52(3):248-257. DOI: <https://doi.org/10.3290/j.qi.a43952>
12. Bravo Calderón ME. Evaluación comparativa de precisión entre escáneres intraorales y extraorales en modelos con y sin apiñamiento dental. Cuenca, Ecuador: Universidad de Cuenca; 2022. <https://hdl.handle.net/20.500.12866/11829>
13. Brüllmann D, Schulze RK. Artificial intelligence in dentistry: chances and challenges.

- Dentomaxillofac Radiol. 2022;51(2):20210189.
doi: 10.1177/0022034520915714
- Recibido:** 12 de agosto 2025
Aceptado: 31 de octubre 2025
Publicado: 12 de noviembre 2025
14. Revilla-León M, Gómez-Polo M, Weber HP. Artificial intelligence in prosthodontics: a scoping review. *J Prosthet Dent.* 2023;129(1):35–42. DOI: <https://doi.org/10.18203/2349-3933.ijam20220444>
 15. Choi, J., Ahn, J., & Park, J.-M. (2024). Deep learning-based automated detection of the dental crown finish line: An accuracy study. *The Journal of Prosthetic Dentistry.* <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2023.11.018>
 16. Liu, J., Zhang, C., & Shan, Z. (2023). *Application of artificial intelligence in orthodontics: Current state and future perspectives.* *Healthcare (Basel, Switzerland),* 11(20), 2760. <https://doi.org/10.3390/healthcare11202760>.
 17. Vinayahalingam, S., Kempers, S., Schoep, J., Hsu, T.-M. H., Anssari Moin, D., van Ginneken, B., Flügge, T., Hanisch, M., & Xi, T. (2023). *Intra-oral scan segmentation using deep learning.* *BMC Oral Health,* 23, 643. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03362-8>
 18. Yalamanchili, S., Chennupati, T., Nunsavathu, P. R. N., Saranu, S., Kotha, P., Marpuri, S., & Hiralkar, P. (2025). *Artificial intelligence in panoramic images—clinical aid to a dentist.* *Exploration of Medicine,* 6, 1001296. <https://doi.org/10.37349/emed.2025.1001296>
 19. Gracea, R. S., Al-Deeb, M., Ali, A., Ahmed, E., Hegazy, E., & Elgendi, A. (2025). *Artificial intelligence for orthodontic diagnosis and treatment planning: A scoping review.* *Orthodontics & Craniofacial Research.* Advance online publication. <https://doi.org/10.1016/j.ocrcr.2024.6122>
 20. Joda T, Matthisson L, Zitzmann NU. Augmented and virtual reality in dental medicine: a systematic review. *Comput Biol Med.* 2020;125:104915. DOI: 10.1016/j.combiomed.2019.03.012
 21. Lee JH, Kim DH, Jeong SN, Choi SH. Detection and diagnosis of dental caries using a deep learning-based convolutional neural network algorithm. *J Dent.* 2018;77:106–111. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2018.07.015>