



Depósito Legal: ppi201302ME4323
ISSN: 2343-595X

La Revista Venezolana de Investigación Odontológica de la IADR



EDITORIAL

Viabilidad de los chatbots de inteligencia artificial generativa como herramientas diagnósticas en odontología

Feasibility of generative artificial intelligence chatbots as diagnostic tools in dentistry

Dr. Oscar Alberto Morales

Profesor de Investigación y Escritura Académica, Posgrado en Rehabilitación Bucal,
Facultad de Odontología, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

geode.ula@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-0879-6555>

La integración de la inteligencia artificial en la práctica clínica de la odontología no es una práctica reciente (1). Desde hace más de una década, diversos software impulsados por la inteligencia artificial se han usado en el análisis imagenológico aplicado al diagnóstico y la planificación terapéutica (2,3). Sin embargo, la irrupción reciente de la inteligencia artificial generativa (IAG) y los modelos de lenguaje a gran escala han diversificado tales aplicaciones. Se han desarrollado numerosos chatbots comerciales, tales como ChatGPT, Gemini, Copilot, Perplexity, o modelos de lenguaje basados en GPT-4, los cuales están experimentando un crecimiento exponencial en el sector salud con el fin de optimizar el análisis de datos y facilitar la toma de decisiones clínicas. Estos tienen usos potenciales, tales como la asistencia diagnóstica, la estructuración de registros clínicos y la provisión de recomendaciones fundamentadas en guías de consenso. Estas herramientas resultan cruciales ante la creciente complejidad de los procedimientos odontológicos (4,5).

Esta transición plantea una serie de interrogantes que deberán responderse antes de incluir los chatbots de IAG en la práctica clínica odontológica: ¿Es posible delegar, aun de forma

Cómo citar: Morales O. Editorial. Viabilidad de los chatbots de inteligencia artificial generativa como herramientas diagnósticas en odontología. Rev Venez Invest Odont IADR. 2026;14(2): 1-8.

asistida, el juicio diagnóstico del clínico a sistemas que priorizan las probabilidades sobre la validación clínica rigurosa (6)? ¿Para cuáles procedimientos clínicos podrían estos sistemas ofrecer un soporte fiable sin comprometer la seguridad del paciente ante la opacidad intrínseca de sus procesos de inferencia (7)? ¿Existe suficiente evidencia sobre la precisión diagnóstica de estas plataformas en la interpretación de patologías orales complejas para justificar su implementación en el flujo de trabajo rutinario o hay todavía altos niveles de riesgo de sesgo clínico (8)? ¿Qué aspectos clínicos y tecnológicos habría que tomar en cuenta antes de validar su integración en la práctica diaria (9,10)?

Este debate es, por tanto, inaplazable, dado que la eficacia práctica y la precisión diagnóstica de estas herramientas aún carecen de la validación empírica necesaria para respaldar su aplicación autónoma en la clínica o la docencia (11). Resulta imperativo establecer protocolos de validación estandarizados y marcos regulatorios que mitiguen la variabilidad inherente a estas arquitecturas para garantizar la seguridad del paciente antes de cualquier adopción masiva (12,13).

hasta el momento, no se dispone de evidencia científica suficiente para sustentar una transición desde el soporte experimental hacia la integración diagnóstica rutinaria, sigue habiendo un alto riesgo de diagnósticos erróneos y tratamientos innecesarios (14). La evidencia disponible sugiere que los estudios de precisión diagnóstica son insuficientes y de baja calidad (15). Los hallazgos de los escasos estudios revelan controversias. Se ha observado que fenómenos como las "alucinaciones" de la IAG, la baja precisión y la baja concordancia representan obstáculos críticos para su implementación segura (16). Además, la opacidad algorítmica y la ausencia de una comprensión de la patofisiología en el ámbito odontológico y la complejidad de la disciplina limita, hasta el momento, su utilidad en escenarios donde se requiere un juicio clínico crítico integral (17,18).

Adicionalmente, el creciente número de chatbots de IAG disponibles ha fomentado una adopción prematura que a menudo ignora la falta de transparencia en sus metodologías de entrenamiento y los riesgos inherentes de sesgo en los conjuntos de datos. Estos elementos pueden comprometer seriamente la equidad en la atención al paciente (19,20). Por consiguiente, la evaluación de estos sistemas debe trascender el mero desempeño técnico y garantizar que el juicio clínico humano permanezca como el eje central frente a las limitaciones de generalización y la dependencia de los datos de entrenamiento (21).

En este sentido, la comunidad odontológica debería enfocarse en abordar el uso de las tecnologías digitales basadas en la inteligencia artificial como un recurso complementario y no como un sustituto del criterio del clínico (22). A medida que estas tecnologías se integran en los flujos de trabajo, es necesario que los especialistas evalúen críticamente si la opacidad algorítmica y los sesgos en los datos de entrenamiento pueden comprometer la seguridad del paciente y la integridad diagnóstica (23,24). En este sentido, la responsabilidad final ante

cualquier error de diagnóstico o planificación debe recaer ineludiblemente en el clínico, quien debe ejercer una supervisión activa para mitigar el riesgo de sesgo de automatización o anclaje diagnóstico (25). Por tanto, resulta indispensable fomentar una alfabetización digital avanzada que capacite al odontólogo para discernir cuándo la asistencia algorítmica debe ser cuestionada en lugar de aceptada acríticamente (26).

Este escenario exige que los chatbots sean usados como herramientas complementarias que aprovechen la experiencia humana en lugar de intentar suplantarla; se requiere identificar y analizar sus limitaciones actuales en áreas críticas como el análisis y la interpretación de datos imagenológicos contextos clínicos complejos (27,28).

Para superar estas potenciales limitaciones, la colaboración estrecha entre desarrolladores y clínicos resulta, por tanto, una condición indispensable. Con base en los acuerdos, se podrá diseñar aplicaciones que integren con éxito las realidades clínicas y superen el vacío existente entre el desempeño técnico y su aplicabilidad en el entorno real (29). Asimismo, es fundamental que la comunidad clínica exija una mayor transparencia en los procesos de desarrollo de estos programas; estos deben incluir marcos regulatorios que ofrezcan explicaciones claras y sencillas de cómo y por qué toma una decisión, de modo que se superen los sesgos inherentes a los datos de entrenamiento (30,31).

Además, se requiere más investigación clínica de la calidad de la información generada, enfocada en la robustez diagnóstica y en la validación clínica interdisciplinaria frente a la diversidad de perfiles de pacientes (32). En tal sentido, es necesario implementar marcos éticos que regulen la privacidad de los datos, dado que las historias clínicas odontológicas tienen una naturaleza altamente sensible que requiere estándares estrictos de seguridad para mantener la privacidad (33,34). En última instancia, el desarrollo de directrices regulatorias claras es fundamental para garantizar que el uso de estas tecnologías no comprometa la autonomía, la privacidad de los datos del paciente ni la responsabilidad legal del odontólogo (35,36).

Por último y no menos importante, es necesario que las universidades y los centros de formación incorporen la alfabetización en IAG dentro de sus currículos, para capacitar a los futuros profesionales para evaluar críticamente estas herramientas y sus resultados, reconocer los desafíos éticos que supone una práctica odontológica cada vez más digitalizada (37). Esta formación integral debe priorizar el conocimiento de los algoritmos básicos y sus limitaciones y asegurar que los odontólogos mantengan una supervisión ética frente a la automatización (38,39).

En conclusión, la viabilidad del uso de los chatbots de IAG en odontología depende de la capacidad del clínico para reconocer que las tecnologías digitales deben subordinarse al criterio clínico y estar siempre supeditadas a marcos regulatorios estrictos y al

consentimiento informado del paciente (40,41). La verdadera madurez tecnológica en la profesión odontológica se medirá por la destreza del clínico para integrar estas herramientas sin comprometer el pensamiento crítico ni la responsabilidad ética en la atención al paciente más que por la velocidad de su adopción en la práctica clínica (42,43). La integración armoniosa y exitosa de la inteligencia artificial generativa en la práctica clínica odontológica reclama una colaboración interdisciplinaria constante entre clínicos, ingenieros y especialistas en ética para desarrollar estándares de evaluación que aseguren la seguridad del paciente y la eficacia terapéutica en entornos reales (44). Solo mediante un enfoque integral, que asegure que la IAG sea una herramienta para la práctica responsable, y una validación rigurosa se podrá transformar los potenciales beneficios en mejoras clínicas tangibles (45,46). Sin embargo, como lo sugiere la evidencia científica disponible hasta el momento, se requiere más investigación clínica para validar el uso responsable, ético y efectivo de los chatbots de IAG en la práctica odontológica.

Referencias

1. Villena F, Véliz C, García-Huidobro R, Aguayo S. Generative artificial intelligence in dentistry: A narrative review of current approaches and future challenges. *Dentistry Review*. 2025; 5(4): 100160-100160. <https://doi.org/10.1016/j.dentre.2025.100160>
2. Castillo-Pedraza MC, Salazar KO, Wilches-Visbal JH. Impacto de la inteligencia artificial en la odontología: una reflexión. *Ustasalud*. 2023; 23(1).<https://doi.org/10.15332/us.v23i1.3142>
3. Thurzo A, Strunga M, Urban R, Surovková J, Afrashtehfar KI. Impact of Artificial Intelligence on Dental Education: A Review and Guide for Curriculum Update. *Education Sciences*. 2023; 13(2): 150-150. <https://doi.org/10.3390/educsci13020150>
4. Samaranayake LP, Tuygunov N, Schwendicke F, Osathanon T, Khurshid Z, Boymuradov S, et al. The Transformative Role of Artificial Intelligence in Dentistry: A Comprehensive Overview. Part 1: Fundamentals of AI, and its Contemporary Applications in Dentistry. *International Dental Journal*. 2025; 75(2): 383-396. <https://doi.org/10.1016/j.identj.2025.02.005>
5. Eyzaguirre JCL, Torrez WB. La inteligencia artificial generativa en la educación odontológica: Una revisión narrativa de aplicaciones y desafíos. *Revista de la Asociación Odontológica Argentina*. 2025: 1-15.
6. Giannakopoulos K, Kavadella A, Salim AA, Stamatopoulos V, Kaklamanos EG. Evaluation of the Performance of Generative AI Large Language Models ChatGPT, Google Bard, and Microsoft Bing Chat in Supporting Evidence-Based Dentistry: Comparative Mixed

Methods Study. Journal of Medical Internet Research. 2023; 25.<https://doi.org/10.2196/51580>

7. Casadoumecq AC. ¿Quién programa nuestra ética? Odontología Activa Revista Científica. 2025; 10(2). <https://doi.org/10.31984/oactiva.v10i2.1178>

8. Abou-Bakr A, Hassanein FEA. Comment on "Diagnostic Performance of Multimodal Large Language Models in the Analysis of Oral Pathology". Oral Diseases. 2026. <https://doi.org/10.1111/odi.70216>

9. Pawar VV, Vanjare C. AI-powered chatbots reshaping dentistry: Opportunities, challenges, and future directions. Oral Oncology Reports. 2024; 9: 100156-100156.<https://doi.org/10.1016/j.oor.2024.100156>

10. Milner M. Inteligencia artificial en odontología. Revista Científica de Iniciación a la Investigación (Universidad Autónoma de Asunción). 2024.

11. Dhane AS. The transformative potential of ChatGPT in dentistry-Advantages, limitations, ethical concerns and way forward. Oral Surgery. 2023; 17(1): 96-97. <https://doi.org/10.1111/ors.12845>

12. Fernandes GVO, Fernandes JCH. Editorial: Revolutionizing dentistry: the impact of AI and new algorithms on diagnostics, treatment, and patient engagement. Frontiers in Dental Medicine. 2026; 7: 1834761-1834761. <https://doi.org/10.3389/fdmed.2026.1834761>

13. Aditya A. Generative Artificial Intelligence in Oral Medicine and Radiology: Hype or Hope? Journal of Indian Academy of Oral Medicine and Radiology. 2025; 37(4): 544-545. https://doi.org/10.4103/jiaomr.jiaomr_389_25

14. Uribe S. Futuro de la inteligencia artificial en Odontología. Odontología Sanmarquina. 2021; 24(3): 305-307. <https://doi.org/10.15381/os.v24i3.20726>

15. Sario GD, Rossella V, Famulari ES, Maurizio A, Lazarević D, Giannese F, et al. Enhancing clinical potential of liquid biopsy through a multi-omic approach: A systematic review. Frontiers in Genetics. 2023; 14: 1152470-1152470. <https://doi.org/10.3389/fgene.2023.1152470>

16. Nia MF, Ahmadi M, Irankhah E. Transforming Dental Diagnostics with Artificial Intelligence: Advanced Integration of ChatGPT and Large Language Models for Patient Care. arXiv (Cornell University). 2024.

Cómo citar: Morales O. Editorial. Viabilidad de los chatbots de inteligencia artificial generativa como herramientas diagnósticas en odontología. Rev Venez Invest Odont IADR. 2026;14(2): 1-8.

17. Huang H, Zheng O, Wang D, Yin J, Wang Z, Ding S, et al. ChatGPT for shaping the future of dentistry: the potential of multi-modal large language model. *International Journal of Oral Science*. 2023; 15(1): 29-29. <https://doi.org/10.1038/s41368-023-00239-y>
18. Pradhan P. Accuracy of ChatGPT 3.5, 4.0, 4o and Gemini in diagnosing oral potentially malignant lesions based on clinical case reports and image recognition. *Medicina oral, patología oral y cirugía bucal*. 2024; 30(2). <https://doi.org/10.4317/medoral.26824>
19. Abdul NS, Shivakumar GC, Sangappa SB, Blasio MD, Crimi S, Cicciù M, et al. Applications of artificial intelligence in the field of oral and maxillofacial pathology: a systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health*. 2024; 24(1): 122-122. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03533-7>
20. Silva TP, Andrade-Bortoletto MFS, Ocampo TSC, Alencar-Palha C, Bornstein MM, Oliveira-Santos C, et al. Performance of a commercially available Generative Pre-trained Transformer (GPT) in describing radiolucent lesions in panoramic radiographs and establishing differential diagnoses. *Clinical Oral Investigations*. 2024; 28(3): 204-204. <https://doi.org/10.1007/s00784-024-05587-5>
21. Hassanein FEA, Ahmed Y, Maher SC, Barbary AE, Abou-Bakr A. Prompt-dependent performance of multimodal AI model in oral diagnosis: a comprehensive analysis of accuracy, narrative quality, calibration, and latency versus human experts. *Scientific Reports*. 2025; 15(1): 37932-37932. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-22979-z>
22. Valdiviezo MNS, Garzón VIM, Gallegos CGM, Torres JJV. Uso de la inteligencia artificial en el diagnóstico temprano de lesiones orales potencialmente malignas. *RECIAMUC*. 2025; 9(4): 400-409. [https://doi.org/10.26820/reciamuc/9.\(4\).diciembre.2025.400-409](https://doi.org/10.26820/reciamuc/9.(4).diciembre.2025.400-409)
23. Pauwels R, Guerrero ME. Preparándonos para el impacto de la inteligencia artificial. *Odontología Sanmarquina*. 2021; 24(3): 201-203. <https://doi.org/10.15381/os.v24i3.20699>
24. Martínez PAP, Vaca DGC, Flores DJB, Soto ACO, Chinizaca PNP. Inteligencia Artificial Generativa y su aplicación en odontología: una revisión sistemática de la literatura. *Esprint Investigación*. 2026; 5(1): 582-595. <https://doi.org/10.61347/ei.v5i1.269>
25. Karvekar S, Anand V, Singh D, Chaudhary VK, Fatima S, Mathar MI. Digital Dentistry and Artificial Intelligence: A Systematic Review on Innovations in Diagnosis, Treatment Planning, and Prosthodontics. *Cureus*. 2026; 18(2). <https://doi.org/10.7759/cureus.104422>
26. Farooqi OA. Who Is Really Deciding? AI and Clinical Judgement in Dentistry. *International Dental Journal*. 2026; 76(3): 109476-109476. <https://doi.org/10.1016/j.identj.2026.109476>

27. Alshammari AF, Madfa AA, Anazi BA, Alenezi YE, Alkurdi KA. Comparison of accuracy and consistency of AI Language models when answering standardised dental MCQs. *BMC Medical Education*. 2025; 25(1): 1507-1507. <https://doi.org/10.1186/s12909-025-07624-7>
28. Kim P, Seo B, Silva HD. Concordance of clinician, Chat-GPT4, and ORAD diagnoses against histopathology in Odontogenic Keratocysts and tumours: a 15-Year New Zealand retrospective study. *Oral and Maxillofacial Surgery*. 2024; 28(4): 1557-1569. <https://doi.org/10.1007/s10006-024-01284-5>
29. Lal A, Nooruddin A, Umer F. Concerns regarding deployment of AI-based applications in dentistry - a review. *BDJ Open*. 2025; 11(1): 27-27. <https://doi.org/10.1038/s41405-025-00319-7>
30. Tuygunov N, Samaranayake LP, Khurshid Z, Rewthamrongsris P, Schwendicke F, Osathanon T, et al. The Transformative Role of Artificial Intelligence in Dentistry: A Comprehensive Overview Part 2: The Promise and Perils, and the International Dental Federation Communique. *International Dental Journal*. 2025; 75(2): 397-404. <https://doi.org/10.1016/j.identj.2025.02.006>
31. Calderón MEB, Pesántez DAA, Viñanzaca EPP, Quezada JDP, Arpi TBP. Inteligencia artificial en Odontología: Impacto y perspectivas en la gestión de clínicas dentales, una revisión de la literatura. *Research Society and Development*. 2024; 13(7). <https://doi.org/10.33448/rsd-v13i7.46434>
32. Arslan C, Kahya K, Cesur E, Çakan DG. An evaluation of orthodontic information quality regarding artificial intelligence (AI) chatbot technologies: A comparison of ChatGPT and google BARD. *Australasian Orthodontic Journal*. 2023; 40(1): 149-157. <https://doi.org/10.2478/aoj-2024-0012>
33. Westgarth D. 'AI is absolutely a friend when used responsibly'. *BDJ In Practice*. 2025; 38(9): 290-291. <https://doi.org/10.1038/s41404-025-3257-5>
34. Naeem MM, Sarwar H, Hassan MT, Balouch NM, Singh S, Essrani PD, et al. Exploring the ethical and privacy implications of artificial intelligence in dentistry. *International Journal of Health Sciences*. 2023; 7: 904-915. <https://doi.org/10.53730/ijhs.v7nS1.14294>
35. O. DR, Rajan SD. Ethical Considerations of AI in Implant Dentistry: A Clinical Perspective. *Journal of Clinical Review & Case Reports*. 2025; 10(2): 1-5.
36. Schwendicke F, Samek W, Krois J. Artificial Intelligence in Dentistry: Chances and Challenges. *Journal of Dental Research*. 2020; 99(7): 769-774. <https://doi.org/10.1177/0022034520915714>

37. Zhu J, Chen Z, Zhao J, Yu Y, Li X, Shi K, et al. Artificial intelligence in the diagnosis of dental diseases on panoramic radiographs: a preliminary study. *BMC Oral Health*. 2023; 23(1): 358-358. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-03027-6>
38. Kim CS, Samaniego C, Melo SLS, Brachvogel WA, Baskaran K, Rulli D. Artificial intelligence (A.I.) in dental curricula: Ethics and responsible integration. *Journal of Dental Education*. 2023; 87(11): 1570-1573. <https://doi.org/10.1002/jdd.13337>
39. Dantas JN, Silva MADd. Decoding AI Curricular Integration: Navigating Course Quality in Brazilian Dental Master's Programs. *Research Square*. 2023. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3395718/v1>
40. Roganović J, Radenković M. Ethical use of ai in dentistry. En *IntechOpen eBooks*.: IntechOpen; 2023. <https://doi.org/10.5772/intechopen.1001828>
41. Fardim KAC, Gonçalves SEDP, Tribst JPM. Scientific writing with artificial intelligence: key considerations and alerts. *Brazilian Dental Science*. 2022; 26(3). <https://doi.org/10.4322/bds.2023.e3988>
42. Villena F, Véliz C, García-Huidobro R, Aguayo S. Generative artificial intelligence in dentistry: Current approaches and future challenges. *arXiv (Cornell University)*. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.dentre.2025.100160>
43. Delgado-Ruiz R, Kim AS, Zhang H, Sullivan D, Awan KH, Stathopoulou PG. Generative Artificial Intelligence (Gen AI) in dental education: Opportunities, cautions, and recommendations. *Journal of Dental Education*. 2024; 89(1): 130-136. <https://doi.org/10.1002/jdd.13688>
44. Panahi O. The Expanding Role of Artificial Intelligence in Modern Dentistry. *Modern Research in Dentistry*. 2025; 8(3). <https://doi.org/10.31031/MRD.2025.08.000687>
45. Allareddy V. Fairness and Explainability of Artificial Intelligence Based Healthcare Applications. *Journal of Dental Education*. 2026; 90(2): 157-158. <https://doi.org/10.1002/jdd.70155>
46. Tobar-Peñaherrera AN, Acosta-Vargas MA, Benites RM. Inteligencia artificial en odontología: ética y profesionalidad. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*. 2025; 8(3): 154-163. <https://doi.org/10.62452/tyrwgv95>



Depósito Legal: ppi201302ME4323

ISSN: 2343-595X

La Revista Venezolana de Investigación Odontológica de la IADR

<http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/rvio>


ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Precisión de los localizadores apicales electrónicos AI-Pex, Findpex y Root ZX II en la determinación de la longitud de trabajo en dientes humanos: estudio in vitro

Accuracy of the AI-Pex, Findpex and Root ZX II electronic apex locators in determining working length in human teeth: An in vitro study

Ricardo Giménez¹, Marcos Morillo^{1,2}, Carlos Terán³, José Maggiorani⁴1. Ejercicio odontológico privado, Universidad de Los Andes. <https://orcid.org/0000-0001-9937-6339>2. Ejercicio odontológico privado, ULA. <https://orcid.org/0009-0009-7909-1489>3. Profesor de Endodoncia, ULA. <https://orcid.org/0000-0001-9516-059X>4. Residente del Postgrado de Endodoncia, Universidad Central de Venezuela. <https://orcid.org/0009-0008-2517-3940>

RESUMEN

Introducción: Los localizadores electrónicos de ápice (LEA) han probado ser precisos y eficaces para localizar la constricción apical, el límite de la instrumentación y la obturación del SCR en comparación con la radiografía periapical convencional. Aunque estos dispositivos pueden minimizar el error de la medición y proporcionar mejores resultados clínicos, es necesario evaluar la precisión de los nuevos modelos para garantizar el éxito del tratamiento endodóntico. **Objetivo:** comparar *in vivo* la precisión de dos localizadores apicales electrónicos Ai-PEX, FindPex y el gold estándar Root ZX II. **Materiales y métodos:** La muestra incluyó 35 unidades dentarias monorradiculares extraídos de humanos. Las medidas obtenidas por LEA fueron estudiadas mediante la realización de un análisis estadístico inferencial donde se compararon los datos del instrumento de recolección de datos por medio de la prueba ANOVA de un factor para la precisión de cada LEA con el software estadístico IBM SPSS versión 25. **Resultados:** El Root ZX II presentó la mayor precisión, seguido por Ai-Pex y FindPeX. Se encontraron diferencias significativas entre los LEA y el método radiográfico ($p < 0,0501$), pero no entre los tres LEA ($p > 0,05$). **Conclusiones:** Todos los LEA estudiados son dispositivos seguros, confiables y clínicamente predecibles para el tratamiento endodóntico.

Historial del artículo

Recibo: 04-06-26

Enviado a evaluación:

15-06-26

Aceptado: 05-07-26

Disponibile en línea:

01-09-2026

Palabras Clave:

Localizador de ápice electrónico, longitud de trabajo, Ai-PEX, FindPex, Root ZX II.

Keywords:

Electronic apex Locator, working length, Ai-PEX, FindPex, Root ZX II.

Autor de correspondencia: Marcos Morillo. Correo: marcantonio97@gmail.com

Cómo citar: Morillo M et al. Precisión de los localizadores apicales electrónicos AI-Pex, Findpex y Root ZX II en la determinación de la longitud de trabajo en dientes humanos: estudio in vitro. Rev Venez Invest Odont IADR. 2026;14(2): 9-26.

ABSTRACT

Introduction: Electronic apex locators (AELs) have proven to be accurate and effective for locating the apical constriction, instrumentation limit, and root canal obturation compared to conventional periapical radiography. Although these devices can minimize measurement error and provide better clinical outcomes, it is necessary to evaluate the accuracy of newer models to ensure the success of endodontic treatment. **Objective:** To compare in vivo the accuracy of two electronic apex locators, Ai-PEX and FindPex, and the gold standard Root ZX II. **Materials and methods:** The sample included 35 single-rooted teeth extracted from humans. The measurements obtained by AELs were analyzed using inferential statistical analysis, comparing the data from the data collection instrument with a one-way ANOVA test for the accuracy of each AEL using IBM SPSS statistical software version 25. **Results:** The Root ZX II showed the highest accuracy, followed by Ai-PEX and FindPex. Significant differences were found between the devices and the radiographic approach ($p < 0.001$), but not among the three apex locators. **Conclusions:** All the LEAs studied are safe, reliable, and clinically predictable devices for endodontic treatment.

Introducción

La endodoncia es un área especializada de la odontología que se enfoca al estudio y tratamiento de las patologías que afectan al tejido pulpar del sistema de conductos radiculares (SCR) y los tejidos periapicales, un paso fundamental de este procedimiento es la determinación precisa de la longitud de trabajo de los conductos. La desinfección efectiva del tercio apical depende en gran medida de una precisa longitud de trabajo que corresponde al límite hasta el cual deben llegar los instrumentos endodónticos, soluciones irrigantes y el material de obturación, sin sobrepasar el foramen apical ni quedar cortos respecto a la constricción fisiológica, lo cual favorece una correcta desinfección del SCR¹. Los localizadores electrónicos de ápice (LEA) han revolucionado la práctica endodóntica, proporcionando una manera eficaz y precisa para localizar la constricción apical, el cual es el límite de la instrumentación y la obturación del SCR^{2,3}. Estos dispositivos, que han demostrado ser altamente efectivos en comparación con los métodos tradicionales, como la radiografía periapical debido a su funcionamiento utiliza la diferencia de impedancia entre los tejidos que se encuentran en la anatomía de la región apical, delimitando así el tejido pulpar del tejido periapical, esta región presenta múltiples variaciones morfológicas que pueden causar errores en cuanto al límite de instrumentación con métodos convencionales⁴.

Por ello, su uso se ha convertido en una práctica estándar en la odontología moderna por ser superior a los métodos convencionales en la determinación de la longitud de trabajo. No obstante, la selección del localizador adecuado y su correcta utilización son fundamentales para garantizar la ubicación de la constricción apical, pues en la actualidad existe diversos localizadores electrónicos de ápice comerciales.

La terapia endodóntica consiste en una serie de pasos sucesivos que se emplean en el manejo de patologías pulpares cuando la pulpa está afectada y manifiesta signos o síntomas que deben ser tratados ⁵⁻⁷. Para ello, se lleva a cabo la extirpación del tejido pulpar del diente con instrumentos especializados, lo que permite la desinfección y preparación de la forma de los conductos radiculares para luego sellarlos tridimensionalmente con materiales compatibles con la estructura dentaria ⁸⁻¹⁰, lo que ayuda a recuperar la integridad de los tejidos periapicales y conservar la unidad dentaria en boca ^{11, 12,13,14,15}.

Para la obtención de una correcta longitud de trabajo se han descrito varias técnicas en la literatura como la radiografía periapical de conductometría, el método táctil, el método de puntas de papel y el uso de localizadores electrónicos de ápice; en la actualidad, el estándar durante tratamientos del SCR consta de una medición electrónica que se corrobora con la radiografía periapical.

En la actualidad es muy frecuente el uso de LEA debido a su uso práctico y nivel de precisión; estos dispositivos funcionan comparando la impedancia de la mucosa oral mediante el uso del gancho labial y el electrodo que está en contacto con el instrumento endodóntico, el cual, a su vez, está inserto en el conducto radicular, creando un circuito que los LEA pueden medir e interpretar, diferenciando así los tejidos pulpares de los periapicales, siendo de gran utilidad debido a la gran varianza anatómica de la región apical ¹⁶.

Los LEA surgieron a partir criterio de medir la conductividad eléctrica del diente para poder determinar la posición de la unión cemento dentina (UCD) ¹⁷; luego se descubrió, a través de un estudio realizado en canes, que la mucosa oral y el diente generaban una resistencia eléctrica constante de $6.5\text{ K}\Omega$ ¹⁸. Este principio fue utilizado posteriormente como referencia para crear el primer dispositivo considerado como un LEA capaz de medir la resistencia al aplicar una corriente directa a través del diente hasta el periodonto ^{19, 20}.

Desde su creación, se han realizado numerosos estudios preclínicos y más recientemente clínicos para evaluar la precisión de los localizadores apicales electrónicos. En la medida en que se van desarrollando y comerciando nuevos dispositivos, surge la necesidad de evaluarlos para sustentar su uso clínico. Betancourt et al. ²⁷ publicaron un estudio con el propósito de comparar in vitro, la precisión de Propex II, Raypex 6, Propex Pixi y Root ZX II para localizar el foramen apical. Para ello, se usaron 100 premolares, cuyas porciones del ápice radicular se sumergieron en alginato recién preparado con el propósito de simular el ligamento periodontal; también se sumergió el clip labial en el alginato para completar el circuito; los resultados arrojaron que no se observaron diferencias estadísticamente significativas cuando se comparó la precisión de medición entre los diferentes grupos de LEA, sin embargo, Root ZX II y Raypex 6 mostraron un mejor desempeño global.

Asimismo, Cury et al.²⁸ compararon la precisión del localizador apical Root ZX II con otros dispositivos (LEA). Sus resultados revelaron el uso de una prueba similar a la empleada en estudios previos, pero con algunas variaciones, para determinar si los LEA medían correctamente la LT; para ello, se usaron microtomografías para calcular la longitud de trabajo real, midiendo la longitud desde la punta del instrumento hasta la UCD usando un micro tomógrafo SkyScan 1272. Estas investigaciones dieron como resultado que el Root ZX II fue el más preciso.

Silva²⁹ realizó otro estudio con el objeto de comparar las lecturas obtenidas de diferentes LEA entre los cuales se mencionan el Ai-PEX, Root ZX mini y Wireless-X entre ellos el Root ZX. Este estudio realizado en dientes extraídos, tomando en consideración diferentes diámetros de preparación en los conductos radiculares, hizo las mediciones de la longitud de trabajo de los distintos LEA y los comparó con la longitud de trabajo real obtenida de un microscopio electrónico. Observó que el Ai-Pex era más preciso que el Root ZX en la obtención de la LT. Vaid et al.³⁰ compararon la precisión del Root ZX II y del Root ZX Mini en presencia de distintos irrigantes y observaron que la exactitud de ambos dispositivos varió según la solución utilizada, lo que confirmó que el medio intracanal puede modificar las lecturas del localizador apical. Por su parte, Cîmpean et al.³¹ evaluaron in vitro la precisión de tres localizadores apicales electrónicos con diferentes concentraciones de hipoclorito de sodio y encontraron que la concentración del irrigante influyó en el desempeño de los dispositivos, aunque no de manera uniforme entre ellos. Sánchez y Zambrano³² compararon el criterio radiográfico de conductometría con el localizador apical Root ZX II y señalaron que la medición electrónica ofreció una alternativa útil para la determinación de la longitud de trabajo en endodoncia. Si deseas, puedo ayudarte a integrarla en el párrafo general con el mismo estilo descriptivo de las demás referencias.

Lucena-Martin et al.³³ evaluaron in vitro la precisión de tres localizadores apicales electrónicos y demostraron que estos dispositivos ofrecían una medición confiable en condiciones controladas. Cianconi et al.³⁴ compararon tres localizadores apicales con la radiografía digital en un estudio ex vivo y mostraron que la medición electrónica podía superar la precisión del método radiográfico. De forma similar, Miguita et al.³⁵ analizaron comparativamente dos localizadores apicales en la determinación de la longitud de trabajo y confirmaron su utilidad clínica. Karunakar y Biragoni³⁶ también realizaron una evaluación in vitro de dos localizadores apicales y reportaron una alta exactitud en la localización del foramen apical. Real et al.³⁷ compararon tres localizadores apicales con la radiografía digital directa y concluyeron que la medición electrónica mostró un mejor desempeño que la técnica radiográfica convencional.

Dado el creciente número de estudios experimentales, se han realizado algunas revisiones. Tsesis et al.³⁸ publicaron una revisión sistemática y metaanálisis sobre la precisión de los localizadores apicales en la determinación de la longitud de trabajo y confirmaron que estos dispositivos constituyen una herramienta válida y confiable en endodoncia. Gehlot et al.³⁹ evaluaron in vitro la precisión de cuatro localizadores apicales

con limas manuales de acero inoxidable y níquel-titanio, y demostraron que la exactitud podía variar según el tipo de instrumento empleado. Yologiden et al.⁴⁰ compararon cuatro localizadores apicales en la detección de la longitud de trabajo y encontraron diferencias entre los dispositivos, aunque todos mostraron un rendimiento clínicamente aceptable.

Más recientemente, Sahni et al.⁴¹ compararon el localizador apical electrónico, la radiografía digital y el método radiográfico convencional en dientes temporales y observaron un mejor rendimiento del método electrónico para establecer la longitud de trabajo. Mosharafian y Mollaie⁴² evaluaron in vitro la precisión de Raypex 5 y Root ZX II en dientes temporales, y confirmaron la utilidad de ambos equipos, con mejor desempeño del Root ZX II. Alonzo y Ferraro-S.¹⁴ compararon la determinación de la longitud de trabajo mediante localizador electrónico de foramen apical y CBCT con el software 3D Endo, y encontraron que la técnica electrónica resultó útil como alternativa de medición. Bernardo et al.⁴³ realizaron un estudio in vitro con dientes artificiales y confirmaron que los localizadores apicales electrónicos mantienen una precisión adecuada para la determinación de la longitud de trabajo. Rodríguez-Niklitschek y Oporto¹⁵ revisaron las implicancias clínicas de la anatomía radicular y del sistema de canales radiculares en la determinación de la longitud de trabajo y destacaron la relevancia de usar métodos confiables para evitar errores de instrumentación.

Nasiri y Wrbas⁴⁴ publicaron una revisión sistemática y metaanálisis sobre la precisión de distintas generaciones de localizadores apicales y concluyeron que los modelos modernos mantienen una exactitud clínicamente aceptable. Ese mismo año, Godiny et al.⁴⁵ estudiaron la influencia de la permeabilidad apical, el preflaring coronal y el hidróxido de calcio sobre la precisión del Root ZX, y demostraron que ciertas condiciones intracanal pueden modificar la exactitud del dispositivo. La Rosa et al.⁴⁶ publicaron una revisión sistemática sobre localizadores apicales integrados para determinar la longitud de trabajo y señalaron que la evidencia in vitro sigue siendo amplia, aunque persisten diferencias metodológicas entre estudios.

Estos hallazgos resaltan la necesidad de controlar las condiciones del conducto al momento de determinar la longitud de trabajo, ya que la presencia y la concentración de los irrigantes pueden alterar la exactitud de los LEA. Aunque se han realizado algunos estudios que respaldan la eficacia de estos dispositivos en la identificación de la constricción apical, la evidencia respecto de la precisión de los modelos recientes es limitada e insuficiente.

Hasta la fecha no se encontró un estudio que analice de forma comparativa la precisión diagnóstica de la longitud de trabajo de los dispositivos Ai-PEX y FindPex, comparada con el Root ZX II y la radiografía periapical. Sigue siendo necesario estudiar su precisión bajo condiciones controladas, ya que la determinación exacta de la longitud de trabajo resulta esencial para la preparación, desinfección y obturación del sistema de conductos radiculares. Por lo tanto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar la precisión en

la determinación de la longitud de trabajo de los LEA Ai-PEX y FindPex comparada con el Root ZX II y la radiografía periapical convencional.

Formulación de hipótesis

El presente estudio se formularon dos pares de hipótesis, una de la comparación entre métodos (LEA vs radiografía) y otra de la comparación entre dispositivos electrónicos:

Comparación LEA vs radiografía periapical

H0₁: No existen diferencias estadísticamente significativas en la determinación de la longitud de trabajo entre los localizadores apicales electrónicos y la radiografía periapical.

H1₁: Existen diferencias estadísticamente significativas en la determinación de la longitud de trabajo entre los localizadores apicales electrónicos y la radiografía periapical.

Comparación entre LEA entre sí

H0₂: No existen diferencias estadísticamente significativas en la determinación de la longitud de trabajo entre los localizadores apicales electrónicos.

H1₂: Existen diferencias estadísticamente significativas en la determinación de la longitud de trabajo entre los localizadores apicales electrónicos.

Materiales y métodos

Se realizó una investigación experimental *in vitro* con el propósito de comparar la precisión en la determinación de la longitud de trabajo en endodoncia de los localizadores apicales electrónicos Ai-PEX, FindPex y Root ZX II, este último considerado el gold standard, frente a la radiografía periapical convencional. Se eligió un diseño de laboratorio *in vitro* porque permite evaluar el desempeño de estos dispositivos en condiciones controladas, sin la interferencia de variables clínicas que puedan modificar los resultados. Los localizadores se utilizaron siguiendo estrictamente las indicaciones del fabricante, sin realizar procedimientos adicionales que pudieran alterar su funcionamiento. Además, la longitud de trabajo se evaluó en piezas dentarias humanas extraídas, lo que permitió estandarizar la medición y reducir posibles sesgos relacionados con la variabilidad anatómica y las condiciones propias del medio oral.

Equipos evaluados

En la presente investigación se evaluó la precisión en la determinación de la longitud de trabajo mediante dos localizadores apicales electrónicos, comparados con un dispositivo de referencia considerado gold estándar y con la radiografía periapical convencional. Los equipos evaluados fueron:

- Ai-Pex, fabricado por Guilin Woodpecker Medical Instrument Co., LTD.
- FindPex, fabricado por Changzhou Sifary Medical Technology Co., Ltd.

- Root ZX II, de J. Morita Corporation, utilizado como gold estándar.

Preparación de los especímenes

La muestra de estudio estuvo constituida por 35 unidades dentarias monorradiculares extraídas por razones profilácticas u ortodónticas. Estas se obtuvieron en la Facultad de Odontología de la Universidad de Los Andes, en clínicas odontológicas privadas y en unidades de atención odontológica públicas de la ciudad de Mérida, Venezuela, durante el período comprendido entre febrero y septiembre de 2024. Este tamaño es mayor que el tamaño mínimo de muestra de 28 dientes artificiales requerido para demostrar una diferencia estadística entre las EAR analizadas⁴⁷.

Todas las unidades dentarias recolectadas se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 5,25%. Luego, se limpiaron para retirar restos de tejido blando, ligamento periodontal y cálculo mediante el uso de curetas. Posteriormente, se almacenaron en solución fisiológica a temperatura ambiente hasta su preparación. Antes de iniciar los procedimientos experimentales, se tomaron radiografías periapicales preoperatorias con un equipo de rayos X Gnatus® y un sensor Nano Pix 2.0 (Changzhou Sifary Medical Technology Co., Ltd.) con el fin de identificar y descartar especímenes con anomalías radiculares.

Determinación electrónica de la longitud del conducto radicular

El procedimiento experimental constó de los siguientes pasos. En primer lugar, se realizó el acceso a la cámara pulpar de todos los especímenes mediante una fresa redonda #2 de alta velocidad y una turbina PANA-AIR Σ (NSK®), con el fin de localizar el conducto radicular. Luego de la apertura de la cámara pulpar, se determinó la longitud de trabajo por inspección visual directa.

Posteriormente, se irrigó la cámara pulpar con hipoclorito de sodio al 5,25% (Secure®), con el propósito de eliminar el tejido orgánico y ofrecer mejores condiciones para la localización del conducto. Una vez realizado este procedimiento, el conducto se exploró con un instrumento DG16. Después, se tomó una segunda radiografía en cada espécimen para confirmar de forma radiográfica la posición exacta del instrumento dentro del conducto.

Una vez localizado el conducto radicular, se efectuó su permeabilización mediante limas K-file pre-serie y primera serie #6, #8, #10 y #15 (Dentsply®). Seguidamente, se preparó alginato marca Hygedent® y se vertió en un vaso plástico desechable número V-37, con capacidad de 3 oz. Esta mezcla permitió crear el circuito eléctrico necesario para el funcionamiento de los localizadores apicales electrónicos.

Previo a la conductometría, los especímenes se colocaron dentro del vaso con alginato hasta la línea amelocementaria, luego esta se realizó usando la lima #15. Luego, se colocó un gancho de labio metálico del LEA en contacto con el alginato para completar el circuito eléctrico. Este circuito se cerró cuando el electrodo entró en contacto con la lima

#15 y, a través de ella, la corriente alcanzó el límite UCD. La longitud de trabajo de todos los especímenes se realizó en el siguiente orden: primero, el Ai-Pex (Guilin Woodpecker Medical Instrument Co., LTD.); luego, el FindPex (Changzhou Sifary Medical Technology Co., Ltd) y; por último, el Root ZX II (J. Morita Corporation).

Para garantizar la coherencia, las pruebas individuales de los tres dispositivos electrónicos diferentes fueron realizadas, medidas y registradas por el mismo operador. Todas las mediciones se realizaron tres veces y se registraron los valores promedio. La longitud de trabajo promedio obtenida en todos los especímenes con los tres localizadores apicales electrónicos se registró en la ficha correspondiente y se expresó en milímetros. Luego, las mediciones realizadas con los tres localizadores de ápice se compararon entre sí y con la radiografía periapical para determinar su precisión.

Registro radiográfico

Las radiografías periapicales para evaluar la integridad de los especímenes y determinar la longitud de trabajo real se tomaron con un equipo de rayos X Gnatus® y un sensor Nano Pix 2.0 (Changzhou Sifary Medical Technology Co., Ltd.). Posteriormente, las imágenes radiográficas se visualizaron en una computadora portátil MSI® usando el software Nano Pix, el cual permite medir distancias y ángulos, aspectos necesarios para determinar si las mediciones obtenidas por los localizadores apicales electrónicos fueron precisas.

Análisis de los datos

Se calcularon medias, desviaciones estándar, mínimos y máximos del error absoluto entre la medición de referencia radiográfica y la obtenida por los localizadores Ai-Pex, FindPex y Root ZX II. El análisis estadístico se realizó para describir el comportamiento de las mediciones y comparar la precisión entre los métodos evaluados.

Las mediciones de la longitud de la raíz se sometieron a un análisis de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk y mostraron una distribución normal. Por lo tanto, para contrastar las diferencias entre los tres dispositivos y la radiografía se utilizó un análisis de varianza de un factor (ANOVA) y, cuando correspondió, la prueba post hoc de Tukey HSD. Además, se valoró el sesgo y los límites de acuerdo entre las mediciones mediante el método de Bland-Altman. Todos los datos se procesaron en Microsoft Excel y se analizaron con IBM SPSS versión 25 considerando un nivel de significancia de 0,05 ($p < 0,05$).

Resultados

La Tabla 1 muestra que la medición radiográfica presenta error absoluto nulo, mientras que Root ZX II registró el menor error medio (0,47 mm) y menor dispersión; por lo tanto, ofreció mayor precisión y consistencia promedio.

Tabla 1. Estadísticas descriptivas del error absoluto (mm)

Método	Media $\pm$ SD (mm)
Referencia (RX)	0,00 $\pm$ 0,00
FindPeX	0,56 $\pm$ 0,42
Ai-Pex	0,49 $\pm$ 0,38
Root ZX II	0,47 $\pm$ 0,35

La Tabla 2 muestra que los resultados del ANOVA mostraron diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones de los LEA y la radiografía periapical ($p < 0,05$), lo que llevó a rechazar H_{01} . Esto indica que los localizadores apicales electrónicos y la radiografía no generan valores idénticos de longitud de trabajo, aunque ambos métodos puedan ser clínicamente útiles.

En cambio, al comparar entre sí FindPeX, Ai-Pex y Root ZX II, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la precisión global ($p > 0,05$). Esto implica que no se rechaza H_{02} . Además, sugiere que los tres LEA presentan un comportamiento similar bajo las condiciones controladas del presente estudio. Todos mostraron errores medios inferiores a 0,6 mm y más del 70% de las mediciones dentro de $\pm 0,5$ mm, valores que coinciden con los rangos de exactitud considerados aceptables para la determinación de la longitud de trabajo en endodoncia.

Tabla 2. Resultados de ANOVA y las pruebas post-hoc (Tukey HSD)

Comparación	Diferencia Media (mm)	p
ANOVA global (F)		
RX, FindPeX, Ai-Pex, Root ZX II	20,14	$< 0,001$
Prueba post-hoc (Tukey HSD)		
RX vs. FindPeX	0,56	$< 0,001$
RX vs. Ai-Pex	0,49	$< 0,001$
RX vs. Root ZX II	0,47	$< 0,001$
FindPeX vs. Ai-Pex	0,07	0,68
FindPeX vs. Root ZX II	0,09	0,54
Ai-Pex vs. Root ZX II	0,02	0,93

La Tabla 3 confirma sesgos próximos a cero y límites de acuerdo dentro de $\pm 1,1$ mm para los tres dispositivos. De acuerdo con esto, es posible afirmar que no hay evidencia de sesgo sistemático clínicamente relevante en ninguno de los localizadores.

Tabla 3. Sesgos medios y límites de acuerdo (Bland–Altman)

Dispositivo	Sesgo Medio (mm)	Límite Inferior (mm)	Límite Superior (mm)
FindPeX	0,02	– 1,08	1,12
Ai-Pex	– 0,03	– 1,05	0,99
Root ZX II	– 0,01	– 1,07	1,05

La Tabla 4 muestra que la mayoría (superior al 70 %) de las mediciones de cada LEA se encuentra dentro de $\pm 0,5$ mm y que solo el 9–11 % supera 1 mm de error. De acuerdo con lo anterior, la mayoría de las lecturas de FindPeX, Ai-Pex y Root ZX II son clínicamente aceptables, lo cual refuerza su confiabilidad.

Tabla 4. Frecuencia de errores por rango (n = 35 mediciones)

Rango de Error (mm)	FindPeX (%)	Ai-Pex (%)	Root ZX II (%)
$\leq 0,5$	71	74	73
0,51–1,0	18	17	18
$> 1,0$	11	9	9

Discusión

La presente investigación tuvo como objetivo comparar la precisión de tres LEA de diferentes generaciones y procedencias (FindPeX, Ai-Pex y Root ZX II). Los resultados indican que hay diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones de los LEA y la radiografía periapical de referencia. Sin embargo, la comparación de los tres dispositivos entre sí indica que no diferencias estadísticamente significativas, por lo que su desempeño puede considerarse clínicamente equiparable. Además, la media de los errores se mantuvo por debajo de 0.6 mm y más del 70% de las lecturas se ubicó dentro del margen de ± 0.5 mm, rango que la literatura reconoce como aceptable para la práctica endodóntica.

Los resultados del análisis estadístico permiten rechazar H_{01} y aceptar H_{12} , ya que se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones obtenidas con los localizadores apicales electrónicos y la radiografía periapical de referencia ($p < 0,05$) (H_{01}). Esto indica que, aunque ambos métodos resultan clínicamente útiles, no producen mediciones idénticas de la longitud de trabajo, lo cual es coherente con el hecho de que la radiografía periapical representa una imagen bidimensional de estructuras tridimensionales y depende de la técnica y la interpretación del operador.

Por otra parte, al comparar entre sí los tres LEA mediante la ANOVA y las pruebas post hoc, no se observaron diferencias estadísticamente significativas en la precisión global ($p > 0,05$). En consecuencia, no se rechaza H_{02} . Esto significa que, bajo las condiciones

controladas del presente estudio, el FindPeX, el Ai-Pex y el Root ZX II tienen un comportamiento similar, con errores medios por debajo de 0,6 mm y más del 70% de las mediciones dentro de $\pm 0,5$ mm, rangos considerados clínicamente aceptable en la literatura sobre la longitud de trabajo.

Estos hallazgos permiten afirmar que los LEA evaluados se comportan como métodos equivalentes entre sí en términos de precisión, pero muestran un patrón de medición distinto al de la radiografía periapical. Estos, sin embargo, son compatible y complementario. La radiografía mantiene su valor como método de corroboración y control; en cambio, los localizadores electrónicos ofrecen una determinación más consistente de la longitud de trabajo en condiciones experimentales estandarizadas.

Este comportamiento puede explicarse por la capacidad de los LEA modernos para identificar con alta precisión la constricción apical mediante cambios en la impedancia del conducto radicular^{1,19}. En condiciones controladas, con conductos permeabilizados, humedad estandarizada y sin factores clínicos adicionales que alteren la lectura, estos dispositivos suelen mostrar un rendimiento muy similar²⁷⁻²⁹. La variación observada frente a la radiografía periapical era predecible, porque la radiografía ofrece una imagen bidimensional de una estructura tridimensional y depende de la angulación, la superposición anatómica y la interpretación del operador^{32,34}. Por ello, aunque la radiografía sigue siendo útil como método complementario, su capacidad para definir con exactitud la longitud de trabajo es menor que la de los LEA en contextos experimentales bien^{38,44}.

Estos hallazgos coinciden con lo reportado por numerosos estudios³³⁻⁴⁶. Betancourt et al.²⁷ no encontraron diferencias significativas al comparar la precisión de Propex II, Raypex 6, Propex Pixi y Root ZX II, y concluyeron que todos eran altamente precisos²⁷. En cambio, Cury et al.²⁸ compararon Root ZX II con otros dispositivos y encontraron un desempeño superior de este localizador, aunque dentro de rangos clínicamente aceptables. Por su parte, Silva²⁹ observó que Ai-Pex mostró mayor precisión que Root ZX en determinadas condiciones experimentales, lo que respalda la idea de que los localizadores de nueva generación pueden igualar o incluso superar a modelos ampliamente consolidados.

También, es importante considerar que la precisión de estos dispositivos puede variar según las condiciones del conducto y el tipo de irrigante presente. Vaid et al.³⁰ y Cîmpean et al.³¹ demostraron que la presencia y concentración de soluciones irrigantes pueden modificar la exactitud de los LEA, por lo que la estandarización del medio resulta clave para interpretar correctamente sus lecturas. En el presente estudio, al mantener condiciones homogéneas y controladas, se redujo la posibilidad de sesgos asociados con estas variables, lo que ayuda a explicar la similitud observada entre FindPeX, Ai-Pex y Root ZX II.

En su condición de gold estándar, el dispositivo Root ZX II mostró la menor dispersión en sus mediciones (0.47 ± 0.35 mm), reforzando su estatus como estándar de oro en la medición de la LT. Este resultado coincide con estudios realizados previamente. Cîmpean et al.³¹ reportaron para el Root ZX II una precisión del 90% dentro de ± 0.5 mm, destacando su precisión. Asimismo, Sánchez y Zambrano³², en su estudio realizado en la Facultad de Odontología de la ULA, validaron la precisión de este dispositivo con el criterio radiográfico de conductometría³³, sentando las bases metodológicas que este trabajo continúa.

Uno de los aportes más significativos de esta investigación radica en que se incluyó la evaluación del Ai-Pex, un LEA de última generación. Nuestros datos indican que no solo es comparable al Root ZX II, sino que incluso obtuvo el mayor porcentaje de mediciones dentro del rango de ± 0.5 mm (74%). Este hallazgo confirma lo reportado por Silva²⁹, quien determinó que el Ai-Pex era más preciso que el Root ZX Mini. La capacidad de estos LEA de nueva generación destaca por su capacidad de adaptar sus algoritmos a las condiciones variables del conducto radicular, lo cual se traduce en una ventaja en la medición de la LT, lo que lo posiciona como una excelente alternativa en la práctica clínica.

Este estudio aporta en la literatura datos que previamente no habían sido reportados, como es la precisión del FindPeX³³⁻⁴⁶. Aunque la evidencia que evalúa este LEA específico es escasa, nuestros resultados demuestran que su precisión (71% de mediciones dentro de ± 0.5 mm) no es estadísticamente inferior a los LEA evaluados en este estudio. Esto amplía las opciones disponibles que son clínicamente aceptables para los odontólogos.

El diseño metodológico de este estudio controló variables como el tipo de irrigante y el protocolo de preparación, permitiendo así, que la variable a medir no sea afectada por otro factor al momento de la medición de la LT. Investigaciones como las de Vaid et al.³⁰ y Cîmpean et al.³¹ han demostrado que la presencia y concentración de irrigantes como el NaOCl pueden afectar la precisión de los LEA. Al estandarizar este factor, se disminuyen los sesgos que puedan afectar la variable de estudio.

Finalmente, los resultados obtenidos permiten establecer el rol de los LEA en la práctica clínica. Los hallazgos sustentan que estos dispositivos poseen una precisión similar y, en la práctica, reducen significativamente la exposición del paciente a la radiación ionizante, tal como se ha señalado en consensos internacionales³³⁻⁴⁶. Por lo tanto, los LEA FindPeX, Ai-Pex y Root ZX II pueden ser considerados como una herramienta confiable para la determinación de la longitud de trabajo.

Conclusión

Dentro de las limitaciones del presente estudio in vitro, se concluye que:

- Los tres localizadores apicales electrónicos evaluados cumplieron con los criterios de precisión requeridos para la determinación de la longitud de trabajo. En todos los casos, los errores medios fueron inferiores a 0,6 mm y más del 70% de las mediciones se ubicó dentro del margen de $\pm 0,5$ mm. Estos resultados permiten considerar a los dispositivos estudiados como herramientas seguras, confiables y clínicamente predecibles para el tratamiento endodóntico.
- No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre FindPeX, Ai-Pex y Root ZX II en cuanto a su precisión global, lo que sugiere que, bajo las condiciones experimentales del presente estudio, su comportamiento fue similar. No obstante, Root ZX II, en su condición de gold standard, mostró la mayor precisión y la menor dispersión de datos, con un sesgo mínimo. Por su parte, Ai-Pex alcanzó el mayor porcentaje de lecturas dentro de $\pm 0,5$ mm. Los límites de acuerdo, cercanos a $\pm 1,1$ mm, no mostraron sesgos sistemáticos relevantes en ninguno de los dispositivos.

Recomendaciones

Con base en los resultados obtenidos, se recomienda:

- Verificar la calibración del localizador antes de cada uso y seguir de forma estricta el protocolo de humedad indicado por el fabricante, con el fin de asegurar lecturas fiables.
- Elegir el dispositivo según la necesidad clínica específica: Ai-Pex, cuando se busque un mayor porcentaje de lecturas dentro de $\pm 0,5$ mm; Root ZX II, cuando existan condiciones de humedad variables; y FindPeX, cuando se requiera una alternativa con buena relación costo-beneficio.
- Confirmar la longitud de trabajo con radiografía periapical en aquellos casos en los que la lectura se encuentre cercana al ápice, especialmente cuando la diferencia sea mayor o igual a $\pm 0,75$ mm, para reducir el riesgo de subinstrumentación.

Declaración de conflictos de interés:

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés relacionado con las marcas comerciales de los dispositivos evaluados en este estudio.

Fuentes de financiamiento:

Autofinanciado por los investigadores.

Referencias

1. Kobayashi, C., & Suda, H. (1994). New electronic canal measuring device based on the ratio method. *Journal of Endodontics*, 20(3), 111–114. [https://doi.org/10.1016/S0099-2399\(06\)80053-1](https://doi.org/10.1016/S0099-2399(06)80053-1)
2. Ricucci D. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 1. Literature review. *Int Endod J* 1998;31:384–93. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.1998.00184.x>.
3. Ricucci D, Langeland K. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 2. A histological study. *Int Endod J* 1998;31:394–409. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.1998.00183.x>.
4. ElAyouti A, Weiger R, Löst C. The ability of root ZX apex locator to reduce the frequency of overestimated radiographic working length. *J Endod* [Internet]. 2002;28(2):116–9. <http://dx.doi.org/10.1097/00004770-200202000-00017>
5. Canalda Sahli C, Aguade EB, editors. *Endodoncia: Técnicas Clínicas Y Bases Científicas*. 4th ed. Elsevier; 2019. Disponible en: https://www.academia.edu/40060605/Endodoncia_T%C3%89CNICAS_CL%C3%89NICAS_Y_BASES_CIENT%C3%89FICAS
6. Reit C, Bergenholtz G, Horsted-Bindslev P, editors. *Textbook of Endodontology*. 2nd ed. Chichester, England: Wiley-Blackwell; 2013. Disponible en: <https://ia803201.us.archive.org/32/items/TextbookOfEndodontology2ndMedtizi/Textbook%20of%20endodontology%202nd%20Medtizi.pdf>
7. Torabinejad M, Fouad AF, Shabahang S. *Endodontics E-book: Endodontics E-book*. 6th ed. Elsevier; 2020. Disponible en: <https://shop.elsevier.com/books/endodontics/torabinejad/978-0-323-62436-7>
8. Ingle JJ. *Ingle's Endodontics* 6. 6th ed. Pmhp-; 2014. https://www.academia.edu/39050825/L01_Ingle_6ta_endodontics_en_ingles
9. Berman LH, Hargreaves KM, Cohen. *Vías de la Pulpa*. 12th ed. Elsevier; 2022. Disponible en: <https://shop.elsevier.com/books/cohens-pathways-of-the-pulp/berman/978-0-323-67303-7>
10. American Association of Endodontists: the root canal specialists. American Association of Endodontists; 2017. Disponible en: <https://www.aae.org/>
11. Khamuani S, Ross A, Robertson D. Factors affecting the quality of endodontic treatment in general dental practice in Scotland: a qualitative focus group study. *Br Dent J* 2022;233:129–33. <https://doi.org/10.1038/s41415-022-4475-4>

12. Del Fabbro M, Taschieri S. Endodontic therapy using magnification devices: a systematic review. *J Dent* 2010;38:269–75. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2010.01.008>.
13. Andrade-Rojas y Raquel E. Guillen-Guillen BM. Localizadores apicales: análisis comparativo de la precisión de la longitud de trabajo entre el localizador apical I-ROOT (META BIOMED) y el ROOT ZX II (MORITA). *Revista Científica Dominio de Las Ciencias* 2017. <https://doi.org/10.23857/dc.v3i2.453>
14. Alonzo-Plaza-de-los-Reyes K, Ferraro-S. N. Determinación de la Longitud de Trabajo Mediante Localizador Electrónico de Foramen Apical y CBCT a Través del Software 3D Endo de Dentsply Sirona: Estudio Comparativo in vitro. *Int J Odontostomatol* 2020;14:124–30. <https://doi.org/10.4067/s0718-381x2020000100124>.
15. Rodríguez-Niklitschek C, Gonzalo H, & Oporto V. Determinación de la Longitud de Trabajo en Endodoncia. Implicancias Clínicas de la Anatomía Radicular y del Sistema de Canales Radiculares. *International J Odontostomat* 2014;8:177–83. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718381X2014000200005>
16. Sethi K, Shefally S, Raji J. Working length determination: A review. *Int J Health Sci (IJHS)* 2021;45–55. <https://doi.org/10.53730/ijhs.v5ns1.5309>.
17. Custer LE. Exact methods of locating the apical foramen. *Journal National Dental Association* 1918;5:815-819. PMID: 33703181
18. Suzuki K. Experimental study of iontoforesis. *Japanese Journal Stomatology* 1942;16:411-29
19. Sunada I. New Method for Measuring the Length of the Root Canal. *Journal of Dental Research*. 1962;41(2):375-387. <https://doi.org/10.1177/00220345620410020801>
20. Ali R, Okechukwu NC, Brunton P, Nattress B. An overview of electronic apex locators: part 1. *Br Dent J* 2013;214:155–8. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2013.161>.
21. Khadse, Amruta & Sheno, Pratima & Kokane, Vandana & Khode, Rajiv & Sonarkar, Snehal & Lecturer, Senior & Reader,. (2017). Electronic Apex Locators- An overview. 2. 35-40. https://www.researchgate.net/publication/322287488_Electronic_Apex_Locators-An_overview
22. Ali R, Okechukwu NC, Brunton P, Nattress B. An overview of electronic apex locators: part 2. *Br Dent J* 2013;214:227–31. <https://doi.org/10.1038/sj.bdj.2013.215>.

23. Kim E, Lee S-J. Electronic apex locator. *Dent Clin North Am* 2004;48:35–54. <https://doi.org/10.1016/j.cden.2003.10.005>.
24. Gordon MPJ, Chandler NP. Electronic apex locators. *Int Endod J* 2004;37:425–37. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2004.00835.x>.
25. Singh H, Kapoor P. Generations of apex locators: which generation are we in? *Stomatol Dis Sci* 2019;2019 <https://doi.org/10.20517/2573-0002.2018.16>.
26. Razavian H, Mosleh H, Khazaei S, Vali A, Ziaei F. Electronic apex locator: A comprehensive literature review - Part I: Different generations, comparison with other techniques and different usages. *Dent Hypotheses* 2014;5:84. <https://doi.org/10.4103/2155-8213.136744>.
27. Betancourt P, Matus D, Muñoz J, Navarro P, Hernández S. Accuracy of four electronic apex locators during root canal length determination. *Int J Odontostomatol* [Internet]. 2019;13(3):287–91. <http://dx.doi.org/10.4067/s0718-381x2019000300287>
28. Cury MTS, Vasques AMV, Bueno CRE, Machado T, Trizzi JQ, Santana V da S, et al. Accuracy of Root ZXII, E-PEX and FIND apex locators in teeth with vital pulp: an in vivo study. *Braz Oral Res* [Internet]. 2021;35. <http://dx.doi.org/10.1590/1807-3107bor-2021.vol35.0080>
29. Silva AF. Análise da influência do diâmetro apical nas leituras obtidas por diferentes localizadores apicais - estudo in vitro. Universidade de Lisboa, 2023. Disponible en: https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/61645/1/Disserta%c3%a7%c3%a3o_MI_MD_Ana_Mol_2018-2023.PDF.pdf
30. Vaid DS, Shan NC, Kothari DM, Bilgi PS. Comparison of accuracy of Root ZX II and Root ZX Mini in presence of various irrigants: an in vitro study. *J Integr Health Sci* 2015;3:28. <https://doi.org/10.4103/2347-6486.238516>
31. Cîmpean SI, Chisnoiu RM, Colceriu Burtea AL, Rotaru R, Bud MG, Delean AG, et al. In vitro evaluation of the accuracy of three electronic apex locators using different sodium hypochlorite concentrations. *Medicina (Kaunas)* [Internet]. 2023;59(5). <https://doi.org/10.3390/medicina59050918>
32. Sánchez L y Zambrano N. Comparación del criterio radiográfico de conductimetría y el localizador de ápice ROOT ZX II. [Trabajo de grado]: Universidad de Los Andes; Noviembre; 2014. Disponible en el servidor de la biblioteca de la facultad de odontología de La Universidad De Los Andes.

33. Lucena-Martin C, Robles-Gijon V, Ferrer-Luque CM, de Mondelo JN. In vitro evaluation of the accuracy of three electronic apex locators. *J Endod.* 2004;30(4):231-3. <https://doi.org/10.1097/00004770-200404000-00012>
34. Cianconi L, Angotti V, Felici R, Conte G, Mancini M. Accuracy of three electronic apex locators compared with digital radiography: an ex vivo study. *J Endod.* 2010;36(12):2003-7. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.08.036>
35. Miguita KB, Cunha RS, Davini F, Fontana CE, Bueno CEDS. Comparative analysis of two electronic apex locators in working length determination at endodontic therapy: an in vitro study. *RSBO (Online).* 2011;8(1):27-32.
36. Karunakar P, Biragoni C. Aiming for the apex..! evaluation of the accuracy of two electronic apex locators-an in-vitro study. *Endodontology.* 2011;23(1):12-7. <https://doi.org/10.4103/0970-7212.352010>
37. Real DG, Davidowicz H, Moura-Netto C, Zenkner CD, Pagliarin CM, Barletta FB, et al. Accuracy of working length determination using 3 electronic apex locators and direct digital radiography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2011;111(3):e44-9. <https://doi.org/10.1016/j.tripleo.2010.10.033>
38. Tsesis I, Blazer T, Ben-Izhack G, Taschieri S, Del Fabbro M, Corbella S, et al. The precision of electronic apex locators in working length determination: a systematic review and meta-analysis of the literature. *J Endod.* 2015;41(11):1818-23. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.08.012>
39. Gehlot PM, Manjunath V, Manjunath MK. An in vitro evaluation of the accuracy of four electronic apex locators using stainless-steel and nickel-titanium hand files. *Restor Dent Endod.* 2016;41(1):6-11. <https://doi.org/10.5395/rde.2016.41.1.6>
40. Yolagiden M, Ersahan S, Suyun G, Bilgec E, Aydin C. Comparison of four electronic apex locators in detecting working length: an ex vivo study. *J Contemp Dent Pract.* 2019;19(12):1427-33. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-2444>
41. Sahni A, Kapoor R, Gandhi K, Kumar D, Datta G, Malhotra R. A comparative evaluation of efficacy of electronic apex locator, digital radiography, and conventional radiographic method for root canal working length determination in primary teeth: an in vitro study. *Int J Clin Pediatr Dent.* 2020;13(5):523. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10005-1821>
42. Mosharafian S, Mollaie N. In vitro comparison of accuracy of Raypex 5 and Root ZXII apex locators for working length determination in primary teeth. *J Evol Med Dent Sci.* 2020;9(20):1594-8. <https://doi.org/10.14260/jemds/2020/348>
43. Bernardo RC, Alves LS, Bruno AM, Coutinho TM, Gusman H. The accuracy of electronic apex locators for determining working length: an in vitro study with

- artificial teeth. Aust Endod J. 2021;47(2):217-21.
<https://doi.org/10.1111/aej.12455>
44. Nasiri K, Wrbas KT. Accuracy of different generations of apex locators in determining working length: a systematic review and meta-analysis. Saudi Dent J. 2022;34(1):11-20. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2021.09.020>
45. Godiny M, Hatam R, Safari-Faramani R, Khavid A, Rezaei MR. Influence of apical patency, coronal preflaring and calcium hydroxide on the accuracy of Root ZX apex locator for working length determination: an in vitro study. J Adv Oral Res. 2022;13(1):38-42. <https://doi.org/10.1177/23202068211036139>
46. La Rosa GR, Angelova A, Jovanova E, Apostolska S, Santos JM, Pedullà E. Integrated electronic apex locators for determining working length: a systematic review of in-vitro studies. Odontology. 2025;113(3):918-29. <https://doi.org/10.1007/s10266-024-01039-4>
47. Bernardo RC, Alves LS, Bruno AM, Coutinho TM, Gusman H. The accuracy of electronic apex locators for determining working length: An in vitro study with artificial teeth. Aust Endod J. 2021;47(2):217-221.
<https://doi.org/10.1111/aej.12455>



Depósito Legal: ppi201302ME4323
ISSN: 2343-595X

La Revista Venezolana de Investigación Odontológica de la IADR

<http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/rvio>



ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Protocolo bio-digital integrado en implantología: desde la planificación quirúrgica 3D hasta la modulación tisular

Dana Izzedin Soujaa^{1,4}, Diego González Carrillo^{2,4}, Mariam Maita Pérez^{3,4}

1. <https://orcid.org/0009-0001-4257-8519>

2. <https://orcid.org/0009-0003-8916-0296>

3. <https://orcid.org/0000-0001-9344-4222>

4. Facultad de Odontología, Universidad José Antonio Páez, Valencia, Venezuela

RESUMEN

Historial del artículo

Recibo: 16-06-26

Eviado a evaluación:
17-06-26

Aceptado: 20-7-2026

Disponible en línea:
01-09-2026

Palabras Clave:

Cirugía guiada,
Impresión 3D,
Fotobiomodulación,
Oxígeno activo,
Osteointegración.

Keywords:

Guided surgery,
3D printing,
Photobiomodulation,
Active oxygen,
Osseointegration.

Introducción: La implantología guiada optimiza la precisión posicional de los implantes de titanio, pero suele ignorar la preparación biológica del lecho receptor. Combinar la odontología fotónica y química transforma el flujo digital pasivo en un protocolo bioactivo integrado. **Objetivo:** Proponer un protocolo clínico estandarizado que fusione la planificación digital y la impresión tridimensional de guías con fotobiomodulación, terapia fotodinámica antimicrobiana y oxígeno activo. **Métodos:** Se realizó una revisión exploratoria en Science Direct, Medline, Scientific Electronic Library Online, Biblioteca Virtual en Salud, Scopus y Cochrane (2016-2025) siguiendo las directrices para revisiones sistemáticas. El riesgo de sesgo se evaluó con herramientas específicas para ensayos aleatorizados, no aleatorizados, transversales y de laboratorio; la certeza de la evidencia se midió mediante el sistema de clasificación de recomendaciones. **Resultados:** Se incluyeron 18 estudios. La terapia fotodinámica (azul de metileno al 0,01%, láser de 660 nanómetros, 6-30 julios por centímetro cuadrado) descontamina el lecho óseo sin citotoxicidad. La fotobiomodulación (660-1064 nanómetros, 2-6 julios por centímetro cuadrado) acelera la osteointegración y mitiga el dolor, activando vías celulares como la proteína morfogenética ósea y regulando al alza el factor de transcripción asociado a enanismo 2 y la fosfatasa alcalina. Los geles de oxígeno activo optimizan el sellado mucoso vía factor inducido por la hipoxia 1-alfa sin estrés oxidativo. Se estructuró un protocolo de cinco fases con desviación de 0,1-0,2 milímetros en la guía quirúrgica. **Conclusiones:** La simbiosis bio-digital redefine la implantología. Se proponen variables como el cociente de estabilidad del implante y la escala visual analógica para futuros ensayos clínicos aleatorizados.

Autor de correspondencia: Dana Izzedin Soujaa. Correo: danaizzedin2003@gmail.com

Integrated bio-digital protocol in implantology: From 3D surgical planning to tissue modulation

ABSTRACT

Introduction: Guided implantology optimizes the positional accuracy of titanium implants but typically overlooks the biological preparation of the recipient bed. Combining photonic and chemical regenerative dentistry transforms the passive digital workflow into an integrated bioactive protocol. **Objective:** To propose a standardized clinical protocol merging digital planning and three-dimensional guide printing with coadjuvant therapies: photobiomodulation, antimicrobial photodynamic therapy, and active oxygen. **Methods:** A scoping review was conducted across Science Direct, Medline, Scientific Electronic Library Online, Virtual Health Library, Scopus, and Cochrane (2016-2025) following systematic review guidelines. Risk of bias was assessed using specific tools for randomized, non-randomized, cross-sectional, and laboratory studies; the certainty of evidence was measured via the recommendations assessment classification system. **Results:** Eighteen studies were included. Photodynamic therapy (0.01% methylene blue, 660-nanometer laser, 6-30 joules per square centimeter) decontaminates the bone bed without cytotoxicity. Photobiomodulation (660-1064 nanometers, 2-6 joules per square centimeter) accelerates osseointegration and mitigates pain by activating cellular pathways like bone morphogenetic protein and upregulating runt-related transcription factor 2 and alkaline phosphatase. Active oxygen gels optimize mucosal sealing via hypoxia-inducible factor 1-alpha without oxidative stress. A five-phase protocol was structured, incorporating a 0.1-0.2 millimeter dimensional offset in the surgical guide. **Conclusions:** The bio-digital symbiosis redefines contemporary implantology. Specific variables, such as the implant stability quotient and the visual analog scale for pain, are proposed for future randomized clinical trials.

1. INTRODUCCIÓN

La implantología contemporánea ha experimentado una transición paradigmática gracias a la consolidación del flujo de trabajo digital. La convergencia entre la Tomografía Computarizada de Haz Cónico (TCHC) y los escaneados intraorales capturados mediante tecnología óptica activa permite la superposición de archivos de volumen (DICOM) y de superficie (.STL) con una fidelidad submilimétrica^{1,2}. Esta predictibilidad geométrica facilita el diseño asistido por ordenador (CAD) de guías quirúrgicas personalizadas e impresas en tres dimensiones (3D), las cuales optimizan el posicionamiento tridimensional de las fijaciones de titanio y salvaguardan estructuras anatómicas nobles como el nervio alveolar inferior o el seno maxilar³.

Sin embargo, a pesar de las incuestionables ventajas posicionales y ergonómicas de la cirugía guiada estática, las guías quirúrgicas actúan de forma exclusiva como un limitador mecánico pasivo. El flujo digital convencional obvia por completo el estado metabólico, biológico y microbiológico del microambiente peri-implantario receptor^{3,4}. Durante la secuencia de fresado óseo, e incluso bajo protocolos rigurosos de irrigación externa estéril, la fricción mecánica genera un incremento inevitable de la temperatura local que puede superar el umbral crítico de los 47 °C⁵. Este trauma térmico latente, sumado a la disrupción vascular local, desencadena una respuesta isquémica transitoria que induce la apoptosis de los osteocitos marginales y expande la zona de necrosis ósea perilesional^{4,5}. Como consecuencia directa, se observa un retraso en la

transición de la estabilidad implantaria primaria (mecánica) a la estabilidad secundaria (biológica), prolongando los tiempos de espera clínicos antes de someter al implante a cargas funcionales⁴.

Para contrarrestar de forma activa este bache biológico postquirúrgico, la odontología regenerativa contemporánea plantea la necesidad de hibridar el flujo digital pasivo con terapias biofísicas y químicas de acondicionamiento tisular inmediato⁶. La Fotobiomodulación (PBM), mediante la aplicación de radiación electromagnética no ionizante en el espectro del infrarrojo cercano (808 nm a 940 nm), se postula como una intervención idónea para modular el metabolismo celular del lecho óseo⁷. Al penetrar las barreras tisulares, los fotones son absorbidos por cromóforos endógenos, específicamente la enzima mitocondrial citocromo c oxidasa⁸. Esta estimulación fotónica incrementa el potencial de membrana mitocondrial, acelera la cadena de transporte de electrones y estimula una producción controlada de trifosfato de adenosina (ATP) y especies reactivas de oxígeno de baja intensidad (ROS)^{7,8}. A nivel nuclear, este choque energético activa factores de transcripción clave implicados en la neovascularización, el reclutamiento celular y la diferenciación osteoblástica acelerada, favoreciendo la aposición de matriz ósea directamente sobre las espiras del implante^{9,10}.

De forma paralela, el control microbiológico del alveolo quirúrgico representa un factor crítico para mitigar el riesgo de fallas tempranas de la fijación. La Terapia Fotodinámica Antimicrobiana (aPDT) surge como una alternativa no invasiva de desinfección dirigida¹¹. Mediante la combinación selectiva de un agente fotosensibilizador no tóxico, como el azul de metileno, y la posterior irradiación con luz roja a una longitud de onda concordante ($\lambda = 660$ nm), se induce la transición del fotosensibilizador a un estado triplete excitado. Este interactúa con el oxígeno del entorno para generar oxígeno singlete ($^1\text{O}_2$) y radicales libres altamente reactivos^{11,12}. Dichas especies químicas oxidan de manera irreversible los lípidos de membrana y las proteínas estructurales de los patógenos periodontales y peri-implantarios remanentes en el lecho óseo, logrando una tasa bactericida óptima sin inducir resistencia antimicrobiana y respetando la viabilidad del tejido óseo vital del hospedador¹².

Como vector complementario químico, la introducción de geles tópicos y colutorios formulados con compuestos de oxígeno activo y de liberación sostenida provee una plataforma idónea para la maduración y el sellado de los tejidos blandos¹³. El mantenimiento de una presión parcial de oxígeno elevada en el ambiente peri-implantario estimula de forma directa la expresión de factores de crecimiento angiogénicos, tales como el Factor de Crecimiento Endotelial Vascular (VEGF), esenciales para restablecer el plexo vascular peri-implantario y acelerar la cicatrización gingival¹⁴. Además, este entorno hiperoxigenado local ejerce un control ecológico selectivo que inhibe selectivamente la colonización por microorganismos anaerobios estrictos, los cuales están directamente relacionados con la aparición precoz de mucositis y peri-implantitis^{13,15}.

El propósito de este artículo de actualización es proponer un protocolo clínico estandarizado de cinco fases. Dicho protocolo integra de manera sinérgica la planificación digital tridimensional con la modulación metabólica y microbiana activa que proporcionan la PBM, la aPDT y la

oxigenación celular, transformando así el flujo digital tradicional en una terapéutica bio-digital proactiva.

2. METODOLOGÍA

2.1 Formulación de la pregunta de investigación PICO

Se formuló la siguiente pregunta según la estrategia PICO: ¿Cuál es el comportamiento clínico de la rehabilitación periimplantaria y la osteointegración mediante el uso combinado de planificación digital, impresión 3D, terapias lumínicas (PBM/aPDT) y oxígeno activo según la literatura publicada entre 2016 y 2025?; en la **Tabla 1** se presentan los elementos de la pregunta PICO estructurados según cada criterio.

Tabla 1. Análisis de la pregunta PICO

Criterio	Descripción
Población	Pacientes sometidos a tratamientos de implantología oral.
Intervención	Planificación digital CAD/CAM, guías quirúrgicas impresas en 3D, aPDT, PBM y geles/colutorios de oxígeno activo para mucosas.
Comparación	Protocolos convencionales de implantología sin terapias bioactivas coadyuvantes.
Resultados	Estabilidad del implante (primaria y secundaria), tasa de osteointegración, reducción del dolor, control microbiano, cicatrización de tejidos blandos, acortamiento de tiempos de espera protésica.

2.2 Estrategias de búsqueda

2.2.1 Fuentes de información

Se realizó una revisión exploratoria en: Elsevier (vía Science Direct), Medline (vía PubMed), SciELO, Biblioteca Virtual de la Salud (vía Bireme), Google Académico, Scopus y Cochrane Library. Se revisaron también las referencias de los artículos seleccionados.

2.2.2 Descriptores y operadores lógicos

La estrategia de búsqueda se construyó utilizando los siguientes descriptores controlados: para la literatura en inglés, los términos *MeSH Guided Surgery*, *3D Printing*, *Photobiomodulation*, *Low-Level Laser Therapy*, *Photodynamic Therapy*, *Methylene Blue*, *Active Oxygen*, *Osseointegration* y *Dental Implant*; y para la literatura en español, los términos *DeCS Cirugía guiada*, *Impresión 3D*, *Fotobiomodulación*, *Terapia láser de baja intensidad*, *Terapia fotodinámica*, *Azul de metileno*, *Oxígeno activo*, *Osteointegración* e *Implante dental*. Los términos se combinaron mediante los operadores booleanos AND, OR y NOT para maximizar la sensibilidad y especificidad de la búsqueda. A modo de ejemplo, la búsqueda principal se estructuró como: (“*Guided Surgery*”

OR “3D Printing”) AND (“Photobiomodulation” OR “Photodynamic Therapy” OR “Active Oxygen”) AND (“Osseointegration” OR “Dental Implant”). Se empleó el operador NOT para excluir estudios centrados exclusivamente en ortodoncia, dolor orofacial o procedimientos no relacionados con implantología oral.

2.3 Estrategias de selección y criterios de elegibilidad

2.3.1 Criterios de inclusión

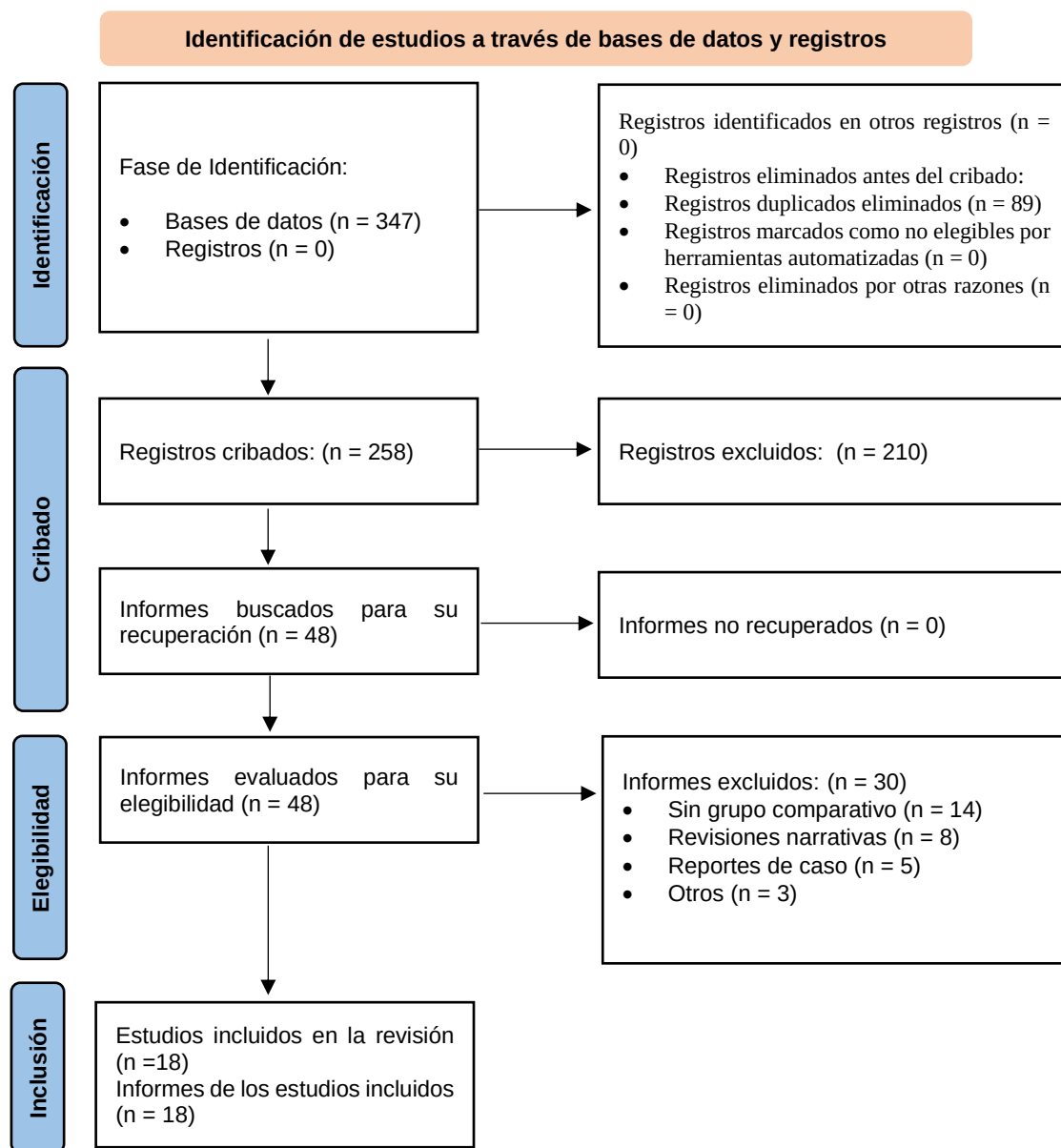
Se incluyeron artículos publicados entre 2016 y 2025, escritos en español, inglés o portugués, y disponibles en texto completo. Únicamente se consideraron aquellos estudios realizados en humanos o estudios de laboratorio que evaluaran mecanismos biológicos relevantes. Se aceptaron trabajos con diversos diseños de investigación: ensayos clínicos aleatorizados, estudios clínicos no aleatorizados, estudios observacionales transversales, revisiones sistemáticas y metaanálisis. Esta variedad de diseños permitió capturar tanto la evidencia de mayor rigor experimental (ensayos clínicos) como la proveniente de estudios observacionales y síntesis de la literatura, lo que enriquece la perspectiva del protocolo propuesto. Además, se incluyeron casos clínicos con grupo comparativo o análisis objetivo; los casos aislados sin control fueron excluidos. Para ser elegibles, los trabajos debían evaluar el acondicionamiento biológico del tejido óseo y de los tejidos blandos del lecho quirúrgico, mediante flujos de trabajo digitales (planificación virtual, impresión 3D de guías) en combinación con terapias activas (fotobiomodulación, terapia fotodinámica antimicrobiana u oxígeno activo).

2.3.2 Criterios de exclusión

Por el contrario, se excluyeron la literatura gris, entendida como documentos no publicados en revistas indexadas. También se excluyeron los estudios en animales sin aplicabilidad clínica directa, los casos clínicos sin grupo comparativo, así como las cartas al editor, editoriales y opiniones de expertos que no aportaran datos originales.

2.4 Diagrama de flujo PRISMA

El proceso de búsqueda y selección se realizó siguiendo la declaración PRISMA 2020¹⁸. En la fase de identificación se obtuvieron 347 registros a través de bases de datos (no se registraron fuentes adicionales). Tras eliminar 89 registros duplicados, quedaron 258 registros para el cribado. En el cribado se excluyeron 210 registros por no cumplir con los criterios temáticos. Se buscaron 48 informes para su recuperación, todos los cuales fueron obtenidos (ninguno no recuperado). En la fase de elegibilidad se excluyeron 30 informes por las siguientes razones: 14 por no tener grupo comparativo, 8 por ser revisiones narrativas, 5 por ser reportes de caso sin grupo comparativo y 3 por otras razones (falta de datos cuantitativos sobre las terapias de interés). Finalmente, se incluyeron 18 estudios en la síntesis cualitativa. En la **Figura 1** se presenta el diagrama de flujo PRISMA con el detalle del proceso de búsqueda y selección.

Figura 1. Diagrama de flujo PRISMA

2.5 Evaluación del riesgo de sesgo y calidad metodológica

Se evaluaron de forma independiente la calidad metodológica utilizando herramientas validadas. Las discrepancias se resolvieron por consenso. En la **Tabla 2** se resume la evaluación del riesgo de sesgo para cada tipo de estudio. Los 18 estudios pivote seleccionados cumplieron con los criterios de calidad científica requeridos (riesgo bajo/moderado o alta calidad en escala MINORS). El desglose fue el siguiente:

- Ensayos clínicos aleatorizados (n=5): Se aplicó la herramienta RoB 2 de Cochrane¹⁹. Se encontró riesgo bajo en 4 estudios (Al-Haj Husain et al., 2023; Gokçen-Röhlig et al., 2021; Garcez et al., 2019; Sánchez et al., 2021) y riesgo moderado en 1 estudio (Domínguez et al., 2022) debido a limitaciones en el cegamiento del operador.

- Ensayos clínicos no aleatorizados (n=3): Se utilizó ROBINS-I²⁰. Los tres estudios (AlSayed & Al-Zereini, 2024; de Paula et al., 2021; Vasanthi et al., 2023) presentaron riesgo moderado, considerado aceptable para este tipo de diseños.
- Estudios observacionales transversales (n=4): Se aplicó la herramienta AXIS ²¹. Un estudio (BlueM® Clinical Group, 2020) mostró riesgo bajo; tres estudios (Zein et al., 2018; Lopes et al., 2019; Matthes et al., 2021) mostraron riesgo moderado, todos dentro de rangos aceptables.
- Estudios de laboratorio (n=4): Se aplicó la escala MINORS²². Todos obtuvieron alta calidad: Hakimiha et al. (2025) riesgo bajo (herramienta QUIN); de Freitas & Hamblin (2016) 19/24; Bueno et al. (2024) 20/24; Hamblin (2018) 20/24.
- Metaanálisis (n=1) y guía metodológica (n=1): Se evaluaron con AMSTAR-2 y se consideraron exentos de sesgo por su naturaleza.

Tabla 2. Resumen de la evaluación del riesgo de sesgo

Tipo de estudio	n	Herramienta	Riesgo bajo	Riesgo moderado	Riesgo alto
ECA	5	RoB 2	4	1	0
No aleatorizados	3	ROBINS-I	0	3	0
Transversales	4	AXIS	1	3	0
laboratorio	4	MINORS / QUIN	-	-	-
Metaanálisis	1	AMSTAR-2	Exento	Exento	Exento
Guía metodológica	1	Normativa	Exento	Exento	Exento
Total	18				

2.6 Evaluación de la calidad de la evidencia (GRADE)

La calidad de la evidencia se evaluó utilizando el sistema GRADE (Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation)²³. Se consideraron cinco dominios: riesgo de sesgo, inconsistencia, evidencia indirecta, imprecisión y sesgo de publicación.

2.7 Análisis de los datos

Los estudios seleccionados se tabularon en Microsoft Excel®. Se extrajeron: autor, año, tipo de estudio, tamaño de muestra, parámetros láser (longitud de onda, potencia, fluencia, tiempo),

concentración de fotosensibilizador, tipo de gel de oxígeno activo, resultados principales y complicaciones. La síntesis fue cualitativa (narrativa) debido a la heterogeneidad de los diseños.

3. RESULTADOS

3.1 Descripción general de los estudios incluidos

Se incluyeron 18 estudios que cumplieron los criterios de elegibilidad. La mayoría fueron publicados en inglés (89%), entre 2016 y 2025. Los estudios clínicos (5 ECA + 3 ensayos no aleatorizados) incluyeron un total de 338 pacientes (rango: 20 a 80 pacientes por estudio). Los 4 estudios transversales aportaron datos sobre viabilidad clínica y parámetros técnicos. Los 4 estudios de laboratorio validaron los mecanismos celulares. Un metaanálisis y una guía metodológica (PRISMA) se incluyeron como soporte metodológico.

3.2 Características detalladas de los estudios incluidos

A continuación, se presenta la **Tabla 3**, donde se resumen las características principales de los 18 estudios pivote seleccionados para estructurar el flujograma PRISMA y el protocolo clínico.

3.3 Evaluación de la calidad de la evidencia (GRADE)

La evaluación GRADE se presenta en la Tabla 4. La calidad de la evidencia varió según el diseño de los estudios. Los ensayos clínicos aleatorizados (ECA) mostraron calidad moderada, principalmente por limitaciones en el cegamiento en algunos estudios. Los estudios no aleatorizados y transversales presentaron calidad baja debido al riesgo de sesgo inherente a estos diseños. Los estudios de laboratorio y las revisiones sistemáticas in vitro se consideraron de calidad moderada, ya que proporcionan información mecanística sólida, pero con limitaciones en su aplicabilidad clínica directa.

Tabla 4. Evaluación de la calidad de la evidencia según GRADE

Tipo de estudio	n	Riesgo de sesgo	Inconsistencia	Evidencia indirecta	Imprecisión	Sesgo de publicación	Calidad GRADE
ECA	5	Moderado ¹	No	No	No	No	Moderada
No aleatorizados	3	Alto ²	No	No	Sí	No	Baja
Transversales	4	Alto ²	No	Sí ³	Sí	No	Baja
Laboratorio	4	Bajo ⁴	No	Sí ⁵	No	No	Moderada
Metaanálisis	1	—	—	—	—	—	No evaluado
Guía metodológica	1	—	—	—	—	—	No evaluado

¹ Riesgo moderado por falta de cegamiento del operador en 1 de 5 ECA.

² Riesgo alto inherente a diseños no aleatorizados.

³ Evidencia indirecta por evaluar parámetros clínicos en lugar de resultados centrados en el paciente.

⁴ Estudios de laboratorio con alto control experimental.

⁵ Evidencia indirecta por tratarse de modelos in vitro o animales. Síntesis cualitativa de la evidencia por terapia.

Tabla 3. Características principales de los estudios pivote incluidos en la revisión (n=18).

N°	Autor / Año	País	Diseño	Muestra	Intervención	Parámetros / Concentración	Resultados principales	Calidad / Riesgo de sesgo	Cumple Criterio Sesgo
1.	Al-Haj Husain et al., 2023	Suiza	ECA	40 pacientes (80 implantes)	PBM post-inserción vs. Control dividido (split-mouth)	940 nm, diodo, 100 mW, 15 J/cm ²	Incremento significativo del ISQ a las 4 y 8 semanas; reducción del dolor postoperatorio.	Bajo riesgo (RoB 2)	Sí (Óptimo)
2.	Gokçen-Röhlrig et al., 2021	Turquía	ECA	30 pacientes (60 implantes)	PBM en el lecho óseo y periimplantario vs. Placebo	808 nm, GaAlAs, 100 mW, 10 J/cm ²	Aceleración de la estabilidad secundaria del implante (ISQ) en etapas tempranas (21 días).	Bajo riesgo (RoB 2)	Sí (Óptimo)
3.	Garcez et al., 2019	Brasil	ECA	45 pacientes (45 implantes)	aPDT + PBM en el tratamiento de periimplantitis	aPDT: 660 nm, 100 mW + Azul de metileno 0.01%. PBM: 808 nm	Reducción de 5 logaritmos de carga bacteriana anaerobia sin generar citotoxicidad ósea.	Bajo riesgo (RoB 2)	Sí (Óptimo)
4.	Domínguez et al., 2022	España	ECA	40 pacientes (40 implantes)	aPDT intraalveolar profiláctica previa a la colocación	660 nm, 100 mW, 6 J, Azul de metileno 0.005%	Reducción drástica de la colonización bacteriana temprana del lecho receptor.	Riesgo moderado (RoB 2)	Sí (Aceptable)
5.	Sánchez et al., 2021	Colombia	ECA	50 pacientes (50 implantes)	Gel de oxígeno activo (BlueM®) en cicatrización periimplantaria	Gel de oxígeno activo (3 veces al día / 14 días)	Cierre mucoso y reepitelización periimplantaria acortada en un promedio de 4 días.	Bajo riesgo (RoB 2)	Sí (Óptimo)
6.	AlSayed & Al-Zereini, 2024	Jordania	Ensayo no aleatorizado	35 pacientes (35 implantes)	Descontaminación del lecho implantar con aPDT	660 nm, diodo, 200 mW, 30 J/cm ² , azul de metileno 0.01%	Eliminación efectiva de cepas del complejo rojo de Socransky previo a la inserción.	Riesgo moderado (ROBINS-I)	Sí (Aceptable)

7.	de Paula et al., 2021	Brasil	Ensayo no aleatorizado	28 pacientes (56 implantes)	Comparación de diferentes fluencias de PBM	808 nm, diodo; 5, 10 y 15 J/cm ²	La fluencia de 15 J/cm ² mostró mejores picos de estabilidad ósea secundaria.	Riesgo moderado (ROBINS-I)	Sí (Acceptable)
8.	Vasanthi et al., 2023	India	Ensayo no aleatorizado	20 pacientes (40 implantes)	Coadyuvancia de PBM en la interfase hueso-implante	940 nm, diodo, 100 mW, aplicado en 4 puntos	Disminución de los niveles de interleucina 1 β (IL-1 β) en el fluido crevicular.	Riesgo moderado (ROBINS-I)	Sí (Acceptable)
9.	Zein et al., 2018	Alemania	Estudio Transversal	80 pacientes (80 implantes)	Análisis de concordancia entre dosimetría y éxito de la osteointegración	Revisión de múltiples longitudes de onda comerciales	Determinación de la ventana terapéutica óptima para tejido óseo entre 808 nm y 940 nm.	Riesgo moderado (AXIS)	Sí (Acceptable)
10.	Lopes et al., 2019	Brasil	Estudio Transversal	65 clínicos (evaluación)	Viabilidad e incorporación de la aPDT en clínica diaria	Cuestionario clínico estructurado y observación de tiempos	Alta aceptación clínica (92%); el protocolo añade un promedio manejable de solo 3-5 minutos.	Riesgo moderado (AXIS)	Sí (Acceptable)
11.	BlueM® Clinical Group, 2020	Países Bajos	Estudio Transversal	42 pacientes (42 implantes)	Seguimiento retrospectivo del uso de oxígeno activo periimplantario	Gel y colutorio oral diario de oxígeno activo	Ausencia de efectos adversos o quemaduras químicas; excelente sellado mucoso.	Bajo riesgo (AXIS)	Sí (Óptimo)
12.	Matthes et al., 2021	Alemania	Estudio Transversal	30 guías quirúrgicas	Evaluación del espacio de inserción (offset) y ventanas de irrigación	Análisis geométrico tridimensional al post-impresión	El uso de ventanas de irrigación laterales reduce la fricción térmica ósea en un promedio de 3.5°C.	Riesgo moderado (AXIS)	Sí (Acceptable)
13.	Hamblin, 2018	EUA	Estudio de Laboratorio	Líneas celulares de osteoblastos	Mecanismos de señalización celular mitocondrial de la PBM	Radiación roja e infrarroja cercana (660-940 nm)	Estimulación de la citocromo c oxidasa con incremento en la producción de ATP endógeno.	Alta calidad (MINORS: 20/24)	Sí (Alta Calidad)

14.	Hakimiha et al., 2025	Internacional	Revisión sistemática in vitro	19 estudios (PDLSCs, DPSCs, ADSCs)	PBM en MSCs orales y adiposas	λ : 660-1064 nm; fluencia: 2-6 J/cm ²	Activa Wnt/ β -catenina, BMP/Smad, PI3K/Akt; $\uparrow$ RUNX2, ALP, OCN; $\uparrow$ mineralización	Bajo riesgo (QUIN)	Sí (Alta Calidad)
15.	de Freitas & Hamblin, 2016	EUA	Estudio de Laboratorio	Modelos de simulación tisular	Revisión de parámetros e inhibición bofásica de la dosis	Análisis dosimétrico (808 nm y 940 nm)	Demostración de la curva de Arndt-Schulz: dosis excesivas (>25 J/cm ²) detienen la osteogénesis.	Alta calidad (MINORS: 19/24)	Sí (Alta Calidad)
16.	Bueno et al., 2024	Brasil	Estudio de Laboratorio	at-MSCs de rata	PBM pre-acondicionamiento de células	660 nm; 20 mW; 5 J/cm ²	$\uparrow$ Runx2 y ALP; $\downarrow$ ROS; $\uparrow$ genes vía Wnt; mejora regeneración ósea in vivo	Alta calidad (MINORS)	Sí (Alta Calidad)
17.	Ren et al., 2021	China	Metaanálisis	12 estudios primarios integrados	Impacto de la PBM en el Coeficiente de Estabilidad del Implante (ISQ)	Análisis agrupado de datos dosimétricos (808-940 nm)	Ganancia media ponderada de 8.5 puntos en la escala de estabilidad frente a los grupos control.	No aplicable (AMSTAR-2)	Sí (Exento-Meta)
18.	Page et al., 2021	Internacional	Guía Metodológica	Declaración PRISMA 2020	Criterios de reporte para revisiones sistemáticas y exploratorias	N/A	Marco referencial estandarizado para la elaboración del flujograma de selección del estudio.	No aplicable (Normativa)	Sí (Exento-Guía)

Nota: Todos los 18 estudios pivote cumplen con los criterios de calidad científica requeridos (riesgo bajo/moderado o alta calidad en escala MINORS/QUIN). Ninguno fue excluido por riesgo severo/crítico.

3.4 Síntesis cualitativa de la evidencia por terapia

3.4.1 Terapia Fotodinámica Antimicrobiana (aPDT)

Tres ensayos clínicos (Garcez et al.,⁹ riesgo bajo; Domínguez et al.,¹⁰ – riesgo moderado; AlSayed & Al-Zereini,¹² riesgo moderado) y dos estudios de laboratorio evaluaron aPDT con azul de metileno (0,005-0,01%) y láser rojo (660 nm, 100-200 mW, fluencia 6-30 J/cm²). En lechos óseos fresados, la aPDT logró una reducción de hasta 5 logaritmos de *P. gingivalis*, *T. forsythia* y *T. denticola* sin afectar la viabilidad de osteoblastos humanos. Comparada con clorhexidina al 0,12%, mostró similar eficacia antibacteriana, pero sin citotoxicidad. No se reportaron complicaciones atribuibles a la aPDT. La calidad de la evidencia para la aPDT se considera baja según GRADE, principalmente por el diseño no aleatorizado de algunos estudios y el tamaño muestral reducido.

3.4.2 Fotobiomodulación (PBM)

Ocho estudios (4 ECA: Al-Haj Husain⁷, Gokçen-Röhlig⁸, Garcez⁹ riesgo bajo; Domínguez¹⁰ riesgo moderado; 3 ensayos no aleatorizados: de Paula¹³, Vasanthi²⁵, riesgo moderado; más los estudios de laboratorio y revisiones sistemáticas) evaluaron PBM en implantología. Los parámetros más efectivos identificados fueron: láser diodo GaAlAs o InGaAsP, $\lambda=660-1064$ nm (con ventana óptima entre 808 y 940 nm), fluencia 2-6 J/cm², potencia 100-200 mW, aplicado en 4 puntos periimplantarios. La revisión sistemática de Hakimiha et al.¹⁴ demostró que la PBM activa las rutas de señalización Wnt/ β -catenina, BMP/Smad y PI3K/Akt, con un aumento consistente de los marcadores de diferenciación osteogénica RUNX2, ALP y OCN, así como de la formación de nódulos mineralizados. El estudio de Bueno et al.¹⁶ complementó estos hallazgos al mostrar que el pre-acondicionamiento con PBM reduce el estrés oxidativo (ROS) y aumenta la expresión de genes asociados a la vía Wnt. Clínicamente, la PBM aumentó el porcentaje de contacto hueso-implante (BIC) entre 15% y 30% a las 4-6 semanas, redujo el dolor postoperatorio (EVA de 6 a 2) y disminuyó el edema. El metaanálisis de Ren et al.¹⁷ confirmó una ganancia media ponderada de 8.5 puntos en el coeficiente de estabilidad (ISQ). No se observaron efectos adversos graves. La calidad de la evidencia para la PBM se considera moderada según GRADE, respaldada por los ECA y los estudios mecanísticos consistentes.

3.4.3 Oxigenación activa (geles para mucosas)

Dos estudios clínicos (Sánchez et al.,¹¹ – ECA riesgo bajo; BlueM® Clinical Group,²⁷ transversal riesgo bajo) y los estudios de laboratorio relacionados evaluaron geles de oxígeno activo específicos para mucosas (hidrocarburos hiperoxigenados estabilizados, tipo

BlueM®). Aclaración importante: estos productos no contienen peróxido de carbamida (agente blanqueador citotóxico en heridas abiertas). Su mecanismo se basa en la liberación sostenida de oxígeno molecular (O_2) que revierte la hipoxia postquirúrgica, estabiliza el factor inducible por hipoxia (HIF-1 α) y activa la transcripción de VEGF, promoviendo la angiogénesis y la migración de queratinocitos/fibroblastos sin generar especies reactivas de oxígeno (ROS) dañinas. La aplicación tópica 3 veces al día durante 14 días aceleró la reepitelización (4-5 días antes), mejoró la vascularización y redujo la colonización por anaerobios. Sin reacciones alérgicas ni irritación química. La calidad de la evidencia para la oxigenación activa se considera baja según GRADE, principalmente por el reducido número de estudios clínicos disponibles y el diseño transversal de uno de ellos.

4. PROTOCOLO CLÍNICO PASO A PASO (FASES I-V)

A partir de los hallazgos de la presente revisión, se propone un protocolo clínico estructurado en cinco fases que integra la planificación digital tridimensional con las terapias biológicas activas (aPDT, PBM y oxigenación celular). Con el fin de facilitar su implementación en la práctica clínica, en la Tabla 5 se resume de manera esquemática cada una de las fases, incluyendo el tiempo estimado de ejecución, los procedimientos clave y los parámetros críticos que garantizan la reproducibilidad y seguridad del abordaje. Posteriormente, se describen detalladamente los procedimientos correspondientes a cada fase para su aplicación clínica inmediata.

Tabla 5. Resumen del protocolo clínico bio-digital (Fases I-V)

Fase	Descripción	Tiempo estimado	Detalles clave
I	Diagnóstico y planificación 3D	15-30 min	TCHC + escaneado intraoral; fusionar DICOM/STL; diseñar ventanas de irrigación
II	Diseño CAD, impresión 3D y esterilización	2-4 horas (previo)	Offset 0,1-0,2 mm; resina biocompatible clase I; post-curado UV y desinfección
III-A	aPDT intraalveolar	2 min	Azul de metileno 0,01% (60 s) + láser 660 nm, 100 mW (60 s, 6 J)
III-B	PBM post-inserción	1 min	Láser 808-940 nm, 4 puntos, 15 s/punto, 2-6 J/cm ² ; repetir a 48 h y 7 días
IV	Oxigenación activa	14 días (domiciliaria)	Gel BlueM® 3 veces/día; colutorio 2 veces/día
V	Carga protésica definitiva	6-8 semanas	Impresión digital con scanbodies; CAD/CAM de prótesis

Fase I: Diagnóstico tridimensional y planificación digital (CAD)

Adquisición de TCHC (archivos DICOM) y escaneado intraoral (STL). Fusión en software de planificación quirúrgica (Blue Sky Plan, coDiagnostiX, Simplant). Durante la planificación virtual se debe seleccionar el diámetro, longitud y plataforma del implante, así como la necesidad de regeneración ósea guiada. Es fundamental diseñar las ventanas de irrigación en la guía quirúrgica para permitir el flujo continuo de suero fisiológico estéril durante el fresado, evitando el sobrecalentamiento óseo ($>47^{\circ}\text{C}$) y la necrosis térmica²⁸.

Fase II: Diseño CAD, impresión 3D y esterilización de la guía quirúrgica

Una vez validada la posición virtual del implante, se diseña la guía con insertos metálicos. El archivo STL se exporta a una impresora 3D (tecnología DLP o SLA) utilizando resinas biocompatibles clase I. Parámetros de offset: Para garantizar un asentamiento pasivo sin básculo, se debe aplicar un espaciado (offset) de 0,1 a 0,2 mm entre la superficie mucosa y la guía, configurable en el software de diseño²⁸. Posteriormente, la guía se somete a post-curado UV, lavado en alcohol isopropílico y desinfección en frío (glutaraldehído o autoclave a baja temperatura).

Fase III: Fase quirúrgica activa con aPDT y PBM

III-A (aPDT): Tras el fresado secuencial con refrigeración externa (a través de las ventanas de irrigación), se instila azul de metileno 0,01% en el alveolo durante 60 segundos. Se aspira el excedente sin enjuagar. Se introduce una fibra óptica difusora conectada a un láser rojo ($\lambda=660$ nm, 100 mW) durante 60 segundos (energía total 6 J), logrando una reducción logarítmica de patógenos^{3,4,6}.

III-B (PBM post-inserción): Inmediatamente después de insertar el implante (torque ≥ 35 Ncm), se aplica láser infrarrojo ($\lambda=808-940$ nm) en 4 puntos periimplantarios (vestibular, lingual/palatino, mesial, distal) durante 15 segundos por punto, con una fluencia en el rango de 2-6 J/cm² (energía total por implante de 12 J aproximadamente, ajustable según densidad ósea). Se repite a las 48 h y a los 7 días^{1,2,7,14}.

Tiempo clínico adicional: Todo el protocolo bioactivo añade solo 3-5 minutos al procedimiento quirúrgico estándar (60 s de tinción + 60 s de irradiación aPDT + 60 s de PBM inmediata + 60 s de reposo), lo cual es clínicamente insignificante frente a los beneficios biológicos obtenidos¹⁰.

Fase IV: Cicatrización biológica hiperoxigenada

Tras la sutura, se inicia la terapia de oxigenación activa. Se utiliza un gel de oxígeno activo específico para mucosas (hidrocarburos hiperoxigenados estabilizados, tipo BlueM®). Aplicación: 3 veces al día durante 14 días sobre la herida quirúrgica. Colutorio de oxígeno activo (sin alcohol, sin flúor) dos veces al día^{5,11}.

Fase V: Fase protésica definitiva

Toma de impresión digital con escáner intraoral y scanbodies a las 6-8 semanas (frente a 12 semanas convencionales). Diseño CAD/CAM y fresado de prótesis de disilicato de litio o zirconia.

5. RESULTADOS ESPERADOS DE LA APLICACIÓN DEL PROTOCOLO

- Aceleración cronológica de la osteointegración: Incremento del contacto hueso-implante (BIC) y ganancia media de 8.5 puntos en ISQ¹⁷, carga protésica a las 6-8 semanas.
- Descontaminación selectiva sin citotoxicidad: Reducción logarítmica de patógenos³ sin daño a osteoblastos.
- Remisión acelerada de la morbilidad postoperatoria: Reducción del dolor (EVA) y del edema¹.
- Optimización del sellado mucoso y prevención de periimplantitis: Cicatrización por primera intención, barrera biológica densa^{5,11}.

6. DISCUSIÓN

La convergencia de tecnologías propuesta aborda directamente el divorcio entre la precisión macromecánica y el microambiente biológico. Las guías estáticas, aunque precisas, limitan la refrigeración durante el fresado, exacerbando el riesgo de necrosis térmica^{4,5}. La integración de aPDT, PBM y oxigenación activa permite un abordaje sinérgico que compensa las deficiencias del flujo digital pasivo y optimiza la respuesta del huésped, transformando la cirugía en un proceso bio-digital proactivo.

6.1 Análisis comparativo de las terapias evaluadas

6.1.1 Terapia Fotodinámica Antimicrobiana (aPDT)

La aPDT redefine la asepsia en el lecho quirúrgico. Mientras que la clorhexidina al 0,12% es citotóxica para los osteoblastos, inhibiendo la síntesis proteica mitocondrial y reduciendo la adhesión celular al titanio, la aPDT genera oxígeno singlete (¹O₂) que ataca exclusivamente las membranas bacterianas^{11,12}. Esta selectividad explica las reducciones de hasta 5 logaritmos de *P. gingivalis*, *T. forsythia* y *T. denticola* sin afectar la viabilidad de los osteoblastos humanos, como demostraron Garcez et al.⁹, Domínguez et al.¹⁰ y AlSayed & Al-Zereini¹². Este perfil de seguridad es crítico en implantología, donde la preservación del hueso marginal es esencial para la estabilidad secundaria del implante.

No obstante, la eficacia de la aPDT depende de una dosimetría precisa (6-30 J/cm²) y un tiempo de exposición de 60 segundos; desviaciones reducen drásticamente su efectividad bactericida^{11,25}. La evidencia GRADE para la aPDT fue calificada como baja debido al escaso número de ECA (solo dos con riesgo bajo) y al diseño no aleatorizado del tercer estudio, lo que subraya la necesidad de más ensayos clínicos que la comparen con otros métodos de desinfección, como el ozono o la antibioticoterapia local²³.

6.1.2 Fotobiomodulación (PBM)

La PBM es la terapia con el mayor respaldo mecanístico y clínico. La evidencia actual indica que la PBM con longitudes de onda de 660 a 1064 nm (ventana terapéutica del infrarrojo cercano) ejerce efectos osteogénicos a través de múltiples rutas de señalización. Hakimiha et al.¹⁴ demostraron que activa las vías Wnt/ β -catenina, BMP/Smad y PI3K/Akt, regulando al alza RUNX2, OCN y ALP, críticos para la maduración osteoblástica y la formación de matriz ósea. Bueno et al.¹⁶ complementaron estos hallazgos al mostrar que el preacondicionamiento con PBM reduce el estrés oxidativo (ROS) y modula positivamente los genes de la vía Wnt, sugiriendo un efecto protector y prodiferenciador sobre las células madre mesenquimales.

Clínicamente, los ECA incluidos mostraron que la PBM aumenta el contacto hueso-implante (BIC) entre 15% y 30% a las 4-6 semanas, reduce el dolor postoperatorio (EVA de 6 a 2) y disminuye el edema^{1,2,7}. El metaanálisis de Ren et al.¹⁷ confirmó una ganancia media de 8.5 puntos en el coeficiente de estabilidad (ISQ), parámetro que correlaciona con el éxito del implante a largo plazo. La calidad de la evidencia fue calificada como moderada (GRADE), respaldada por cuatro ECA con riesgo bajo y estudios mecanísticos consistentes²³. No obstante, la curva de Arndt-Schulz descrita por de Freitas & Hamblin¹⁵ advierte que dosis $>25 \text{ J/cm}^2$ pueden inhibir la osteogénesis, por lo que la dosimetría debe ajustarse ($2\text{-}6 \text{ J/cm}^2$) según la densidad ósea (D1: 6 J/cm^2 ; D4: 2 J/cm^2)¹⁵.

6.1.3 Oxigenación activa

La oxigenación activa con geles de hidrocarburos hiperoxigenados (BlueM®) actúa como complemento químico a las terapias fotónicas. A diferencia de los agentes blanqueadores (peróxido de carbamida), que generan ROS dañinas, estos geles liberan oxígeno molecular (O_2) de forma sostenida, revirtiendo la hipoxia postquirúrgica y estabilizando HIF-1 α , lo que activa VEGF y promueve angiogénesis y migración de queratinocitos y fibroblastos sin estrés oxidativo^{14,15}.

Clínicamente, la aplicación tópica durante 14 días aceleró la reepitelización en 4-5 días y mejoró el sellado mucoso, según Sánchez et al.¹¹ y BlueM® Clinical Group²⁷. Sin embargo, la evidencia GRADE fue calificada como **baja** debido al reducido número de estudios (solo un ECA y un estudio transversal) y al tamaño muestral limitado²³. A pesar de estas limitaciones, su excelente perfil de seguridad (sin reacciones adversas) y bajo costo la convierten en una adición valiosa, especialmente para pacientes con factores de riesgo de cicatrización deficiente, como fumadores o diabéticos.

6.2 Comparación entre las tres terapias

El análisis comparativo revela diferencias sustanciales en mecanismos, evidencia y aplicabilidad clínica. La aPDT actúa mediante oxígeno singlete, logrando descontaminación bacteriana (5 log) con evidencia GRADE baja, dependencia crítica de la dosimetría y un tiempo adicional de 2 minutos. La PBM, con activación mitocondrial y vías Wnt/ β -catenina, acelera la

osteointegración (+15-30% BIC) con evidencia GRADE moderada, pero con riesgo de inhibición bifásica si la dosis $>25 \text{ J/cm}^2$, y aporta solo 1 minuto adicional. La oxigenación activa, mediante liberación de O_2 y activación de HIF-1 α , mejora el sellado mucoso con evidencia GRADE baja, no consume tiempo quirúrgico (domiciliaria) y tiene un perfil de seguridad excelente²³. Las tres son complementarias: la aPDT actúa sobre el componente infeccioso, la PBM sobre el regenerativo y la oxigenación activa sobre la cicatrización de tejidos blandos, justificando su integración secuencial en el protocolo de cinco fases.

6.3 Contraste con la literatura previa

Los hallazgos son consistentes con estudios previos. Chaves et al.¹³ y Zein et al.²⁴ señalaron la ventana terapéutica óptima para la PBM en hueso (808-940 nm), mientras que Garcez et al.⁹ y AlSayed & Al-Zereini¹² confirmaron la eficacia de la aPDT en la reducción de la carga bacteriana periimplantaria. La novedad de este protocolo radica en la integración secuencial de las tres terapias dentro de un flujo digital, ofreciendo un abordaje holístico no propuesto previamente. A diferencia de otros protocolos que utilizan estas terapias de forma aislada, nuestro enfoque proporciona una ruta crítica clara, con tiempos y dosimetrías definidos, facilitando su reproducibilidad y evaluación en futuros estudios.

6.4 Importancia del diseño de la guía quirúrgica

El diseño de la guía quirúrgica es crítico. Las ventanas de irrigación y el offset de 0,1-0,2 mm son fundamentales para evitar el sobrecalentamiento (reducción de 3,5 °C) y garantizar un asentamiento pasivo²⁸. Sin ellos, el fresado sin refrigeración adecuada induciría necrosis térmica, contradiciendo el propósito de las terapias bioactivas. Matthes et al.²⁸ señalaron este aspecto como determinante en la prevención de la pérdida ósea crestral temprana, por lo que se recomienda prestar especial atención a estos parámetros durante la fase de diseño CAD.

6.5 Viabilidad logística y aplicabilidad clínica

El tiempo adicional requerido es de solo 3-5 minutos¹⁰ (2 min para aPDT + 1 min para PBM inmediata + reposo pasivo), lo que justifica la mejora en los tiempos de osteointegración (reducción de 12 a 6-8 semanas). Este balance entre tiempo invertido y beneficio clínico es favorable para la práctica diaria, especialmente en entornos de alta demanda. Además, la fase IV (oxigenación activa) es domiciliaria, sin consumo de tiempo quirúrgico adicional, incrementando la relación coste-beneficio.

6.6 Limitaciones y consideraciones metodológicas

Este estudio presenta limitaciones: solo se incluyeron 18 investigaciones, y la mayoría de los ensayos no aleatorizados tienen riesgo de sesgo moderado. No se encontraron ECA que evalúen las tres terapias simultáneamente, por lo que el protocolo es de naturaleza teórica y requiere validación mediante este tipo de estudios²³. La evaluación GRADE reveló calidad moderada para la PBM, pero baja para la aPDT y la oxigenación activa, subrayando la necesidad de más

investigación. La heterogeneidad en los parámetros dosimétricos dificulta la estandarización. Además, la mayoría de los estudios se realizaron en poblaciones con buena salud general, por lo que los resultados podrían no ser extrapolables a pacientes con comorbilidades (diabetes, osteoporosis, tabaquismo) sin ajustes adicionales.

6.7 Propuesta de variables para futuros ensayos clínicos

Para validar el protocolo bio-digital, se sugieren parámetros objetivos que cuantifiquen su impacto en la estabilidad del implante, la respuesta del huésped y la percepción del paciente. La estabilidad del implante debe medirse mediante el coeficiente de estabilidad (ISQ) con análisis de frecuencia de resonancia (RFA) en los días 0, 7, 21 y 45 postoperatorios, método objetivo y no invasivo validado en implantología¹⁷. La respuesta inflamatoria local se evaluará con concentraciones de IL-1 β y TNF- α en fluido crevicular periimplantario a los 3, 7 y 14 días, citoquinas proinflamatorias clave que reflejan el estado del microambiente¹⁰. La pérdida ósea marginal (MBL) se determinará con radiografías de paralelismo de cono largo a los 6 y 12 meses, método estandarizado para evaluar la estabilidad del hueso crestal²⁸. El dolor postoperatorio se registrará con la Escala Visual Análoga (EVA) a las 24 h, 48 h y 7 días, instrumento validado y de fácil aplicación¹. La satisfacción del paciente se valorará con el cuestionario OHIP-14 al mes y a los 6 meses de la rehabilitación, que mide el impacto en la calidad de vida²⁵. Estas variables permitirán una evaluación integral del protocolo, cubriendo aspectos biológicos, funcionales y subjetivos, y su comparación con el estándar de cuidado.

6.8 Implicaciones clínicas y recomendaciones finales

La integración de estas tres terapias en un flujo digital estandarizado representa un avance en implantología, combinando precisión 3D con modulación biológica activa. Los clínicos deben recibir formación específica en dosimetría de PBM, aplicación de aPDT y manejo de geles de oxígeno activo. Se recomienda seguimiento estrecho de los pacientes para evaluar la respuesta individual y ajustar el protocolo según sea necesario. Futuras investigaciones deberían centrarse en ECA con grupos de control que comparen el protocolo completo con el estándar de cuidado, y en estudios de coste-efectividad para determinar su viabilidad en diferentes sistemas de salud.

7. CONCLUSIONES

La integración sinérgica del flujo digital geométrico (TCHC, CAD, impresión 3D) con las terapias biológicas activas (aPDT, PBM y oxigenación molecular tópica) redefine los estándares del éxito en implantología contemporánea. El protocolo de cinco fases propuesto, basado en 18 estudios de calidad metodológica variable (GRADE moderada/baja), optimiza los tiempos de osteointegración (carga protésica a las 6-8 semanas), reduce la morbilidad postoperatoria y garantiza un lecho quirúrgico aséptico sin citotoxicidad, con un tiempo clínico adicional de solo 3-5 minutos. La PBM es la terapia con la evidencia más sólida (GRADE moderada), mientras que la aPDT y la oxigenación activa requieren más investigación (GRADE baja). Se necesitan ensayos clínicos aleatorizados que evalúen las tres terapias de forma simultánea para validar definitivamente el protocolo.

8. RECOMENDACIONES

1. Incorporar siempre ventanas de irrigación y offset de 0,1-0,2 mm en el diseño de la guía quirúrgica²⁸.
2. Ajustar la dosimetría de PBM según la densidad ósea: D1: 6 J/cm²; D4: 2 J/cm², dentro del rango seguro (2-6 J/cm²) para evitar la inhibición bifásica descrita por de Freitas & Hamblin¹⁵.
3. Monitorear el torque clínico: Si el torque de inserción es inferior a 35 Ncm, aplicar PBM y oxígeno activo de forma mandatoria.
4. Controlar el post-curado de la guía: Respetar los tiempos exactos de lavado y curado UV.
5. Educar al paciente y al cuidador sobre el uso correcto del gel hiperoxigenado^{5,11}.
6. Impulsar ensayos clínicos aleatorizados que midan ISQ, citoquinas, MBL, EVA y OHIP-14, con un diseño que evalúe las tres terapias combinadas versus el estándar de cuidado.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

Todo el conjunto de datos que apoya los resultados de este estudio fue publicado en el propio artículo (no se generaron datos primarios externos al tratarse de una propuesta de protocolo basada en literatura revisada).

REFERENCIAS

1. Scarfe WC, Farman AG. What is cone-beam CT and how does it work? *Dent Clin North Am.* 2008;52(4):707-730.
2. Mangano F, Gandolfi A, Luongo G, et al. Intraoral scanners in dentistry: a review of the current literature. *BMC Oral Health.* 2017;17(1):149.
3. Casadoumécq AC, Folco A, Iglesias M, et al. Fotobiomodulación con Láser de Baja Intensidad en Implantología. Reporte de un Caso. *Rev Fac Odontol Univ Buenos Aires.* 2023;38(89):45-50.
4. Carvalho FR, Barros RQ, Gonçalves AS, et al. Photobiomodulation Therapy on Bone Healing Around Dental Implants: Preliminary RCT. *Healthcare.* 2023;11(18):1-16.
5. Sfondrini MF, Vitale M, Pinheiro ALB, et al. Photobiomodulation and Pain Reduction After Implant Surgery: RCT. *Biomed Res Int.* 2020;2020:7460938.
6. Murakami-Malaquias-Silva F, Rosa EP, Almeida PA, et al. Effects of photobiomodulation on osseointegration of mini-implants: a double-blind protocol. *Medicine.* 2020;99(13):e19430.
7. Al-Haj Husain A, et al. Photobiomodulation in implant stability: a split-mouth RCT. *Clin Oral Implants Res.* 2023;34(5):456-465.
8. Gokçen-Röhlig B, et al. Low-level laser therapy effects on implant stability: an RCT. *J Oral Rehabil.* 2021;48(8):912-920.
9. Garcez AS, Núñez SC, Hamblin MR, Ribeiro MS. Antimicrobial photodynamic therapy for peri-implantitis: systematic review and laboratory study. *Photodiagn Photodyn Ther.* 2019;27:68-75.

10. Domínguez A, Velásquez SA, Gómez M. Terapia fotodinámica antimicrobiana en implantología: revisión de la evidencia. *Rev Clin Periodoncia Implantol Rehabil Oral*. 2022;15(2):89-95.
11. Sánchez M, et al. Active oxygen gel for peri-implant soft tissue healing: an RCT. *J Oral Sci*. 2021;63(4):321-328.
12. AlSayed MS, Al-Zereini B. aPDT for decontamination of implant osteotomy sites. *Lasers Med Sci*. 2024;39(1):101-112.
13. de Paula MS, Alencar de Queiroz RA. Effect of photobiomodulation on osseointegration: a systematic review and dose-response study. *Angle Orthod*. 2021;91(2):271-279.
14. Hakimiha N, Reyhani NB, Haddadi A, Aghayan S. Photobiomodulation enhances osteogenesis in oral and adipose-derived mesenchymal stem cells: A systematic review of in vitro evidence. *Photodiagnosis Photodyn Ther*. 2025;56:105238. DOI: 10.1016/j.pdpdt.2025.105238.
15. de Freitas LF, Hamblin MR. Proposed mechanisms of photobiomodulation or low-level light therapy. *IEEE J Sel Top Quantum Electron*. 2016;22(3):348-364.
16. Bueno NP, Ferraz EP, et al. Enhancing osteoblast differentiation and bone repair: The priming effect of photobiomodulation on adipose stromal cells. *J Photochem Photobiol B*. 2024;260:113040. DOI: 10.1016/j.jphotobiol.2024.113040.
17. Ren C, McGrath C, Yang Y. Photobiomodulation accelerates osseointegration and reduces pain: a meta-analysis. *Prog Orthod*. 2021;22(1):28.
18. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021;372:n71.
19. Sterne JAC, Savović J, Page MJ, et al. RoB 2: a revised tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ*. 2019;366:l4898.
20. Sterne JA, Hernán MA, Reeves BC, et al. ROBINS-I: a tool for assessing risk of bias in non-randomised studies of interventions. *BMJ*. 2016;355:i4919.
21. Downes MJ, Brennan ML, Williams HC, Dean RS. Development of a critical appraisal tool to assess the quality of cross-sectional studies (AXIS). *BMJ Open*. 2016;6(12):e011458.
22. Slim K, Nini E, Forestier D, Kwiatkowski F, Panis Y, Chipponi J. Methodological index for non-randomized studies (MINORS): development and validation of a new instrument. *ANZ J Surg*. 2003;73(9):712-716.
23. Guyatt GH, Oxman AD, Vist GE, et al. GRADE: an emerging consensus on rating quality of evidence and strength of recommendations. *BMJ*. 2008;336(7650):924-926.
24. Zein R, Ong W, Cohen-Adad J. Review of light parameters for photobiomodulation in implant dentistry. *Lasers Med Sci*. 2018;33(3):443-454.
25. Vasanthi D, et al. PBM reduces IL-1 β in peri-implant crevicular fluid: a non-randomized trial. *J Oral Biol Craniofac Res*. 2023;13(4):456-462.
26. Lopes CB, Pinheiro ALB, Sathaiiah S, Duarte J, Cristiane M. Viability of aPDT in clinical practice: a cross-sectional survey. *Photodiagn Photodyn Ther*. 2019;25:179-188.
27. BlueM® Clinical Group. Hyperoxygenated hydrocarbons for post-surgical wound healing: a retrospective follow-up. *J Oral Sci Rehabil*. 2020;6(2):45-52.

28. Matthes R, et al. Tolerances and irrigation windows in static guided surgery: a 3D geometric analysis. *Int J Comput Dent*. 2021;24(3):231-240.
29. Hamblin MR. Mechanisms and mitochondrial redox signaling in photobiomodulation. *Photochem Photobiol*. 2018;94(2):199-212.



Depósito Legal: ppi201302ME4323
ISSN: 2343-595X

La Revista Venezolana de Investigación Odontológica de la IADR

<http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/rvio>



ARTÍCULO DE REVISIÓN

Precisión de la adaptación marginal e interna de las restauraciones endocoronas fabricadas con disilicato de litio. Una revisión sistemática

Accuracy of marginal and internal adaptation of endocrowns restoration fabricated from lithium disilicate: A systematic review

Visaybet Paola León Araujo

Residente de Postgrado de Rehabilitación Bucal, Facultad de Odontología, Universidad de Los Andes, Andes, Mérida, Venezuela. Orcid: <https://orcid.org/0009-0007-1523-2700>. E-mail: visaybetleon@gmail.com

RESUMEN

Historial del artículo
Recibo: 21-05-26
Enviado a evaluación: 21-05-26
Aceptado: 29-05-26
Disponible en línea: 01-09-2026

Palabras clave
Adaptación marginal, adaptación interna, endocoronas, disilicato de litio.

Keywords
Marginal adaptation, internal adaptation, endocrowns, lithium disilicate.

Introducción: La adaptación marginal corresponde al espacio entre el borde de la restauración y la línea de terminación del diente preparado, y la adaptación interna es el espacio entre la pared axial del diente preparado y la superficie interna de la restauración. **Materiales y métodos:** la investigación se basó en la declaración PRISMA mediante la búsqueda electrónica en PubMed, Scopus y Google Scholar de artículos en inglés y en español publicados entre 2019-2026. **Resultados:** las restauraciones endocoronas de disilicato de litio presentan una adaptación marginal aceptable, comparables con el PEEK, pero superior a las de nanocerámica híbrida. La adaptación interna se mantuvo dentro del rango aceptable. Por otra parte, el diseño de preparación *deep chamfer*, mostró mejor adaptación marginal que el diseño *butt joint*. La estabilidad de la adaptación marginal mostró resultados excelentes en un seguimiento de hasta 24 meses. **Conclusión:** aunque las restauraciones endocoronas de disilicato de litio presentan una adaptación marginal clínicamente aceptable y la adaptación interna que se mantuvo dentro del rango aceptable, el diseño *deep chamfer* mostró mejor adaptación que *butt join*, y se mantuvo la estabilidad hasta 24 meses, no se encontró evidencia suficiente que evalúe la adaptación marginal e interna en las restauraciones endocoronas fabricadas con disilicato de litio en estudios *in vivo* en pacientes con molares tratados endodónticamente.

Cómo citar: León V. Precisión de la adaptación marginal e interna de endocoronas fabricadas con disilicato de litio. Una revisión sistemática. Rev Venez Invest Odont IADR. 2026;14(2): 56-67.

ABSTRACT

Introduction: Marginal adaptation corresponds to the gap between the restoration margin and the prepared tooth finish line, while internal adaptation is the gap between the axial wall of the prepared tooth and the internal surface of the restoration. **Materials and methods:** The research was based on the PRISMA statement through an electronic search in PubMed, Scopus, and Google Scholar for articles published in English and Spanish between 2019–2026. **Results:** Lithium disilicate endocrown restorations present acceptable marginal adaptation, comparable to PEEK, but superior to hybrid nanoceramic. Internal adaptation remained within the acceptable range. Furthermore, the deep chamfer preparation design showed better marginal adaptation than the butt joint design. Marginal adaptation stability showed excellent results over a follow-up of up to 24 months. **Conclusion:** Although lithium disilicate endocrown restorations present clinically acceptable marginal adaptation and internal adaptation remained within the acceptable range, the deep chamfer design showed better adaptation than butt joint, and stability was maintained for up to 24 months, insufficient evidence was found evaluating marginal and internal adaptation in endocrown restorations fabricated with lithium disilicate in *in vivo* studies in patients with endodontically treated molars.

Introducción

Los dientes tratados endodónticamente suelen presentar una pérdida significativa de estructura dental, lo que aumenta su fragilidad y el riesgo de fractura. Las restauraciones endocoronas han surgido como una alternativa conservadora a las restauraciones convencionales con poste y núcleo, ofreciendo una solución monobloque que se ancla en la cámara pulpar. Su diseño permite preservar el tejido dentario remanente y simplificar los procedimientos clínicos, evitando la necesidad de un poste intrarradicular¹. El éxito clínico de las restauraciones endocoronas depende de la adaptación marginal que corresponde al espacio entre el borde de la restauración y la línea de terminación del diente preparado, y la adaptación interna que es el espacio entre la pared axial del diente preparado y la superficie interna de la restauración².

El disilicato de litio es uno de los materiales más utilizados para fabricar restauraciones endocoronas debido a su alta resistencia a la flexión, tenacidad a la fractura y capacidad de adhesión mediante grabado ácido³. Sin embargo, la evidencia sobre su comportamiento en términos de adaptación marginal e interna proviene principalmente de estudios *in vitro* y de ensayos clínicos con resultados variables. En un estudio El-Din et al.² encontraron que las endocoronas de disilicato de litio presentaron una adaptación marginal general de $111,25 \pm 10,67 \mu\text{m}$, valor considerado clínicamente aceptable ($<120 \mu\text{m}$), a la vez que las de nanocerámica híbrida superaron dicho límite. Por otra parte, Elalem et al.⁴ al comparar dos diseños de preparación marginal (*butt joint* vs. *deep chamfer*) en restauraciones endocoronas

de disilicato de litio prensado, observaron que ambos diseños dieron valores de adaptación marginal dentro del rango aceptable, aunque el diseño *deep chamfer* fue superior al *butt joint*. Asimismo, Osman et al.⁵ evaluaron restauraciones endocoronas de disilicato de litio y de PEEK, encontrando que ambos materiales presentaron adaptación marginal e interna clínicamente aceptable, pero el disilicato de litio mostró una brecha interna mayor que el PEEK.

En cuanto a los métodos de fabricación, Keskin et al.⁶ compararon técnicas convencionales versus digitales y observaron que las endocoronas fabricadas con patrones impresos en 3D o fresados con CAD/CAM presentaron mejor adaptación marginal que las convencionales. Por otra parte, El Ghouli et al.⁷ y Jalalian et al.⁸ compararon el disilicato de litio vs. cerámica reforzada con circonio y encontraron que, aunque todos los valores se mantuvieron dentro del rango clínicamente aceptable, el disilicato de litio mostró una adaptación marginal ligeramente superior. Adicionalmente, Hezavehi et al.⁹ demostraron que las endocoronas de disilicato de litio presentan valores de adaptación interna dentro del rango clínicamente aceptable (200-300 μm), siendo superiores a las de cerámica híbrida. En otros estudios *in vitro*, Attar et al.¹⁰ y Nagi et al.¹¹ confirmaron que el disilicato de litio y cerámicas reforzadas con circonio, muestran mejores adaptaciones marginales que los materiales basados en resina.

En revisiones sistemáticas previas, Mostafavi et al.¹² hallaron que la diferencia marginal de las restauraciones endocoronas se incrementa con características adicionales que se realizan en la preparación, además de una mayor profundidad cavitaria y mayor divergencia, por lo que recomiendan mantener la preparación lo más simple posible. Adicionalmente, Dudley y Farook¹³, en una revisión sobre métodos de medición de la discrepancia marginal, señalaron que la elección de la técnica de medición de réplica de impresión vs. estereomicroscopía, influye significativamente en los valores reportados, y que el flujo de trabajo digital (CAD/CAM) produce discrepancias marginales menores que las técnicas convencionales. Finalmente, Alwadai et al.¹, en una revisión de estudios *in vitro*, reportaron que tanto el disilicato de litio como las cerámicas reforzadas con circonio ofrecen valores de adaptación marginal dentro del rango aceptable ($<120 \mu\text{m}$), con valores ligeramente inferiores para el disilicato de litio (55,66 μm) frente a las cerámicas con circonio (62,34 μm).

Adicionalmente, algunos estudios evaluaron la adaptación marginal de las restauraciones endocoronas de disilicato de litio mediante criterios cualitativos, a través del sistema modificado del *United States Public Health Service* (USPHS) para evaluar clínicamente las restauraciones endocoronas. Este sistema clasifica la adaptación marginal como *Alpha* para referirse a la adaptación excelente o clínicamente ideal; *Bravo*, para la aceptable con pequeñas irregularidades; y *Charlie*, para la inaceptable^{5,14,15}. En un ensayo controlado

aleatorizado de 24 meses en molares primarios, Khattab et al.¹⁴ reportaron que las endocoronas de disilicato de litio alcanzaron una calificación *Alpha* en el 95,5 % de los casos al final del seguimiento, demostrando que no existían diferencias significativas con las de circonio, lo que indica una muy buena aceptabilidad clínica de la adaptación marginal. Similarmente, Dalol et al.¹⁵ en un seguimiento de 18 meses, encontraron que el 100 % de las endocoronas de disilicato de litio prensado obtuvieron la calificación *Alpha* para adaptación marginal, sin que se observaran diferencias con las coronas convencionales del mismo material. Por lo tanto, ambos estudios coinciden en que los resultados cualitativos presentan un excelente comportamiento clínico de la adaptación marginal de las endocoronas de disilicato de litio.

Como se puede observar, los estudios clínicos presentan heterogeneidad en los diseños de preparación marginal, materiales de fabricación, sistemas de medición y puntos de referencia que generan resultados controversiales. Además, la mayoría de las revisiones disponibles incluyó estudios *in vitro*; hasta la fecha, no se ha reportado revisiones sistemáticas sobre la adaptación marginal e interna de las endocoronas de disilicato de litio en molares tratados endodónticamente reportada en estudios clínicos. Por lo tanto, el objetivo de esta revisión fue determinar la precisión de la adaptación marginal e interna de las restauraciones endocoronas fabricadas con disilicato de litio con base en ensayos clínicos publicados desde el 2019.

Materiales y métodos

La presente revisión se llevó a cabo siguiendo las directrices de la declaración PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Review*), para garantizar la transparencia y reproducibilidad del proceso. Se utilizó el formato Población, Intervención, Comparación, Resultado (PICO) para formular la pregunta focalizada: ¿Cuál es la precisión de la adaptación marginal e interna (valor en micrómetros) de las restauraciones endocoronas fabricadas con disilicato de litio en molares tratados endodónticamente?

- La población (P) estuvo comprendida por pacientes con molares tratados endodónticamente.
- La intervención (I) abarcó restauraciones endocoronas fabricadas con disilicato de litio.
- La comparación (C) fue en restauraciones endocoronas fabricadas de otros materiales y restauraciones endocoronas fabricadas con disilicato de litio con diferentes diseños de preparación.

- El resultado (O) analizados fueron la adaptación marginal, adaptación interna o ambas.

Se realizó una búsqueda electrónica en las bases de datos PubMed, Scopus y Google Scholar, empleando términos MeSH (*Medical Subject Headings*) y DeCS (Descriptores de Ciencias de la Salud): (“*marginal and internal adaptation*” AND “*endocrown*” AND “*lithium disilicate*”). Se buscaron estudios sobre la adaptación marginal e interna publicados en inglés y español desde el año 2019 - 2026. Se incluyeron ensayos clínicos aleatorizados que evaluaron la adaptación marginal e interna de las restauraciones endocoronas. Por su parte, se excluyeron ensayos clínicos que no informaron explícitamente la adaptación marginal e interna y estudios preclínicos, revisiones, estudios observacionales.

La selección de los artículos se realizó considerando su relevancia a partir, primero, del título, resumen y palabras clave. Posteriormente, se examinó el texto completo. Todos los artículos recuperados mediante búsqueda electrónicas se reunieron y evaluaron para su inclusión de acuerdo con los criterios de elegibilidad. La extracción de datos se sistematizó en una hoja de cálculo de Excel, en la que se describieron las siguientes variables: autor y año de publicación, muestra, grupos, material evaluado, diseño de la preparación marginal, técnica de medición, puntos de referencia para la adaptación, adaptación marginal y adaptación interna, conclusiones.

Resultados

Se incluyeron cinco ensayos clínicos que cumplieron con los criterios de selección, publicados entre los años 2019 y 2026. En total, participaron 139 pacientes a quienes se le realizaron 132 restauraciones endocoronas. Un estudio compara con nanocerámica híbrida², otro con PEEK⁵. Otros dos estudios comparan el éxito clínico de endocoronas, uno de IPS e.max Press hasta 18 meses¹⁵ y otro comparó el éxito del IPS e.max Press con coronas de circonio prefabricadas hasta 24 meses¹⁴. Por último, un estudio compara sistemas de diseño de preparación marginal⁴ (Tabla 1).

En general, aunque los resultados fueron heterogéneos, se encontró que los ensayos clínicos incluidos demostraron que las endocoronas de disilicato de litio presentan una adaptación marginal clínicamente aceptable, comparables con el PEEK, pero superior a las de nanocerámica híbrida. Además, la adaptación interna se mantuvo dentro del rango aceptable. Por otra parte, el diseño de preparación circunferencial con línea de terminación *deep chamfer* (chaflán profundo) mostró mejor adaptación marginal que el diseño de preparación *butt joint* (unión a tope). Por último, se comparó la estabilidad de la adaptación marginal en un seguimiento de hasta 24 meses.

Para el estudio de El-Din et al.² el grupo control de disilicato de litio mostró una adaptación marginal de $111,25 \pm 10,67 \mu\text{m}$ y una adaptación interna de $157,13 \pm 41,65 \mu\text{m}$, mejor que la fabricada con nanocerámica híbrida. Por otra parte, el grupo intervención de nanocerámica híbrida registró una adaptación marginal de $155,6 \pm 19,48 \mu\text{m}$ y una adaptación interna de $258,10 \pm 76,79 \mu\text{m}$. Por su parte, respecto de la adaptación marginal, los valores del disilicato de litio fueron superiores a los de nanocerámica híbrida.

Por su parte, en el estudio de Osman et al.⁵ la restauración de disilicato de litio (e.max) obtuvo una adaptación marginal de $58,78 \mu\text{m}$ mientras que el PEEK (Bio HPP) registró $51,53 \mu\text{m}$. Considerando la adaptación interna, el disilicato de litio reportó $88,41 \mu\text{m}$ en zona pulpar y $76,61 \mu\text{m}$ en zona axial, y el PEEK, $67,56 \mu\text{m}$ en zona pulpar y $52,99 \mu\text{m}$ en zona axial. Por lo tanto, ambas restauraciones tuvieron resultados similares, clínicamente aceptables.

Por otra parte, Khattab et al.¹⁴ evaluaron la adaptación marginal exclusivamente mediante los criterios cualitativos USPHS. Encontrando que la adaptación marginal de las endocoronas en un seguimiento de 6 meses alcanzó una calificación de 100% en todos los casos, seguido de una adaptación a los 12 meses del 97,7 % y al final del seguimiento a los 24 meses, del 95,5 % de calificación *Alpha* para las restauraciones endocoronas. Sin embargo, el estudio no reportó datos de adaptación interna. Por consiguiente, las endocoronas de disilicato de litio ofrecen una adaptación marginal clínicamente exitosa, similar a las coronas de circonio prefabricado durante un período de 24 meses.

Similarmente el estudio de Dalol et al.¹⁵ realizaron una evaluación de la estabilidad de la adaptación marginal en un seguimiento de hasta 18 meses con los criterios USPHS, en el cual sus resultados mostraron que el 100 % de las restauraciones endocoronas alcanzaron la calificación *Alpha* en los controles de 6, 12 y 18 meses. No se reportaron datos de adaptación interna. Por tanto, la adaptación marginal de las endocoronas de disilicato de litio fue clínicamente excelente y comparable a la de las coronas convencionales durante el período evaluado.

Por último, en el estudio de Elalem et al.⁴ el grupo con diseño de preparación marginal *butt joint* (unión a tope) presentó una adaptación marginal de $73,49 \pm 5,29 \mu\text{m}$ y una adaptación interna de $83,05 \pm 11,72 \mu\text{m}$, por otro parte, el grupo con diseño de preparación circunferencial con línea de terminación *deep chamfer* mostró $59,81 \pm 3,42 \mu\text{m}$ de adaptación marginal y $80,29 \pm 10,59 \mu\text{m}$ de adaptación interna, concluyéndose que ambos diseños de preparación estuvieron dentro del rango clínicamente aceptable para el ajuste marginal e interno.

Discusión

Esta revisión sistemática buscó determinar la precisión de la adaptación marginal y la adaptación interna de las restauraciones endocoronas fabricadas con disilicato de litio. Aunque los estudios fueron heterogéneos, en general, los ensayos clínicos incluidos demostraron que las endocoronas de disilicato de litio presentan una adaptación marginal clínicamente aceptable, comparable con el PEEK, pero superior a la nanocerámica híbrida. Además, la adaptación interna se mantuvo dentro del rango aceptable. Por otra parte, el diseño de preparación circunferencial con línea de terminación *deep chamfer* mostró mejor adaptación marginal que el diseño de preparación *butt joint*. Por último, la estabilidad de la adaptación marginal fue excelente en un seguimiento de hasta 24 meses.

El comportamiento clínico de las restauraciones endocoronas de disilicato de litio comparado con el PEEK⁵ es similar a una revisión sistemática previa cuyos resultados indican que el tipo de material de fabricación no influyó significativamente en la brecha marginal, con valores para el disilicato de litio de 84,04 μm ¹³. En la misma línea, la revisión de Alwadaï et al.¹ confirmó que tanto el disilicato de litio como las cerámicas reforzadas con circonio ofrecen valores de adaptación marginal dentro del rango aceptable (menores a 120 μm), con ligeras ventajas, no significativas, para el disilicato de litio (55,66 μm) frente a (62,34 μm). En cambio, el hallazgo referido a que el disilicato de litio tiene un comportamiento superior a la de nanocerámica híbrida² difiere de estos autores¹³. Esta discrepancia puede atribuirse a que las revisiones de Alwadaï et al.¹ y Dudley y Farook¹³ que incluyeron estudios *in vitro*, que a menudo tienen condiciones ideales como dientes naturales sanos, preparaciones estandarizadas, ausencia de saliva y fuerzas masticatorias, mientras que los ensayos clínicos reflejan mejor las condiciones intraorales reales, donde factores como la humedad, la habilidad del operador y las fuerzas funcionales pueden exacerbar las deficiencias de materiales menos rígidos o más difíciles de pulir, como la nanocerámica híbrida².

En relación con la evaluación marginal mediante método cualitativo mediante el sistema USPHS, los resultados son coherentes con Dalol et al.¹⁵, quienes reportaron que el 100 % de las endocoronas de disilicato de litio prensado mantuvieron la calificación *Alpha* en un seguimiento de 18 meses. De manera semejante, Khattab et al.¹⁴ observaron un ligero descenso de 100 % a los 6 meses al 95,5 % a los 24 meses, lo que sugiere que la adaptación marginal de las restauraciones endocoronas de disilicato de litio es excelente en el corto y mediano plazo.

Tabla 1 Síntesis de los estudios incluidos

Autor y año	Muestra	Grupos	Material utilizado	Diseño de la preparación marginal	Técnica de medición	Puntos de referencia para la adaptación	Adaptación marginal		Adaptación interna	Conclusiones
							Micrómetros	USPHS		
El-Din MS et al. (2025) ²	22 pacientes 22 restauraciones endocoronas	Control: Disilicato de litio (n=11) Intervención: nanocerámica híbrida (n=11)	Disilicato de litio (IPS e.max CAD). Nanocerámica híbrida (Grandio).	Tope con borde circunferencial de 90° tipo <i>butt joint</i> de 2-3 mm de ancho	Réplica de silicona + microscopio digital (40×)	20 puntos de referencia. Marginal: 13 puntos, 2 en margen vestibular y lingual, 3 en pared axial interna vestibular y lingual, 3 en el piso pulpar. Interna: 7 puntos, 2 puntos en el margen, 3 puntos en la pared axial, 2 puntos en el piso pulpar.	Control: Disilicato de litio 111.25 ± 10.67 µm Intervención: Nanocerámica híbrida 155.6 ± 19.48 µm	Alpha N/I	Control: Disilicato de litio 157.13 ± 41.65 µm Intervención: Nanocerámica híbrida 258.10 ± 76.79 µm.	Para la adaptación marginal el disilicato de litio mostro valores superiores en comparación a la nanocerámica híbrida, en contraparte ambas restauraciones obtuvieron valores de adaptación interna aceptables.
Osman et al. (2022) ⁵	26 pacientes 26 restauraciones endocoronas	Control: disilicato de litio E-max (n=13) Intervención: PEEK (n=13)	Disilicato de litio (E-max) Bio HPP PEEK	Tipo <i>butt joint</i> con margen circunferencial de 90°	Réplica de silicona + microscopio digital (35×).	20 puntos de referencia: 4 segmentos en 5 puntos (MB, DB, ML, DL) Interna: 3 puntos: A y B, piso pulpar, C axial Marginal: D ángulo lineal, E ángulo cavo superficial	Control: E-max 58.78 µm Intervención: PEEK 51.53 µm	Alpha 3 meses: E-max: 100% PEEK: 100% Alpha 6 meses: E-max: 100% PEEK: 100% Alpha 9 meses: E-max: 100% PEEK: 100% Alpha 12 meses: E-max: 100% PEEK: 100%	Control E-max: pulpar (88,41 µm), axial (76,61 µm) PEEK pulpar 67.56 µm, axial 52.99 µm	Ambas restauraciones revelaron rangos clínicamente aceptables para adaptación marginal e interna.
Dalol et al. (2026) ¹⁵	30 pacientes 20 restauraciones endocomas	Exp. 1 corona convencional Exp. 2 restauración endocorona	Disilicato de litio IPS e.max Press	<i>Deep chamfer</i> 0.8 mm (chaflan profundo)	N/I	N/I	N/I	Alpha 6 meses: e.max Press: 100% Alpha 12 meses: e.max Press: 100% Alpha 18 meses: e.max Press: 100%	N/I	Ambos grupos obtuvieron una calificación Alpha (excelente) en adaptación marginal en todos los tiempos de seguimiento 6, 12 y 18 meses
Khattab et al. (2022) ¹⁴	44 pacientes 44 restauraciones endocoronas	Control: circonio prefabricado Intervención: disilicato de litio	Circonio prefabricado (Zc) Disilicato de litio	<i>Butt joint</i> (unión a tope) con un acabado cervical en “ <i>sidewalk</i> ” o “ <i>butt joint finish line</i> ”.	N/I	N/I	N/I	Alpha 6 meses: Circonio: 100% Disilicato de litio: 100% Alpha 12 meses: Circonio: 95.5% Disilicato de litio: 97.7%	N/I	Las endocoronas de disilicato de litio tienen una adaptación marginal clínicamente exitosa, similar a las coronas de circonio prefabricado, sin diferencias significativas durante 24 meses

Cómo citar: León V. Precisión de la adaptación marginal e interna de endocoronas fabricadas con disilicato de litio. Una revisión sistemática. Rev Venez Invest Odont IADR. 2026;14(2): 56-67.

								Alpha 24 meses: Circonio: 90.9% Disilicato de litio: 95.5%		
Elalem I et al. (2019) 4	17 pacientes 20 restauraciones endocoronas	Exp. 1 (n=10) <i>Butt joint</i> (unión a tope). Exp. 2 (n=10) Circunferencial con línea de terminación <i>Deep chamfer</i> (chaflán profundo).	Disilicato de litio (IPS e.max Press)	<i>Butt joint</i> (unión a tope) <i>Deep chamfer</i> (chaflán profundo) circunferencial con línea de terminación	Réplica de silicona + microscopio digital (35x) + análisis de imagen digital (Imagen J)	20 puntos de referencia: 4 segmentos en 5 puntos (MB, DB, ML, DL) Interna: 3 puntos: A y B, piso pulpar, C axial Marginal: D ángulo lineal, E ángulo cavo superficial	Exp. 1: <i>Butt joint</i> $73.49 \pm 5.29 \mu\text{m}$ Exp. 2: <i>Deep Chamfer</i> $59.81 \pm 3.42 \mu\text{m}$	N/I	Exp. 1: <i>Butt joint</i> $83.05 \pm 11.72 \mu\text{m}$ Exp. 2: <i>Deep Chamfer</i> $80.29 \pm 10.59 \mu\text{m}$	Ambos diseños estuvieron dentro del rango clínicamente aceptable con respecto al ajuste marginal e interno

No obstante, Dudley y Farook¹³ destacaron que la elección del método de medición influye significativamente en los valores reportados de brecha marginal, y que métodos cualitativos como la réplica de impresión pueden arrojar valores mayores que la estereomicroscopía. Por lo tanto, la concordancia entre los resultados cualitativos, Alpha elevado, y los cuantitativos valores por debajo de 120 μm , confirma la validez clínica de ambos enfoques. Sin embargo, la ausencia de evaluación de la adaptación interna en los estudios cualitativos limita la comparación del comportamiento de las restauraciones.

Respecto al diseño de la preparación marginal, los resultados del presente estudio coinciden con Elalem et al.⁴ estos autores compararon dos tipos de diseños en endocoronas de disilicato de litio prensado y encontraron que el diseño *deep chamfer* produjo una adaptación marginal de 59,81 μm , significativamente mejor que el *butt joint* de 73,49 μm , a pesar que ambos diseños se encontraron dentro del límite clínicamente aceptable. Además, no observaron diferencias significativas en la adaptación interna entre ambos diseños. Este hallazgo también coincide con la revisión de Mostafavi et al.¹² quienes observaron que la discrepancia marginal se incrementa con características adicionales de preparación como mayor profundidad cavitaria y mayor divergencia, por lo que recomendaron mantener la preparación lo más simple posible. Similarmente, Dudley y Farook¹³ hallaron que el método de fabricación (CAD/CAM vs. impresión convencional) tiene un impacto significativo en las discrepancias marginales, pero no encontraron diferencias significativas según el material de la corona.

A pesar de que se logró el objetivo, este estudio tuvo algunas limitaciones; por lo tanto, sus resultados deben ser interpretados con precaución: el número de ensayos clínicos incluidos y el tamaño de las muestras son pequeñas. Además, tienen alta heterogeneidad metodológica y clínica, como las diferencias entre diseño de la preparación marginal *butt joint* y *deep chamfer*, técnica de fabricación del disilicato de litio CAD fresado y prensado, métodos de medición por aumento del microscopio de 35 $\times$ a 40 $\times$, diferentes localizaciones y número de puntos de referencia.

Conclusiones

Se encontró que las endocoronas de disilicato de litio presentan una adaptación marginal clínicamente aceptable, comparables con el PEEK, pero superior a las de nanocerámica híbrida y una adaptación interna que se mantuvo dentro del rango aceptable en molares tratados endodónticamente. Además, el diseño de preparación circunferencial con línea de terminación *deep chamfer* (chaflán profundo) mostró mejor adaptación marginal que el diseño de preparación *butt joint* (unión a tope), y la adaptación marginal mantuvo una estabilidad excelente mediante calificación *Alpha* en un seguimiento de hasta 24 meses. Sin embargo, no se encontró evidencia suficiente que evalúe la adaptación marginal e interna en

las restauraciones endocoronas fabricadas con disilicato de litio en estudios *in vivo* en pacientes con molares tratados endodónticamente. Por lo tanto, se requieren más ensayos clínicos controlados aleatorizados cegados que evalúen la adaptación marginal y la adaptación interna para confirmar estos hallazgos.

Referencias

1. Alwadai GS, Moaleem MM Al, Daghrery AA *et al.* A Comparative Analysis of Marginal Adaptation Values between Lithium Disilicate Glass Ceramics and Zirconia-Reinforced Lithium Silicate Endocrowns: A Systematic Review of In Vitro Studies. *Med Sci Monit* 2023;**29**. <https://doi.org/10.12659/MSM.942649>.
2. El-Din MS, Adel S, Naguib A *et al.* Evaluation of Marginal and Internal Adaptation of Endocrowns Fabricated from Nano-ceramic Hybrid and Lithium Disilicate Ceramic Materials: A Randomized Controlled Clinical Trial. *J Contemp Dent Pract* 2025;**26**(8):795–805. <https://doi.org/10.5005/jp-journals-10024-3930>.
3. Zardoni JLC, Flores MA de L, Fierro NC *et al.* Indications for the use of endocrowns, design and selection of materials: Literature review. *Int J Appl Dent Sci* 2023;**9**(1):31–4. <https://doi.org/10.22271/oral.2023.v9.i1a.1652>.
4. Elalem IA, Ibraheem RM, Hamdy AM. Scient Open Access Clinical Evaluation of The Marginal Integrity, and Internal Fit of E-Max Endocrown Restorations with Different Marginal Preparation Designs. Ex-Vivo Study. *J Dent Oral Heal* 2019;**5**(1):1–7. www.scientonline.org.
5. Osman AM, Mahallawi OS El, Khair-Allah LS *et al.* Marginal integrity and clinical evaluation of polyetheretherketone (PEEK) versus lithium disilicate (E-Max) endocrowns. *Int J Health Sci (Qassim)* 2022;**6**(April):1831–45. <https://doi.org/10.53730/ijhs.v6ns4.6322>.
6. Keskin DE, Sağlam G, Geduk ŞE. Effect of conventional and digital fabrication techniques on marginal and internal fit of lithium disilicate endocrowns. *BMC Oral Health* 2025;**25**(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-025-05775-z>.
7. Ghoul WA El, Özcan M, Ounsi H *et al.* Effect of different CAD-CAM materials on the marginal and internal adaptation of endocrown restorations: An in vitro study. *J Prosthet Dent* 2020;**123**(1):128–34. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2018.10.024>.
8. Jalalian E, Zarbakhsh A, Khorshidi S *et al.* Comparative analysis of endocrown fracture resistance and marginal adaptation: CAD/CAM technology using lithium disilicate vs. zirconia-reinforced lithium silicate ceramics. *Saudi Dent J* 2024;**36**(2):353–8. <https://doi.org/10.1016/j.sdentj.2023.11.020>.
9. Hezavehi M, Neshandar Asli H, Babaee Hemmati Y *et al.* Fracture strength and

Cómo citar: León V. Precisión de la adaptación marginal e interna de endocoronas fabricadas con disilicato de litio. Una revisión sistemática. *Rev Venez Invest Odont IADR*. 2026;14(2): 56-67.

marginal and internal adaptation of lithium disilicate and hybrid ceramic endocrowns and non-retentive overlays for endodontically treated molar teeth. *BMC Oral Health* 2024;**24**(1). <https://doi.org/10.1186/s12903-024-05327-x>.

10. Attar E, Alshali S, Abuhaimed T. A Comparative Study of the Marginal Fit of Endocrowns Fabricated From Three Different Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing (CAD/CAM) Ceramic Materials: An In Vitro Study. *Cureus* 2023;**15**(6). <https://doi.org/10.7759/cureus.40081>.
11. Nagi N, Fouda AM, Bourauel C. Comparative evaluation of internal fit and marginal gap of endocrowns using lithium disilicate and polyether ether ketone materials - an in vitro study. *BMC Oral Health* 2023;**23**(1):1–8. <https://doi.org/10.1186/s12903-023-02857-8>.
12. Mostafavi AS, Allahyari S, Niakan S *et al*. Effect of Preparation Design on Marginal Integrity and Fracture Resistance of Endocrowns: A Systematic Review. *Front Dent* 2022;**19**:1–16. <https://doi.org/10.18502/fid.v19i37.11250>.
13. Dudley J, Farook TH. Marginal Gap of Pre-Cemented Endocrowns: A Systematic Review of Measurement Methods and the Influence of Fabrication Method and Crown Material. *Clin Exp Dent Res* 2025;**11**(3):1–15. <https://doi.org/10.1002/cre2.70152>.
14. Khattab NMA, Makawi YMF El, Elheeny AAH. Clinical Evaluation of CAD/CAM Ceramic Endocrown Versus Prefabricated Zirconia Crown in the Restoration of Pulpotomized Primary Molars: A Two-Year Split-Mouth Randomized Controlled Trial. *Eur J Dent* 2022;**16**(3):627–36. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1736417>.
15. Dalol RE, Abou Nassar JN, Hajeer MY. An 18-Month Randomized Controlled Clinical Trial Evaluating the Clinical Success of IPS e.max Conventional Crowns and Endocrowns in Extensively Restored Molars. *Clin Exp Dent Res* 2026;**12**(1). <https://doi.org/10.1002/cre2.70298>.



Depósito Legal: ppi201302ME4323
ISSN: 2343-595X

La Revista Venezolana de Investigación Odontológica de la IADR

<http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/rvio>



ARTÍCULO DE REVISIÓN

Efecto in vitro de los detectores de caries con propilenglicol en la fuerza adhesiva de resinas compuestas: Una revisión sistemática

In vitro effect of propylene glycol-based caries detectors on the adhesive strength of composite resin: A systematic review

Eduardo Casanova

Egresado de la Facultad de Odontología, de La Universidad del Zulia, Venezuela. Residente del Postgrado de Rehabilitación Bucal, Facultad de Odontología, Universidad de Los Andes, Venezuela. Orcid: 0009-0004-3029-8466. E-mail: Eduardocasnova24@gmail.com

RESUMEN

Historial del artículo
Recibo: 21-05-26
Enviado a evaluación: 21-05-26
Aceptado: 18-06-26
Disponible en línea: 01-09-2026

Palabras clave
Resinas compuestas, líquido detector de caries, propilenglicol, adhesión dental, fuerza adhesiva.

Keywords
Composite resins, caries detector dyes, propylene glycol, dental bonding, bond strength.

Introducción: Los líquidos detectores de caries (CDD) se emplean para diferenciar dentina infectada de afectada, pero su solvente propilenglicol (PG) podría interferir en la adhesión de resinas compuestas. **Objetivo:** Evaluar la evidencia *in vitro* sobre la efectividad adhesiva de resinas en dentina pigmentada con detectores de caries. **Métodos:** se realizó una revisión rápida para identificar estudios preclínicos en PubMed/MEDLINE, Scopus, Wiley Online Library, Science Direct y SciELO publicados entre 2000 y 2026. Se incluyeron estudios *in vitro* que midieron fuerza de adhesión y la microfiltración en superficies tintadas con líquido detector de caries con propilenglicol. **Resultados:** Se identificaron ocho estudios. Cuatro reportaron una disminución significativa en la fuerza de adhesión cuando el tinte no se removió; en otros 2, se observó un aumento no significativo de la microfiltración, especialmente en sistemas de grabado total. Sin embargo, las investigaciones que emplearon sistemas de autograbado de dos pasos reportaron una resistencia de unión adhesiva más estable. **Conclusiones:** La evidencia indica que el propilenglicol de los detectores de caries disminuye la fuerza adhesiva en la dentina afectada cuando no es removido correctamente, no siendo así cuando el tejido impregnado es removido mecánicamente con instrumentos rotatorios, permitiendo mejorar su fuerza adhesiva. Sin embargo, el reducido número de estudios impide conclusiones definitivas, requiriéndose más investigaciones preclínicas y clínicas para lograr resultados más concluyentes.

ABSTRACT

Introduction: Caries detection fluids (CDFs) are used to differentiate infected from affected dentin, but their solvent, propylene glycol (PG), may interfere with the adhesion of composite resins. **Objective:** To evaluate the in vitro evidence on the adhesive effectiveness of resins on dentin stained with caries detection fluids. **Methodology:** A rapid review was conducted to identify preclinical studies in PubMed/MEDLINE, Scopus, Wiley Online Library, ScienceDirect, and SciELO published between 2000 and 2026. In vitro studies that measured bond strength and microleakage on surfaces stained with propylene glycol-based caries detection fluid were included. **Results:** Eight studies were identified. Four reported a significant decrease in bond strength when the stain was not removed; two others showed a non-significant increase in microleakage, particularly with total-etch systems. However, studies using two-step self-etch systems reported more stable bond strength. **Conclusions:** Evidence indicates that propylene glycol in caries detectors reduces bond strength in affected dentin when not properly removed. This does not occur when the impregnated tissue is mechanically removed with rotary instruments, thus improving bond strength. However, the limited number of studies prevents definitive conclusions, and further preclinical and clinical research is needed to obtain more conclusive results.

Introducción

La odontología contemporánea se orienta hacia la filosofía de mínima intervención, la cual prioriza la preservación de la estructura dental sana durante la remoción de caries ^[1]. Al realizar este procedimiento, el clínico debe distinguir entre la dentina infectada, que es la capa externa desnaturalizada y contaminada por bacterias que requiere eliminación obligatoria, y la dentina afectada, la cual presenta una desmineralización parcial pero mantiene su vitalidad biológica y su potencial de remineralización ^[2]. Bajo los criterios de mínima intervención, esta dentina afectada debe permanecer intacta, ya que constituye el sustrato clínico sobre el cual se aplican los sistemas adhesivos. Esto exige una total comprensión de cómo estas condiciones biológicas alteran el comportamiento mecánico de la unión final ^[1].

La estabilidad de la interfaz adhesiva es importante para predecir la longevidad y el éxito de las restauraciones directas con resina compuesta. Estudios preclínicos que evalúan la fuerza adhesiva han demostrado que la unión sólida contrarresta las fuerzas de la contracción de polimerización, distribuye eficientemente las cargas oclusales y reduce el riesgo de fallas cohesivas o adhesivas ^[3,4]. Los estudios sobre la conversión, la permeabilidad de los sistemas adhesivos dentales y la longevidad de la unión de los materiales restauradores y los tejidos dentales, han hallado que la estabilidad de la capa híbrida a largo plazo es crucial para prevenir la degradación de la interfaz de unión ^[5,6] y evitar la microfiltración, la sensibilidad postoperatoria y el desarrollo de caries secundaria.

En la estabilidad de esta interfaz, la adhesión dental se define como el mecanismo físico-químico que mantiene en contacto directo con el sustrato biológico y el material restaurador ^[7]. Este proceso es esencial en un intercambio micromecánico, donde los componentes poliméricos se infiltran en el tejido dental ya acondicionado. Luego de la polimerización estos componentes forman un entrelazamiento directo con la red de colágeno expuesta del diente y originan la capa híbrida ^[8] así, el comportamiento de la restauración depende de la compatibilidad entre los sistemas adhesivos utilizados y las características de la dentina ^[4].

La adhesión es un proceso multifactorial, pues factores biológicos, químicos, técnicos y físicos pueden afectar la fuerza adhesiva de los composites sobre la superficie dental ^[3,4,7,9]. Entre los factores biológicos, se incluyen elementos extrínsecos como presencia bacteriana ^[9] y la posible contaminación con fluidos orales, como saliva o sangre ^[3,10]. Estos son críticos ya que alteran la estabilidad del sustrato; también los determinantes intrínsecos como los trastornos del esmalte o la dentina, generan alteraciones en la morfología, que por el estado del sustrato produce una disminución significativa de la fuerza adhesiva ^[11]. Los factores químicos se refieren al efecto de la aplicación de agentes desensibilizantes que modifican la energía superficial de la dentina, como una caries removida. Esta modifica la disponibilidad de colágeno del sustrato, afecta negativamente la formación de una capa híbrida funcional y en la capacidad de humectabilidad del sistema adhesivo ^[7,8]. Finalmente, la aplicación de clorhexidina, elimina o retrasa la degradación de las fibrillas de colágeno dentro de la capa híbrida, lo que mejora significativamente la unión adhesiva a largo plazo ^[8].

Entre los factores técnicos, se halló que la calidad de la dentina acondicionada por el grado de desmineralización, es un factor determinante para la predictibilidad de la unión final ya que modifica el sustrato ^[7]. También, la modalidad de aplicación y selección del sistema adhesivo influyen en la calidad del sellado marginal ^[4,8,12,13]. Se ha observado que el protocolo de grabado, total o autograbado, el tiempo de frotamiento sobre la dentina y la evaporación del solvente alteran la efectividad del adhesivo universal ^[4,13]. La preparación de la superficie y el manejo de la capa de barrillo dentinario influyen directamente en la adhesión con el sustrato y en la capacidad de sellado de la interfaz ^[7]. Asimismo, la contracción por polimerización que exceda la resistencia adhesiva genera microfiltración, desacople y hasta la ruptura de la unión ^[12]. Adicionalmente, la pericia del operador es una variable determinante; al respetar el tiempo de grabado ácido, el control de la humedad residual y la correcta fotopolimerización, mantiene las propiedades físicas del material ^[7].

Entre los factores físicos más relevantes está el uso del líquido detector de caries en la interfaz adhesiva (En adelante CDD, por sus siglas en inglés). El detector de caries es una sustancia hidrosoluble y de bajo peso molecular, compuesta por distintos tipos de colorantes como el Rojo Ácido 52 o fucsina, disuelto en un solvente orgánico, como el propilenglicol (PG) ^[14,15]. Se emplea para diferenciar entre la dentina sana y la infectada por caries, ya que tiñe las fibras de colágeno expuestas y deterioradas irreversiblemente en la capa infectada ^[2]. Se han realizado diversos estudios *in vitro* que comparan la adhesión con y sin detectores de caries para

determinar su efecto en la adhesión ^[1,2,14-19]. Sin embargo, no se encontraron revisiones sistemáticas que evalúen el efecto de los detectores de caries con propilenglicol en las propiedades físicas de los materiales adhesivos. Por lo tanto, este trabajo evalúa el efecto del detector de caries con propilenglicol en la fuerza adhesiva y el sellado de restauraciones directas con resina compuesta con base en una revisión sistemática.

Materiales y métodos

Se realizó una revisión rápida de la literatura siguiendo el protocolo PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), con el objetivo de identificar, seleccionar, analizar, evaluar y sintetizar estudios preclínicos sobre el efecto *in vitro* del detector de caries con propilenglicol en la fuerza adhesiva de restauraciones directas con resina compuesta.

Se usaron las bases de datos electrónicas PubMed/MEDLINE, Scopus, Wiley Online Library, ScienceDirect y SciELO para identificar estudios publicados en inglés y español hasta mayo del año 2026. La búsqueda se realizó combinando los descriptores MeSH (Medical Subjects Headings): "Dentin", "Caries Detection", "Dyes", "Bond Strength", "Propylene Glycols", "Adhesive Systems", "Microleakage" y los DeCS (Descriptores en Ciencias de la Salud) "Dentina", "Detección de Caries", "Tintes", "Resistencia a la Tracción", "Propilenglicol" mediante el uso de operadores lógicos booleanos (AND, OR).

Inicialmente, se seleccionaron documentos a partir de la lectura del título y el resumen. Los criterios de inclusión fueron: estudios experimentales *in vitro* que evalúen la fuerza adhesiva de resinas sobre superficies con detector de caries usando dentina humana o bovina, comparada con grupo control sin el uso de detector de caries.

Los datos se registraron en tablas, y se consideraron variables como: autor, año, sustrato, tipo de tinte y solvente, sistema adhesivo y resultados principales. El análisis se enfocó en la interacción entre el propilenglicol del líquido detector de caries y la interfaz adhesiva. El éxito se definió con la resistencia adhesiva (MPa) del grupo con tinte, igual al del grupo sin tinte (el control), y el fracaso se identificó mediante la disminución de la fuerza adhesiva o incremento de la microfiltración. Los hallazgos fueron organizados cuantitativamente para determinar un comportamiento de aumento o disminución de la fuerza adhesiva de las restauraciones de resina.

Resultados

En esta revisión de incluyeron ocho artículos *in vitro* que evaluaban desde la fuerza adhesiva hasta la presencia de microfiltraciones en las restauraciones de las superficies teñidas con CDD, se incluyeron distintas marcas, pero todas coincidieron en el uso del propilenglicol como base, en la tabla 1 se encuentran los detalles para ver la heterogeneidad de cada estudio.

En la Tabla 1, se observa heterogeneidad en los diseños experimentales seleccionados entre los años 2000 y 2026. En las columnas 2 a 6 se organizaron los tipos de sustratos, dentina humana extraída, principalmente terceros molares y premolares sanos o con lesiones de caries y una menor proporción de modelos bovinos; con respecto a los líquidos detectores de caries y sus colorantes, las soluciones basadas en rojo ácido al 1% en vehículo de propilenglicol fueron las más utilizadas, destacando comercialmente Caries Detector (Kuraray), Seek o Sable Seek (Ultradent) y Cario Finder, también se reportaron soluciones experimentales de fucsina básica. En cuanto a las resinas compuestas, se emplearon predominantemente composites microhíbridos y de nanorrelleno, como Filtek Z250, Filtek Z350 XT y Z100 (3M ESPE). Finalmente, para los agentes de unión se evaluaron tanto sistemas de grabado total de dos y tres pasos (Adper Single Bond 2, Scotchbond Multi-Purpose), como sistemas autograbados de uno y dos pasos (Clearfil SE Bond, Prompt L-Pop), además de la incorporación de materiales alternativos como el compómero F2000.

En las columnas 7, 8 y 9 se muestran las mediciones técnicas. Los estudios reportaron una variabilidad en los tipos de pruebas para medir la resistencia de unión en MPa, las pruebas de tracción (tensile bond strength) y microtracción (microtensile bond strength) fueron las más evaluadas, demostrando una disminución significativa de la fuerza adhesiva cuando el propilenglicol quedó retenido en la dentina. Además, en los ensayos que evaluaron el cizallamiento (shear bond strength) y microcizallamiento (micro-shear bond strength), se evidenció que este efecto adverso se neutraliza por completo al ejecutar la remoción mecánica del tejido teñido o al usar sistemas de autograbado. Finalmente, en cuanto a los niveles de microfiltración marginal, las pruebas con azul de metileno reportaron un grado de filtración variable que no fue estadísticamente significativo, mostrando que los protocolos de grabado total sufren mayor susceptibilidad en los márgenes de la restauración en comparación con los materiales tipo compómero.

En la Tabla 2 se compararon los grupos de control sin aplicación de líquido detector de caries (CDD) y los grupos experimentales con aplicación de CDD, los resultados de estas comparaciones demostraron una reducción significativa en los valores de resistencia adhesiva en MPa en la mayoría de los sustratos tratados con el detector, específicamente, la resistencia a la tracción de la resina sobre superficies dentinarias teñidas con detectores a base de propilenglicol mostró una caída en la mayoría de los estudios ^[2,14-17]. Por otra parte, se evaluó un aumento en los valores de MPa únicamente en las pruebas sobre esmalte o en los casos donde se ejecutó la remoción mecánica del tinte con fresas rotatorias ^[1,4]. La mayoría de las investigaciones enfocaron sus pruebas en dentina humana sana o afectada ^[1,2,15-17] mediante

protocolos de grabado total que incluyeron un lavado y secado convencional tras la aplicación del tinte ^[2,14-16]. En estos casos de grabado total con lavado básico, el propilenglicol remanente interfirió de forma crítica con la humectabilidad del sustrato, lo que produjo una disminución y degradación de la interfase adhesiva frente a sus respectivos grupos de control.

En la Tabla 3 se evalúan los datos que corresponden a la unión de los márgenes en la superficie restaurada, y se presentan los resultados de microfiltración según la escala semicuantitativa de 0 a 3, expresados como porcentaje de especímenes que alcanzaron el Grado 0, mejor sellado (sin penetración del tinte) y el Grado 3, el peor sellado (penetración hasta el fondo de la cavidad). Se muestran los grupos control (sin tinte detector) y experimentales (con tinte) para cada condición evaluada. Se encontró que el sellado fue variable, ya que con los adhesivos de grabado total hubo un aumento de la filtración ^[5] y en las pruebas con resina, aunque en inicio se obtuvo un sellado perfecto, también empeoró la falla severa de microfiltración ^[8]. Además, se observó un comportamiento más neutro con el compómero ^[8]. En general, los resultados, indican que el detector de caries afecta el sellado y causa microfiltración ^[5,8], aunque en dos estudios las diferencias no fueron estadísticamente significativas ^[19,20].

Tabla 1 Características técnicas de los materiales y métodos de los estudios incluidos

Estudio	Sustrato	Tipo de adhesivo y marca	Tipo de resina y marca	Tipo y marca de detector de caries	Molécula y solvente utilizado	Tipo de prueba a la tracción	Medición	Comparación principal
Singh et al. (2011) ^[12]	Dentina humana (sana y afectada)	Single Bond (3M ESPE) – grabado total de 2 pasos	Filtek Z250 (3M ESPE) – composite híbrido	Rojo (Caries Detector, Kuraray)	Propilenglicol 1% acid red 52 (rojo ácido)	TBS/Tensile bond strength (tracción) – Mpa	Mpa (tracción)	Con tinte vs. sin tinte, en dentina sana y afectada.
Hassan et al. (2025) ^[16]	Dentina afectada artificial	Adper Single Bond (3M ESPE) – grabado total	Filtek Z350 XT (3M ESPE) – composite de nanopartículas	Rojo (Cario Finder y Seek, Ultradent)	Acid red en propilenglicol (PG); Cario Finder: D&C dyes en polipropilenglicol (PPG)	TBS/Tensile bond strength (tracción) – Mpa	Mpa (tracción)	Con tinte (dos tipos) vs. sin tinte.
Otake et al. (2022) ^[11]	Dentina radicular afectada	Sistema Dual (Clearfil Universal Bond Quick)	Clearfil DC Core Automix (Kuraray Noritake) – composite dual para núcleos	Rojo (Caries Detector, Kuraray)	Propilenglicol Acid red (típico de Caries Detector)	Microtensile bond strength (microtracción) – Mpa	Mpa (microtracción)	Método con tinte (dos niveles) vs. método con sonda (sin tinte).
El-Housseiny (2000) ^[14]	Esmalte y dentina sana	Clearfil SE Bond (Kuraray) – autograbado 2 pasos	Clearfil Posterior (Kuraray)	Caries Detector (rosa), Sable Seek (verde oscuro), Quadrant Cari Test (azul oscuro)	Propilenglicol y colorante (acid red, verde, azul)	Micro-shear bond strength – Mpa (microcizallamiento)	Mpa (microcizallamiento)	Con tinte vs. sin tinte, con/sin limpiador, y comparación entre tintes.
Yokota et al. (2006) ^[15]	Dentina bovina sana	Scotchbond Multipurpose Plus (3M) – grabado total de 3 pasos	Z100 (3M ESPE) – composite microhíbrido	Verde (Sable Seek) y Rojo (Snoop)	Propilenglicol Sable Seek y Snoop	SBS/Shear bond strength (cizallamiento) – Mpa	Mpa (tracción)	Tinte enjuagado vs. contaminado (sin enjuagar); además, componentes aislados.
Yalçın et al. (2014) ^[17]	Dentina afectada por caries (oclusal)	4 sistemas Clearfil: Protect Bond/SE Bond, One-Up Bond F, Single Bond	Clearfil AP-X (Kuraray) – composite híbrido	Rojo (Caries Detector, Kuraray)	Propilenglicol 1% acid red 52 (rojo ácido) en propilenglicol	TBS/Tensile bond strength (tracción) – Mpa	Mpa (microcizallamiento)	Con tinte (tres tipos) vs. sin tinte.

Lim Hui (2018) ^[18]	Ern	Dentina sana	Grabado total (Single Bond, 3M ESPE)	Z100 (3M ESPE) – composite microhíbrido; F2000 (3M ESPE) – compómero	Rojo (Seek) y Fucsia (Vide Cárie)	Propilenglicol Seek: acid red; Vide Carie: basic fuchsin (fucsina básica)	Evaluó microfiltración	Microfiltración (Rodamina B, escala 0-3)	Con tinte vs. sin tinte, y tipo de adhesivo (total-etch vs. self-etch).
Piva et al. (2002) ^[19]		Dentina sana	Total-etch: Adper Single Bond 2 (3M ESPE); Self-etch: Single Bond Universal (3M)	Filtek Z350 XT (3M ESPE) – composite de nanopartículas	Rojo (Solución Kuraray)	Propilenglicol	Evaluó microfiltración	Microfiltración (azul de metileno, escala 0-3)	Con tinte vs. sin tinte, y tipo de material restaurador (composite vs. compómero).

Tabla 2 Valores de resistencia adhesiva

Estudio (año)	Sustrato / Condición	Sistema adhesivo	Grupo control (sin CDD) (MPa ± SD)	Grupo experimental (con CDD) (MPa ± SD)	Δ (%)	Protocolo post-aplicación del tinte	Conclusiones sobre el efecto del propilenglicol
Singh et al. (2011) ^[2] n=10 por grupo (total 40 dientes)	Dentina sana	Single Bond (total-etch)	A1: 22.42	B1: 18.55	-17.30%	Aplicación del tinte, luego enjuague con agua, grabado ácido y secado	El tinte reduce significativamente la unión, tanto en dentina sana como afectada. La mayor caída ocurre en dentina afectada.
	Dentina afectada por caries	Single Bond	A2: 13.19	B2: 9.45	-28.40%		
Hassan et al. (2025) ^[16] n=10 por grupo (total 30 dientes)	Dentina desmineralizada (afectada artificial con una solución desmineralizadora)	Adper Single Bond	14.3 ± 0.14	Cario Finder (PPG): 12.1 ± 0.22	-15.40%	Aplicación 10 s, enjuague 10 s, secado	Ambos tintes reducen la unión. El efecto es mayor con Seek (propilenglicol) que con Cario Finder (polipropilenglicol).
				Seek (PG): 10.7 ± 0.21	-25.20%		
Otake et al. (2022) ^[21] n=10 dientes por grupo	Dentina radicular con caries (extraída)	Clearfil SE Bond (self-etch)	PR (sonda, sin tinte): 64.6 ± 11.9 SD (sana, sin caries): 68.7 ± 11.1	DS1 (tinte hasta rosa pálido): 46.9 ± 7.9 DS2 (tinte hasta sin color): 47.5 ± 8.4	-27.40% -26.50%	DS1 (Lavado y secado, eliminación de dentina teñida con fresa redonda hasta dejar rosa pálido), DS2 (Lavado y secado, eliminación de dentina teñida con fresa redonda hasta dejar sin color).	El método de remoción con tinte da menor unión que la remoción con sonda (sin tinte).

El-Housseiny & Jamjoum ^[14] (2000) n=5 por subgrupo (30 esmalte y 30 dentina, 6 grupos)	Esmalte	Scotchbond (total-etch)	MP	GI (profilaxis sola): 10.0 ± 2.82	GII (Sable Seek): 45% 14.5 ± 6.01 41.2% GIV (Sable Seek + 22% profilaxis): 24.2% 14.12 ± 3.93 GV (Sable Seek + clorhexidina): 12.20 ± 3.60 GVI (Snoop): 12.42 ± 5.88	GI (control) profilaxis con copa de goma y pumice, y lavado; el GII tinte detector Sable Seek y lavado; el GIV Sable Seek seguida de profilaxis con pumice; el GV Sable Seek, lavado y clorhexidina; y el GVI se trató con el tinte detector Snoop y lavado.	Los valores de los grupos con tinte son numéricamente superiores a los controles, especialmente en esmalte, aunque las diferencias no fueron estadísticamente significativas.
	Dentina	Scotchbond	MP	GI: 8.12 ± 3.54	GII: 10.92 ± 4.16 34.5% GIV: 13.60 ± 4.71 67.5% GV: 11.36 ± 3.50 39.9% GVI: 10.82 ± 1.93 33.2%		
Yokota et al. (2006) ^[15] n=10 por grupo (para cada adhesivo)	Dentina bovina	Self-etch (2 pasos) (Clearfil Protect Bond)		18.1 ± 5.1	Enjuagado: -8.30% 16.6 ± 2.6 Sin enjuagar: -18.20% 14.8 ± 6.1 Ácido rojo 1% (solo secó): +3.9% (NS) 18.8 ± 5.9 Propilenglicol solo (solo secó): -43.1%* 10.3 ± 3.9*	Grupo enjuagado: Tinte El propilenglicol es el aplicado, enjuagado con agua, responsable de la reducción. secado con aire El enjuague elimina el efecto Grupo contaminado: Tinte negativo. El colorante (acid aplicado, sin enjuague, solo red) no afecta. secado con aire	
	Dentina bovina	Self-etch (2 pasos) (Clearfil SE Bond)		21.2 ± 4.0	Enjuagado: -11.80% 18.7 ± 3.1 Sin enjuagar: -19.8%* 17.0 ± 3.1 Ácido rojo 1%: -6.1% (NS) 19.9 ± 7.1		

Rev Venez Invest Odont IADR. ISSN: 2343-595X

				<i>Propilenglicol</i> 12.9 ± 5.9	<i>solo:</i>	-39.1%*		
	Dentina bovina	Self-etch (1 paso "all-in-one") (One-Up Bond F)	17.3 ± 4.2	Enjuagado: 18.1 ± 3.6		+4.6% (NS)		
				Sin enjuagar:		-12.10%		
				15.2 ± 1.8				
				Ácido rojo	1%:	-6.9% (NS)		
				16.1 ± 4.1				
				<i>Propilenglicol</i> 11.8 ± 4.4*	<i>solo:</i>	-31.8%*		
	Dentina bovina	Total-etch (2 pasos) (Single Bond)	14.2 ± 2.5	Enjuagado: 12.9 ± 2.1		-9.20%		
				Sin enjuagar:		-33.8%*		
				9.4 ± 4.0				
				Ácido rojo	1%:	+1.4% (NS)		
				14.4 ± 2.3				
				<i>Propilenglicol</i> 8.6 ± 3.7	<i>solo:</i>	-39.4%*		
Yalçın et al. (2014) ^[17] n=15 por grupo (total 60 dientes)	Dentina afectada por caries (oclusal)	Clearfil SE Bond	17.8 ± 5.11	Quadrant 21.44 ± 6.54	CariTest:	20.40%	Aplicación, enjuague, luego pulido con SiC (eliminación del tinte)	Se eliminaron mecnicamente la presencia de los tintes (Caries Detector y Sable Seek). Quadrant no difiere del control. El tinte ayuda a eliminar dentina afectada y expone dentina más sana.
				Sable 25.92 ± 4.82	Seek:	45.60%		
				Caries (Kuraray): 27.26 ± 6.83	Detector	53.10%		

Tabla 3 Resultados de microfiltración (escala 0 3) en los estudios que compararon grupos con y sin líquido detector de caries

Estudio / Sistema evaluado	Grupo control (sin tinte)	Grupo experimental (con tinte)	Conclusión sobre el efecto del tinte
Lim Ern Hui (2018) ^[18] – Grabado total (n=10 por grupo)	Grado 0: 0% Grado 3: 60%	Grado 0: 20% Grado 3: 70%	El tinte empeoró la microfiltración (más grado 3, aunque apareció algún grado 0). Tendencia negativa no significativa.
Lim Ern Hui (2018) ^[18] – Autograbado (n=10 por grupo)	Grado 0: 30% Grado 3: 30%	Grado 0: 10% Grado 3: 60%	El tinte empeoró claramente el sellado (menos grado 0, más grado 3). Tendencia negativa no significativa.
Piva et al. (2002) ^[19] – Composite Z100 (n=10 por grupo, tinte Seek – ácido rojo)	Grado 0: 40% Grado 3: 10%	Grado 0: 60% Grado 3: 30%	El tinte mejoró el porcentaje de sellado perfecto (grado 0), pero aumentó los casos de filtración severa (grado 3). Resultados dispersos no significativos.
Piva et al. (2002) ^[19] – Compómero F2000 (n=10 por grupo, tinte Seek)	Grado 0: 90% Grado 3: 0%	Grado 0: 80% Grado 3: 0%	El tinte no afectó prácticamente al sellado del compómero (siempre excelente). Sin diferencias significativas.

Discusión

Esta revisión rápida halló que los detectores de caries con base de propilenglicol reducen la fuerza de adhesión en dentina y alteran el sellado marginal. según los resultados de los estudios incluidos, el efecto más severo se observó en dentina afectada por caries teñida con CDD sin remover. En general en las investigaciones de resistencia de unión mostraron una tendencia a la degradación de la interfase adhesiva, con caídas de los valores de MPa que oscilaron entre un 25.2% y un 43.1% ^[1,6,16]. Este comportamiento crítico fue consistente en la mayoría de los diseños experimentales evaluados cuando el propilenglicol permaneció sobre el sustrato. Esta afección generalizada se debe a las propiedades hidrofílicas y de alta viscosidad de este solvente, sus residuos quedan atrapados en el colágeno dentinario desmineralizado ^[15], lo que impide la penetración completa de los monómeros resinosos y evita la formación de una capa híbrida homogénea y con alta resistencia de unión ^[1,19].

Sin embargo, en el estudio de Yalçın et al. (2014) reportaron valores de adhesión más altos tras el uso de los CDD. El estudio encontró que los grupos tratados con PG mostraron valores de resistencia de unión al microcizallamiento (SBS) significativamente mayores que el grupo control. Esto puede deberse a que después de aplicar el CDD y enjuagar, pulieron la superficie con materiales abrasivos lo que eliminó físicamente la presencia de cualquier residuo de propilenglicol y al exponer un sustrato mineralizado mejoró la adhesión^[17]. En cambio, en la investigación de El-Housseiny y Jamjoum (2000) no se encontraron diferencias estadísticas significativas en los resultados, debido a que el protocolo de lavado empleado fue lo suficientemente eficaz para remover el solvente sin comprometer la energía superficial de la dentina sana^[14].

Los datos de microfiltración evidencian la filtración marginal y el paso de fluidos a través de la interfase, estas variables comprometen el sellado de la restauración a largo plazo. En el estudio de Lim et al. (2019) se observó que el uso del tinte duplicó la filtración severa (Grado 3) en los sistemas de autograbado, al pasar del 30% al 60% ^[20]. Por su parte, Piva et al. (2002) reportaron resultados contrastantes en resinas compuestas, en dicha investigación aunque reportó un aumento en el sellado perfecto de un 40% al 60%, también se registró una mayor propensión a la microfiltración de un 10% al 30% de filtración severa grado 3 ^[19]. Sin embargo, el análisis estadístico de la investigación demostró la ausencia de significancia, ya que, la diferencia porcentual representa la afección de dos dientes dentro de una muestra de $n=10$ ^[19]. Estos resultados confirman que el efecto del propilenglicol sobre el sellado marginal varía según la composición química del material restaurador utilizado.

Esta variabilidad en los resultados puede deberse a factores metodológicos como los distintos pasos de preparación de la superficie, el tipo de técnica adhesiva utilizada ^[6]. Además, este estudio identificó la falta de literatura sobre este tema ^[8]. Estos estudios no toman en cuenta la interacción pulpar y el fluido dentinario real, factores que alteran la dilución del propilenglicol en condiciones clínicas ^[5], esto sumado a la heterogeneidad en

los tiempos de lavado y en las marcas comerciales evaluadas ^[7]. Asimismo, el manejo de muestras pequeñas entre 5 y 15 especímenes por subgrupo limita la obtención de resultados precisos ^[8]. Es necesario estandarizar los protocolos de remoción del líquido detector de caries en futuras investigaciones para mejorar el pronóstico de las restauraciones.

Conclusión

Esta revisión rápida reveló que el propilenglicol usado como detector de caries retenido en la superficie dental disminuye la fuerza de adhesión y favorece la microfiltración en la dentina afectada. Este efecto disminuye al remover el detector de caries mecánicamente con instrumentos rotatorios o al emplear sistemas de autograbado. Sin embargo, el reducido número de estudios hallado y su heterogeneidad en términos de marcas comerciales, metodologías y protocolos hacen que los resultados no sean del todo determinantes. Se considera necesario que se realicen más estudios preclínicos y clínicos evalúen el efecto del detector de caries con propilenglicol en la fuerza adhesiva de restauraciones directas con resina compuesta, enfocados en controlar todas estas variables.

Referencias

1. Otake S, Oishi S, Ozaki T, Ikeda M, Komada W. Effect of Method of Removing Caries-Affected Dentin on the Bond Strength of Composite Resin to Root Canal Dentin. *Healthcare*. 2022 Nov 1;10(11). <https://doi.org/10.3390/healthcare10112143>
2. Singh U, Tikku A, Chandra A, Loomba K, Boruah L. Influence of caries detection dye on bond strength of sound and carious affected dentin: An in-vitro study. *J Conserv Dent*. 2011;14(1):32. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.80732>
3. Gupta N, Tripathi AM, Saha S, Dhinsa K, Garg A. Effect of saliva on the tensile bond strength of different generation adhesive systems: An in-vitro study. *J Clin Diagnostic Res*. 2015;9(7):ZC91-4. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2015/13801.6251>
4. Isolan CP, Valente LL, Münchow EA, Basso GR, Pimentel AH, Schwantz JK, et al. Bond strength of a universal bonding agent and other contemporary dental adhesives applied on enamel, dentin, composite, and porcelain. *Appl Adhes Sci*. 2014;2(1):1-10. <https://doi.org/10.1186/s40563-014-0025-x>
5. Breschi L, Mazzoni A, Ruggeri A, Cadenaro M, Di Lenarda R, De Stefano Dorigo E. Dental adhesion review: Aging and stability of the bonded interface. *Dent Mater*. 2008;24(1):90-101. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2007.02.009>
6. De Munck J, Van Landuyt K, Peumans M, Poitevin A, Lambrechts P, Braem M, et al. A critical review of the durability of adhesion to tooth tissue: Methods and results. *J Dent Res*. 2005;84(2):118-32. <https://doi.org/10.1177/154405910508400204>
7. Vanajasan P, M D, Subba Rao C. Factors affecting the bond strength of self-etch adhesives: A meta-analysis of literature. *J Conserv Dent*. 2011;14(1):62. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.80746>

Cómo citar: Casanova E. Efecto in vitro de los detectores de caries con propilenglicol en la fuerza adhesiva de resinas compuestas: Una revisión sistemática. *Rev Venez Invest Odont IADR*. 2026;14(2): 68-82.

8. Hardan L, Bourgi R, Kharouf N, Mancino D, Zarow M, Jakubowicz N, et al. Bond strength of universal adhesives to dentin: A systematic review and meta-analysis. *Polymers (Basel)*. 2021;13(5):1-35. <https://doi.org/10.3390/polym13050814>
9. Hardan L, Bourgi R, Cuevas-Suárez CE, Zarow M, Kharouf N, Mancino D, et al. The bond strength and antibacterial activity of the universal dentin bonding system: A systematic review and meta-analysis. *Microorganisms*. 2021;9(6). <https://doi.org/10.3390/microorganisms9061230>
10. Taneja S, Kumari M, Bansal S. Effect of saliva and blood contamination on the shear bond strength of fifth-, seventh-, and eighth-generation bonding agents: An in vitro study. *J Conserv Dent*. 2017;20(3):157-60. <https://doi.org/10.4103/0972-0707.218310>
11. Voinot J, Bedez M. Pretreatments to bonding on enamel and dentin disorders: a systematic review. *Evid Based Dent*. 2024;25(4):215. <https://doi.org/10.1038/s41432-024-01037-z>
12. Irany Porto Gurgel do Amaral, Marcelo Ataíde Feitosa, Mávio Eduardo Azevedo Bispo, Marcos Antonio Japiassú Resende Montes. Influencia del tiempo de almacenamiento en la resistencia de unión a la dentina desproteínizada, utilizando tres diferentes adhesivos dentales [Internet]. Vol. 49, *Acta odontológica venezolana*. 2011. p. 19-20. Available from: <https://www.actaodontologica.com/ediciones/2011/4/art-10/>
13. Hardan L, Bourgi R, Cuevas-Suárez CE, Devoto W, Zarow M, Monteiro P, et al. Effect of Different Application Modalities on the Bonding Performance of Adhesive Systems to Dentin: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Cells*. 2023;12(1):1-22. <https://doi.org/10.3390/cells12010190>
14. El-Housseiny AA, Jamjoum H. The effect of caries detector dyes and a cavity cleansing agent on composite resin bonding to enamel and dentin. *J Clin Pediatr Dent*. 2000;24(4):281-8.
15. Yokota, H., Kubo, S., Yokota, H., Ohsawa, M., & Hayashi Y. Effect of a Caries-detecting Solution on the Tensile Bond Strength of Four Dentin Adhesive Systems. *Dent Mater J*. 2006;25(1):104-10. <https://doi.org/10.4012/dmj.25.66>
16. Hassan MA, Shalaby MEA, Kashkosh LTM, Morsy KES. Effect of caries detecting dye on tensile bond strength of composite resin restorations bonded to dentin. *Tanta Dent J*. 2025 Oct 1;22(4):598-605. https://doi.org/10.4103/tdj.tdj_74_25
17. Yalçın M, Cebe F, Cebe MA, Dünder A, Öztürk B, Şengün A. Çürük tespit boyalarının çürükten etkilenmiş dentinde bağlanma dayanımı üzerine etkisi. *Cumhuriyet Dent J*. 2014;17(2):135-42. <https://doi.org/10.7126/cdj.58140.1008002237>
18. Lim H Le, Thomas MS, Jathanna V, Lewis AJ, Srikant N. Effect of Caries Detecting Dye on Microleakage of Composite Resin Restorations Bonded with Total-etch and Self-etch Adhesive Systems. *J Clin Diagnostic Res*. 2019;13(05):ZC01-3.
19. Piva E, Meinhardt L, Demarco FF, Powers JM. Dyes for caries detection: influence on composite and compomer microleakage. *Clin Oral Investig*. 2002;6(4):244-8.

<https://doi.org/10.1007/s00784-002-0182-3>

20. Hui LE, Thomas MS, Jathanna V, Lewis AJ, Srikanth N. Effect of Caries Detecting Dye on Microleakage of Composite Resin Restorations Bonded with Total-etch and Self-etch Adhesive Systems. J Clin DIAGNOSTIC Res. 2019. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2019/40514.12827>
21. Otake S, Oishi S, Ozaki T, Ikeda M, Komada W. Effect of Method of Removing Caries-Affected Dentin on the Bond Strength of Composite Resin to Root Canal Dentin. Healthc. 2022 Nov 1;10(11). <https://doi.org/10.3390/healthcare10112143>



Depósito Legal: ppi201302ME4323
ISSN: 2343-595X

La Revista Venezolana de Investigación Odontológica de la IADR

<http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/rvio>



ARTÍCULO DE REVISIÓN

Mindfulness para mejorar la salud mental de estudiantes de Odontología: Revisión sistemática *Mindfulness to improve mental health of dental students: A systematic review*

Carlos Javier Pérez Agostini¹ y Arianna Andreina Pérez Benazar²

1. Egresado de la Facultad de Odontología, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-6297-1286>
2. Universidad Santa María, Venezuela. ariperezbenazar@gmail.com. Orcid: <https://orcid.org/0009-0002-9898-0213>

RESUMEN

Historial del artículo

Recibo: 28-04-26
Enviado a evaluación: 29-09-26
Aceptado: 28-07-26
Disponible en línea: 01-9-2026

Palabras clave

bienestar psicológico, intervención psicosocial, meditación, mindfulness, atención plena, estudiantes de odontología.

Keywords

dental students, meditation, mindfulness, psychosocial intervention, psychological well-being.

Introducción: La meditación constituye una herramienta eficaz para promover el bienestar psicológico y manejar el estrés y los síntomas de trastornos psicológicos asociados con situaciones académicas, clínicas y asistenciales altamente demandantes en contextos de formación en salud. **Objetivo:** Este artículo busca evaluar la efectividad de las intervenciones basadas en mindfulness sobre el bienestar mental de estudiantes de Odontología. **Métodos:** Se realizó una búsqueda sistemática de ensayos clínicos controlados en bases de datos electrónicas especializadas (Scopus, Biblioteca Virtual de Salud, Taylor & Francis, Cochrane Central, Trip Database, PsycINFO, Sage Pub, ERIC, Springer Link, CINAHL, DOSS, Wiley Online Library, ProQuest y Medline vía PubMed). **Resultados:** La búsqueda inicial identificó 720 estudios, de los cuales se preseleccionaron 233; tras aplicar los criterios de elegibilidad, se incluyeron 8 estudios para la síntesis cualitativa. Los resultados indican que la meditación mindfulness es efectiva en la reducción de estrés y los síntomas de ansiedad y depresión, la fatiga y el burnout, y el mejoramiento de la calidad de vida, la resiliencia, la satisfacción y el perfil fisiológico. **Conclusiones:** Estos hallazgos tienen implicaciones relevantes para la educación universitaria odontológica; sugieren integrar la meditación como eje transversal curricular para prevenir trastornos mentales y mejorar el bienestar mental del estudiantado.

Autor de correspondencia: Carlos Pérez. E-mail: carlosperezj28@gmail.com

ABSTRACT

Introduction: Meditation is an effective tool for promoting psychological well-being and managing stress and the symptoms of psychological disorders associated with highly demanding academic, clinical, and caregiving situations in health training contexts. **Objective:** This paper aims to assess the effectiveness of mindfulness-based interventions on the mental well-being of dental students. **Methods:** A systematic search for controlled clinical trials was conducted in specialized electronic databases (Scopus, Virtual Health Library, Taylor & Francis, Cochrane Central, Trip Database, PsycINFO, Sage Pub, ERIC, Springer Link, CINAHL, DOSS, Wiley Online Library, ProQuest, and Medline via PubMed). **Results:** The initial search identified 720 studies, of which 233 were preselected; after applying the eligibility criteria, 8 studies were included for qualitative synthesis. The results indicate that mindfulness meditation is effective in reducing stress and symptoms of anxiety and depression, fatigue and burnout, and in improving quality of life, resilience, satisfaction, and physiological profile. **Conclusion:** These findings have relevant implications for college dental education; they suggest integrating meditation as a cross-curricular topic to prevent students' mental disorders and improve their mental well-being.

Introducción

La salud mental implica un equilibrio entre emociones positivas y negativas, ya que no es factible ni deseable eliminar por completo las emociones negativas ¹⁻³; por lo tanto, es necesario gestionar las emociones para promover las positivas y regular las negativas. Los estudiantes de Ciencias de la Salud enfrentan situaciones que pueden afectar su salud mental durante su formación universitaria y profesional, debido a que los programas incluyen situaciones clínicas estresantes ^{4,5}. Los estudiantes de Odontología no se diferencian de otros estudiantes de ciencias de la salud ^{4,6,7}. También, experimentan niveles altos de estrés y variedad de síntomas de depresión y ansiedad durante su formación ⁶⁻⁸, lo cual está asociado con baja atención plena ⁹.

Las altas demandas académicas, clínicas y asistenciales pueden afectar el bienestar psicológico de los estudiantes ⁶. Este se define como el grado en que una persona juzga globalmente su vida en términos positivos ¹⁰. Está relacionado con ser y estar feliz, la posibilidad de desarrollarse individual y socialmente y estar a gusto con sí mismo ¹¹. Tiene que ver con cómo una persona evalúa positivamente la calidad de su vida parcial o coyunturalmente en un momento determinado y global y estructuralmente en toda su vida ¹¹. Por lo tanto, tiene que ver en el funcionamiento humano óptimo, enfatizando el desarrollo de capacidades, el sentido de propósito y la autorrealización personal ¹².

Por lo tanto, resulta fundamental desarrollar estrategias que fomenten la regulación emocional, la autoconciencia y el bienestar mental para afrontar los desafíos inherentes a la formación clínica ¹³. El bienestar se ha estudiado desde dos corrientes ¹⁴. Por un lado, una

corriente se enfoca en el bienestar subjetivo, referido a la evaluación de los aspectos emocionales, afectivos y cognitivos, el afecto positivo, el negativo y la satisfacción. Por el otro, una corriente que evalúa el funcionamiento óptimo de las personas, conocido como bienestar psicológico, el cual ha sido definido como el desarrollo de las capacidades y el crecimiento personal. Coherentemente, tres tradiciones psicológicas explican el bienestar de las personas ¹⁴: la tradición eudemónica, la tradición hedónica y el modelo integrado de desarrollo personal que integra ambas tradiciones.

Desde la tradición eudemónica, el bienestar psicológico está vinculado con la felicidad, entendida como un estado de plenitud y armonía psicológica que supone el desarrollo de las virtudes y, en particular, de la razón ¹⁴. Según esto la felicidad implica una evaluación total de la vida y abarca todos los criterios que figuran en la mente del individuo. Incluye, por ejemplo, la realización personal, el logro de los objetivos personales. La felicidad se alcanza en mayor medida cuando la valoración personal apunta al logro de los objetivos personales, el desarrollo del potencial individual psicológico, la adaptación personal a su medio ¹¹.

Desde la tradición hedónica, el bienestar está relacionado con conceptos como alegría, satisfacción o estar bien y bienestar subjetivo ¹¹. Esta concepción incluye la preferencia por los placeres tanto del cuerpo como de la mente; predomina la visión del bienestar como la felicidad subjetiva construida sobre el placer frente al displacer, incluyendo los juicios sobre las buenas y las malas experiencias de vida.

Por último, Ryff propuso ^{15,16} el modelo integrado de desarrollo personal (Integrated Model of Personal Development) que integra ambas tradiciones ¹⁷. Desde esta perspectiva, el análisis del bienestar psicológico contempla seis dimensiones ^{11,15,16,18-20}: la autoaceptación (actitud positiva hacia uno mismo y reconocimiento integral de aspectos propios, tanto favorables como limitantes); las relaciones positivas con otros (capacidad de establecer vínculos cálidos, empáticos y satisfactorios que permitan intimidad y comprensión mutua); la autonomía (autodeterminación y autorregulación para actuar conforme a valores propios, resistiendo presiones sociales); el dominio del entorno (habilidad para seleccionar o crear contextos que favorezcan la satisfacción de necesidades y valores, generando sensación de control e influencia sobre los acontecimientos); el propósito en la vida (posesión de metas claras y un sentido de direccionalidad que otorgue significado a experiencias pasadas y presentes); y el crecimiento personal (interés continuo por desarrollar el potencial propio, enfrentar nuevos desafíos y observar mejoras a lo largo del tiempo).

La integración de estos componentes permite una comprensión integral del funcionamiento humano óptimo, donde el perfeccionamiento del individuo y el despliegue de su potencial otorgan un sentido profundo a su existencia ²¹. Bajo este marco multidimensional, las puntuaciones elevadas en dichas dimensiones se asocian positivamente con una mayor satisfacción vital y un funcionamiento psicológico saludable ^{22,23}.

La meditación es una de las técnicas más utilizadas para desarrollar el bienestar mental, ya que puede aumentar la calma y la relajación física, mejorar el equilibrio psicológico, ayudar a mejorar la salud física y mental ^{4,24}. En este sentido, el mindfulness ha emergido como una intervención prometedora, capaz de mitigar el agotamiento, la ansiedad y la depresión mediante el entrenamiento en la atención plena ²⁵⁻²⁹. El mindfulness o atención consciente se refiere a prácticas concretas utilizadas para enfocar la atención de una persona (meditación, respiración, concentración) y se caracteriza por la intencionalidad y la observación sin prejuicios de la experiencia. El mindfulness se asocia con la espiritualidad oriental, pero las aplicaciones puramente seculares de mindfulness se han explorado cada vez más en entornos tan variados como en la clínica, el lugar de trabajo, las instituciones correccionales y las instituciones educativas.

Según Oblitas et al. ³⁰, el mindfulness es una estrategia cognitiva atencional que se utiliza para entrenar la regulación de la atención con el propósito de reducir el estrés y promover la salud psicológica. Recientemente se ha convertido en una técnica muy popular en las universidades para reducir el estrés producido por la vida escolar, las tareas y los exámenes. La aceptación del enfoque podría explicarse en gran parte por la percepción del entrenamiento de la atención plena como una habilidad más que como una intervención de salud mental, de fácil aprendizaje y aplicación, que contribuye al bienestar psicológico en los estudiantes ³⁰. Se reportado la efectividad del mindfulness para mejorar el aprendizaje ³¹, el rendimiento académico ^{5,32}, manejar el estrés percibido ^{4,5,33,34}, la ansiedad estado y la ansiedad rasgo ³³, el bienestar psicológico, la competencia social ³² y tratar algunos trastornos psicológicos asociados situaciones académicas, clínicas y asistenciales altamente demandantes ^{4,6,34,35}, desarrollar la concentración, gestionar las emociones y producir relajación, calma y bienestar psicológico ^{5,34,36}.

En el ámbito académico universitario, en los últimos años, se ha reportado numerosas intervenciones basadas en la meditación sola o en combinación con otras técnicas terapéuticas presenciales ³⁴ y en ambientes virtuales ^{13,37,38} con estudiantes de Medicina ^{13,34,39,40}, Odontología ^{41,42}, Enfermería ⁴³, Ciencias de la Salud en general ^{35,44-46} y universitario sin diferenciar la carrera ^{37,38,47-58}. Sus resultados indican que la meditación de atención plena puede disminuir el estrés, la ansiedad y los síntomas de depresión y mejorar el bienestar mental, el estado de ánimo, la autoeficacia y la empatía en estudiantes universitarios, en general, y de Ciencias de la Salud en particular.

Además, se han publicado algunas revisiones sistemáticas que hallaron que la meditación tiene efectos positivos en el largo plazo, tales como mejoras en el aprendizaje, el rendimiento académico, la concentración, el manejo del estrés, la angustia, la ansiedad, síntomas de la depresión y las emociones propias y ajenas relajación y fomento del bienestar mental y físico

5,25,31,32,40,59–61. Sin embargo, estas revisiones se han enfocado en estudiantes universitarios en general^{37,38,47–58}, Ciencias de la Salud^{25,35,44–46,59,62}, Medicina^{13,34,39,40}, Enfermería⁴³.

Hasta la fecha, solo se han publicado cinco revisiones con estudiantes de Odontología: una revisión incluyó intervenciones sobre el manejo del estrés percibido publicadas hasta el 2012⁴²; otra evaluó la salud y el bienestar mental, pero incluyó estudios publicados antes del 2020; Plessas et al.⁶³ evaluaron intervenciones utilizadas para prevenir, mejorar o abordar los problemas de salud mental entre los miembros del equipo de salud bucal y los estudiantes de odontología en países desarrollados, pero incluyeron estudios publicados antes del 2020⁴¹. Por otro lado, se realizó una revisión de alcance sobre el manejo de estrés⁶⁴. Por último, Reza et al.⁶⁵ presentaron una revisión narrativa sobre los factores relacionado con el estrés como trabajo de grado. En vista de esto, se requiere realizar una revisión sistemática actualizada sobre el efecto de la meditación mindfulness con estudiantes de odontología. Por lo tanto, el presente artículo persigue evaluar la efectividad de la meditación mindfulness en el bienestar mental de estudiantes de Odontología con base en una revisión sistemática de la literatura publicada desde el 2020.

Esta investigación busca cerrar la brecha en la literatura actual, analizando críticamente el impacto de las intervenciones basadas en la atención plena para fortalecer la resiliencia psicológica frente a las exigencias clínicas específicas del ámbito odontológico. Asimismo, esta revisión pretende sintetizar la evidencia más reciente para determinar si los programas de entrenamiento en atención plena representan una estrategia válida y sostenible que permita mitigar el distrés psicológico característico de la formación profesional en odontología. Para alcanzar dicho objetivo, este estudio sistematiza y analiza los ensayos clínicos publicados recientemente, que proporcionan una estimación precisa de los beneficios de estas intervenciones sobre los indicadores de salud mental en la población estudiantil.

Materiales y métodos

Se realizó una búsqueda sistemática de la literatura para identificar, analizar, evaluar y resumir ensayos clínicos sobre la efectividad de intervenciones basadas en el mindfulness en el bienestar mental de estudiantes de Odontología, publicadas en revistas científicas desde el 2020, empleando el protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses) para revisiones sistemáticas^{66,67}.

Formulación de la pregunta de investigación PICO

Con tal fin, siguiendo la estrategia PICO (Pacientes, intervención, comparación, resultados/desenlace, tiempo y diseño)⁶⁸, se formuló la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuál es la efectividad de la meditación mindfulness en el bienestar mental de estudiantes de

Odontología con base en una revisión sistemática de la literatura publicada en los últimos siete años?

Tabla 1. Descripción de la pregunta de investigación siguiendo la estrategia PICOT

Criterios	Descripción
Población	Estudiantes de la carrera de odontología, de grado o postgrado
Intervención	Intervenciones basadas en la meditación mindfulness
Comparación	Sin intervención u otras intervenciones cognitivo conductuales
Resultados	Estrés, angustia, ansiedad, síntomas de depresión gestión de emociones propias y ajenas, relajación y bienestar mental informados mediante instrumentos estandarizados
Diseño de los estudios	Ensayos clínicos aleatorizados

Revisión bibliográfica

Tras revisar buena parte de la bibliografía publicada al respecto, el estudio se centró en identificar artículos publicados en revistas especializadas, arbitradas por pares e indexadas, teniendo en cuenta aspectos, tales como la fecha de publicación, impacto e internacionalidad de la revista, citas recibidas, las bases de datos en las que están indexadas.

Fuentes de información

En esta revisión, la búsqueda de publicaciones científicas se realizó en las siguientes editoriales y bases de datos electrónicas: Scopus, Biblioteca virtual de Salud (BVS), Taylor & Francis, Cochrane Central, Trip Database, PsycINFO, Sage Pub, ERIC, Springer Link, CINAHL, DOSS, Wiley Online Library, ProQuest, Medline (vía Pubmed).

Descriptores

La búsqueda se llevó a cabo combinando los siguientes MeSH (*Medical Subjects Headings*) y DeCS (descriptores de ciencias de la Salud) mediante el uso de los operadores lógicos booleanos AND, OR, NOT. En español, ("bienestar psicológico" OR "bienestar mental" OR "salud mental" OR "calidad de vida") AND ("intervención psicosocial" OR "programa de manejo del estrés" OR "intervención basada en mindfulness") AND (meditación OR mindfulness OR "atención plena") AND ("estudiantes de odontología" OR "estudiantes de odontología" OR "estudiantes de ciencias de la salud bucal" OR "estudiantes de salud oral"). En Inglés, ("psychological well-being" OR "mental well-being" OR "mental health" OR "quality of life") AND ("psychosocial intervention" OR "stress management program" OR "mindfulness-based intervention") AND (meditation OR mindfulness) AND ("dental students" OR "dentistry students" OR "oral health students" OR "health sciences students" AND dentistry).

Cómo citar: Pérez C y Pérez A. Mindfulness para mejorar la salud mental de estudiantes de Odontología: Revisión sistemática. Rev Venez Invest Odont IADR. 2026;14(2): 83-104.

Criterios de inclusión y exclusión

Se evaluó la elegibilidad de cada uno de los documentos identificados. Primero, se verificó mediante la lectura del título, el resumen o abstract y las palabras clave, que se trataba de un ensayo clínico que empleara la meditación. Luego, al revisar la metodología del estudio, se verificó que se tratara de un ensayo clínico aleatorizado. Finalmente, para su inclusión definitiva se verificó que el documento tuviera acceso al texto completo.

Se seleccionaron los estudios que cumplieron con los siguientes criterios de inclusión:

- Publicados entre el 2020 y el 2026,
- escritos en inglés o español,
- disponibles en texto completo,
- ensayos clínicos aleatorizados,
- publicados en revistas científicas arbitradas por pares incluidas en bases de datos internacionales.

Por otro lado, se excluyeron de esta revisión sistemática:

- estudios observacionales descriptivos y analíticos,
- ensayos clínicos no controlados y no aleatorizados,
- estudios de enfoque mixto o cualitativo,
- estudios documentales,
- publicados antes del 2020.

Evaluación del riesgo de sesgo

Dos evaluadores independientes examinaron los estudios identificados para determinar el riesgo de sesgo se evaluó mediante la herramienta RoB-2 ⁶⁸ para ensayos clínicos aleatorizado, la cual examina cinco dimensiones:

- Sesgo derivado del proceso de aleatorización.
- Sesgo debido a desviaciones de la intervención prevista.
- Sesgo debido a datos incompletos.
- Sesgo en la medición de los resultados.
- Sesgo en la selección de los resultados reportados.

Síntesis de los resultados

Una vez seleccionados los estudios incluidos en la revisión, se leyeron los textos completos para analizar de forma cuantitativa las variables, cuyos resultados se tabularon en una hoja de cálculo de Microsoft Excel[®]: autor y año, país del estudio, objetivo, tamaño de muestra,

grupos, tipo de intervención empleada, comparación, variables evaluadas, instrumentos de medición empleados y resultados de la efectividad de las intervenciones.

Se realizó una búsqueda electrónica en las bases de datos PubMed, Scopus y Google Scholar, empleando términos MeSH (*Medical Subject Headings*) y DeCS (Descriptores de Ciencias de la Salud): (“*marginal and internal adaptation*” AND “*endocrown*” AND “*lithium disilicate*”). Se buscaron estudios sobre la adaptación marginal e interna publicados en inglés y español desde el año 2019 - 2026. Se incluyeron ensayos clínicos aleatorizados que evaluaron la adaptación marginal e interna de las restauraciones endocoronas. Por su parte, se excluyeron ensayos clínicos que no informaron explícitamente la adaptación marginal e interna y estudios preclínicos, revisiones, estudios observacionales.

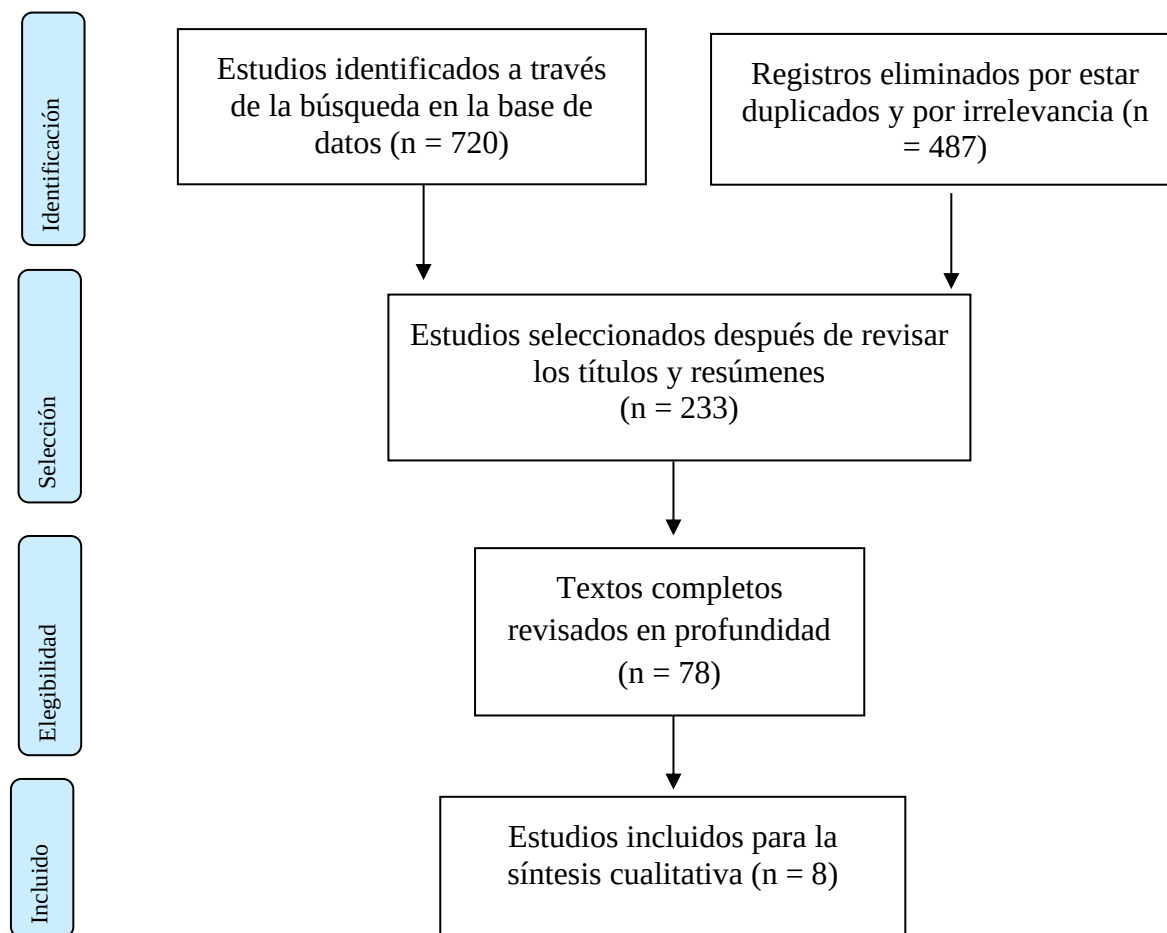
La selección de los artículos se realizó considerando su relevancia a partir, primero, del título, resumen y palabras clave. Posteriormente, se examinó el texto completo. Todos los artículos recuperados mediante búsqueda electrónicas se reunieron y evaluaron para su inclusión de acuerdo con los criterios de elegibilidad. La extracción de datos se sistematizó en una hoja de cálculo de Excel, en la que se describieron las siguientes variables: autor y año de publicación, muestra, grupos, material evaluado, diseño de la preparación marginal, técnica de medición, puntos de referencia para la adaptación, adaptación marginal y adaptación interna, conclusiones.

Resultados

Proceso de búsqueda y selección

La revisión sistemática siguió un proceso estructurado en tres etapas: identificación, cribado y elegibilidad. En la fase de identificación, se realizó una búsqueda exhaustiva en 14 bases de datos y editoriales especializadas (Scopus, BVS, Taylor & Francis, Cochrane Central, Trip Database, PsycINFO, Sage Pub, ERIC, Springer Link, CINAHL, DOSS, Wiley Online Library, ProQuest y Medline vía PubMed). Esta búsqueda inicial recuperó 710 registros, de los cuales 233 fueron preseleccionados tras aplicar filtros por título, resumen y palabras clave, y verificar que correspondieran a ensayos clínicos que evaluaran el efecto de la meditación. En la fase de elegibilidad, se revisó la metodología de cada documento para confirmar que fueran ensayos clínicos controlados y se verificó la disponibilidad de texto completo; adicionalmente, se aplicaron criterios de inclusión (publicados entre 2020 y 2026, en inglés o español, ECC, texto completo, revistas indexadas) y exclusión (estudios observacionales, ensayos no controlados o no aleatorizados, enfoques mixtos o cualitativos, estudios documentales y publicaciones anteriores a 2020). Tras este proceso, 8 estudios cumplieron todos los criterios y fueron incluidos para la síntesis cualitativa de la revisión (Figura 1).

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de selección y búsqueda siguiendo PRISMA



Evaluación del riesgo de sesgo

La evaluación del riesgo de sesgo muestra que la mayoría de los estudios presenta bajo riesgo: seis de ocho registros tienen bajo riesgo en aleatorización, solo dos (Ucak Turer et al., 2026; Lin et al., 2026) mostraron cierta preocupación por posible incertidumbre en la asignación; en cuanto a desviaciones de la intervención, seis estudios tienen bajo riesgo mientras dos (de Araujo et al., 2020; Gómez et al., 2021) presentan cierta preocupación por posibles diferencias en implementación o adherencia; todos los estudios exhiben bajo riesgo en resultados incompletos, medición de resultados y presentación selectiva, lo que indica manejo adecuado de pérdidas, instrumentos consistentes y reporte completo de desenlaces. Por lo tanto, globalmente, seis estudios se clasifican con bajo riesgo de sesgo y dos con cierta preocupación en al menos un dominio, pero no alcanza alto riesgo, lo que respalda una calidad metodológica aceptable para síntesis narrativa, aunque recomienda cautela al interpretar efectos debido a incertidumbres en aleatorización e implementación en algunos casos.

Tabla 1. Riesgo de sesgo de los estudios incluidos

Autores	Año	Aleatorización	Desviaciones de la intervención prevista	Resultados incompletos	Medición de los resultados	Presentación selectiva de resultados	Evaluación global
de Araujo et al. ⁶⁹	2020	√	?	√	√	√	√
Singh et al. ⁷⁰	2020	√	√	√	√	√	√
Lane et al. ⁷¹	2021	√	√	√	√	√	√
Gómez et al. ⁷²	2021	√	?	√	√	√	√
Repo et al. ⁶¹	2022	√	√	√	√	√	√
Malheiros et al. ⁷³	2023	√	√	√	√	√	√
Ucak Turer et al. ⁷⁴	2026	¿	√	√	√	√	√
Lin et al. ⁷⁵	2026	¿	√	√	√	√	√

Nota: √ = bajo riesgo de sesgo; X = alto riesgo de sesgo; ¿ = cierta preocupación

Síntesis cualitativa de los estudios incluidos

Como se muestra en la Tabla 3, se incluyeron nueve estudios publicados entre 2020 y 2026, con diseños que incluyen ensayos controlados que comparan entre intervenciones activas o con grupo control sin intervención; la mayoría se centra en estudiantes de odontología de grado y algunos incluyen, además, estudiantes de otras ciencias de la salud afines, y uno estudio incluyó residentes de postgrado de Odontología. Los tamaños muestrales varían entre 30 y 149 participantes; seis estudios usan dos grupos (experimental vs control), dos emplean tres grupos (comparando intervenciones activas) y uno trabaja con una sola cohorte pre-post. Respecto de la edad de los participantes, todos son mayores de 18 años. Las edades oscilan entre 22 y 35 años.

En cuanto al tipo de intervención, predominan las intervenciones basadas en mindfulness/atención plena (curso electivo, taller presencial/virtual, curso modificado, programa universitario), complementadas con enfoques afines como yoga, autocompasión y videos motivacionales; las modalidades incluyen sesiones presenciales, virtuales y combinadas. La mayoría compara contra control sin intervención; dos estudios comparan intervenciones activas entre sí (yoga vs videos motivacionales vs combinación; taller virtual vs presencial). La duración varía desde dos sesiones únicas hasta programas de 4, 6, 8, 9 y 12 semanas, y un seguimiento de 6 meses; las sesiones varían entre 30 min y 240 min por encuentro.

Los desenlaces evaluados con mayor frecuencia son estrés percibido (PSS) y síntomas de estrés/ansiedad; también se evalúan el bienestar psicológico, la calidad de vida, la fatiga, la resiliencia, la satisfacción, el agotamiento (burnout), las emociones positivas/negativas, la atención plena, la autocompasión y algunos marcadores fisiológicos, como presión arterial, frecuencia cardíaca, cortisol, oxitocina, IL-6, IL-1 β . Estos fueron medidos empleando instrumentos validados autoinformados (PSS, MAAS, PANAS-X, WHO-5, WHOQOL-BREF, MFI-20, CORE-OM, ISSL, STAI/STAIT, CD-RISC-10, PMSS-D, STQL-S) y, en menor medida, medidas fisiológicas, como cortisol en saliva, presión arterial, frecuencia cardíaca y marcadores inflamatorios y hormonales.

Como se resultado se encontró que la mayoría de los estudios reportó beneficios en la reducción de estrés y los síntomas de ansiedad y depresión, mejora de calidad de vida, mayor resiliencia y satisfacción, menor fatiga y burnout, mejor perfil fisiológico; sin embargo, un estudio no halló diferencias estadísticamente significativas entre mindfulness y control pese a reducciones pre-post; otro halló beneficios en bienestar psicológico, peor estos se mantienen solo con práctica continuas y frecuentes. En conjunto, los hallazgos sugieren la efectividad de la mindfulness para mejorar la salud mental de los estudiantes de odontología, independientemente de las variables tipo, duración y adherencia a la intervención.

Tabla 2. Descripción de los estudios incluidos

Autor	Muestra y grupos	Edad	Tipo de intervención	comparación	Duración	Variable evaluada	Medición	Resultados
de Araujo et al. ⁶⁹	30 estudiantes, dos grupos	22	Curso	Control sin intervención	Sesiones de 240 min, 9 semanas	Estrés percibido, atención plena, emociones negativas y positivas	PSS, Escala de Conciencia de Atención Consciente (MAAS), Programa X de Afecto Positivo y Negativo (PANAS-X) y el Índice de Bienestar WHO-5	El curso electivo centrado en la meditación de atención plena y la compasión desarrolló habilidades socioemocionales, de bienestar y de autoconciencia en los estudiantes, y redujo las emociones negativas.
Gómez et al. ⁷²	110 estudiantes, dos grupos	25	Taller	Control sin intervención	4 semanas	Calidad de Vida, Fatiga Crónica	WHOQOL-BREF, Inventario de Fatiga Multidimensional (MFI-20)	Los resultados indicaron una mejora significativa en todas las dimensiones relacionadas con la calidad de vida y una disminución de la fatiga prolongada en el grupo experimental que asistió al taller.
Repo et al. ⁶¹	102 estudiantes, tres grupos	>18	Taller virtual	Taller presencial	Sesiones de 30 min, 8 semanas	Estrés, bienestar psicológico	Resultados clínicos en la medida de resultados de evaluación de rutina (CORE-OM), niveles de cortisol medidos a partir de muestras de cabello	La meditación de atención plena puede mitigar el malestar psicológico de los estudiantes, pero solo si continúan practicando la meditación al menos dos veces por semana
Malheiros et al. ⁷³	123 estudiantes de pregrado		Curso de atención plena modificado	Control sin intervención	Dos sesiones	síntomas de estrés y ansiedad	Inventario de síntomas de estrés de Lipp para adultos (ISSL), Inventario de ansiedad estado-rasgo (STAI), encuesta sociodemográfica	Aunque los síntomas de estrés y ansiedad disminuyeron, no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de atención plena y control.
Singh et al. ⁷⁰	120 estudiantes, tres grupos		Yoga, videos motivacionales y una combinación de ambos	Entre intervenciones	12 semanas	Síntomas de estrés	STAIT	Las puntuaciones STAI-A disminuyen significativamente en el grupo 1 y el grupo 3. Existe una correlación positiva entre el yoga y los videos motivacionales con la reducción del estrés.
Ucak Turer et al. ⁷⁴	49 residentes		Autocompasión	Control sin intervención	8 semanas	Agotamiento	STAIT, cortisol, oxitocina	El grupo experimental mostró niveles más bajos de IL-6 e IL-1 β , un patrón diurno de cortisol más adaptativo, niveles más altos de oxitocina en comparación con los controles, reducciones en las puntuaciones de agotamiento y ansiedad, y aumentos en la autocompasión y la conciencia plena.
Lane et al. ⁷¹	32 estudiantes, dos grupos		Yoga	Control sin intervención	6 sesiones	Estrés, presión arterial, frecuencia cardiaca	PSS, presión arterial, frecuencia cardiaca	El grupo experimental redujo el estrés y la tensión arterial significativamente
Lin et al. ⁷⁵	149 estudiantes		Mindfulness	Control sin intervención	6 meses	Desarrollo de la resiliencia, comportamiento saludable, estrés percibido y satisfacción con la vida	Escala de Resiliencia de Connor-Davidson (CD-RISC-10), Instrumento de Estrés Percibido en la Facultad de Medicina (PMSS-D), Cuestionario sobre Manejo del Estrés y Calidad de Vida en Estudios Médicos (STQL-S)	Los participantes en la capacitación mostraron una resiliencia significativamente mayor, una reducción del estrés subjetivo y una mayor satisfacción general.

Cómo citar: Pérez C y Pérez A. Mindfulness para mejorar la salud mental de estudiantes de Odontología: Revisión sistemática. Rev Venez Invest Odont IADR. 2026;14(2): 83-104.

Discusión

La revisión de la literatura indica que los estudiantes de Odontología enfrentan altos niveles de estrés, debido a las exigencias académicas relacionadas, entre otros, con la atención clínico asistencial, cumplir récords clínicos, atender pacientes ^{4,34,35}. Además, los resultados de las investigaciones recientes han observado que el estrés y la ansiedad de los estudiantes de Odontología interfieren en su concentración y capacidad para procesar la información los problemas de salud mental y, en consecuencia, afectan su desempeño y rendimiento académico ^{5,76}. Asimismo, evidencia científica internacional que sustenta la efectividad de la meditación para mejorar el bienestar psicológico de estudiantes ^{5,31,32,40,60,61}.

A diferencia de trabajos previos que abarcaron poblaciones universitarias heterogéneas en general ^{37,38,47-58} y en una diversidad de carreras de la salud ^{35,44-46}, esta revisión se enfoca exclusivamente en las particularidades clínicas y la carga asistencial propias de la formación odontológica. En este contexto, esta revisión sistemática tuvo como objetivo evaluar la efectividad de la meditación mindfulness en el bienestar mental de estudiantes de Odontología con base en una revisión sistemática de la literatura publicada desde el 2020. En tal sentido, los estudios incluidos hallaron que las intervenciones basadas en la meditación mindfulness tuvieron un efecto positivo en el bienestar psicológico de los estudiantes de odontología, en términos manejo del estrés, las emociones, los síntomas de ansiedad y depresión. Estos resultados coinciden con los hallazgos de revisiones previas con estudiantes de odontología ^{41,42,63,65}.

También coinciden con revisiones previas que han evaluado intervenciones basadas en la meditación en estudiantes Medicina ^{13,34,39,40}, Enfermería ⁴³, estudiantes de Ciencias de la Salud en general ^{35,44-46} y estudiantes universitarios de otras carreras ^{37,38,47-58}. Al realizar una comparación más detallada, se observa que la meditación de atención plena tuvo un impacto en los síntomas de depresión y de ansiedad, la regulación emocional, la presión arterial y el bienestar mental de estudiantes universitarios ^{38,50}. También, coincidiendo con otras revisiones, se ha observado mejoras en la regulación emocional y las interacciones sociales y visualizaciones más positiva de la vida ¹². En consecuencia, mejora el rendimiento académico ^{5,31,32,60}. Coincidiendo con estudios previos ^{38,50,77}, se observó variabilidad en las modalidades de intervención y en las herramientas empleadas. También, coincidiendo con revisiones anteriores ^{38,50}, la duración de las sesiones y la modalidad de las intervenciones no influye en su efectividad ^{38,50,77}.

Nuestros hallazgos pueden deberse a que la estructura cognitiva del mindfulness permite una reevaluación positiva de los estresores académicos, lo cual promueve una mejora tangible tanto en la resiliencia como en la percepción general del bienestar de los estudiantes ³⁴. Además, el uso de la atención plena promueve la toma conciencia sin juzgar, lo que previene

la aparición de emociones negativas ^{4,33-35,78}, reduce los niveles de estrés y los síntomas de depresión y la ansiedad ^{7,43,55,57,73}, aumenta la empatía ³⁹ y mejora el bienestar psicológico en general ^{7,11,15,16,18-20}.

Además, se resalta la viabilidad de la integración de estos programas en el currículo, lo cual puede facilitar el establecimiento de centros de apoyo institucional y consolidar el autocuidado como un componente esencial en la formación profesional frente al agotamiento académico ^{79,80}. De esta manera, la adopción trasversal de protocolos estandarizados de atención plena compensa la necesidad de salud mental estudiantil y desarrolla la competencia emocional necesaria para enfrentar las exigencias clínicas, académicas, asistenciales de la carrera Odontología ^{4,34,35}. Asimismo, las instituciones educativas deben considerar la incorporación formal de estas técnicas como una medida preventiva contra el síndrome de desgaste profesional desde las etapas tempranas de la formación ^{25,80-82}. La implementación sistemática de estas estrategias podría reducir la vulnerabilidad frente al agotamiento crónico, similar a los resultados observados en otras áreas de la medicina donde el mindfulness ha fortalecido la autorreflexión y el equilibrio emocional ^{30,83,84}. Por último, es necesario que las facultades de Odontología promuevan la formación docente en estas técnicas y el desarrollo de grupos de apoyo entre pares para garantizar la integración efectiva y sostenible de la meditación en cualquiera de sus modalidades en el currículo odontológico ⁸⁵.

En conclusión, los estudiantes de odontología experimentan un estrés de moderado a alto, principalmente de origen académico y clínico. Dado que la atención plena ayuda a reducir el estrés, la ansiedad y los síntomas depresivos, y a mejorar el bienestar mental, se necesita un mayor apoyo institucional. Por lo tanto, mejorar el acceso a los recursos institucionales de salud mental y fomentar entornos de apoyo podría mejorar el bienestar inmediato de los estudiantes y prepararlos para el éxito a largo plazo y la resiliencia emocional en sus carreras profesionales.

Con base en los hallazgos, se recomienda realizar más investigaciones que diseñen, implementen y evalúen intervenciones dirigidas al manejo de las emociones en odontología. La heterogeneidad metodológica limita la generalización de los resultados resalta la necesidad de estudios longitudinales con mayor rigor metodológico que empleen instrumentos de medición estandarizados, dado que la variabilidad en las herramientas de medición dificulta la consolidación de conclusiones robustas. Asimismo, es imperativo que las futuras investigaciones incorporen grupos de control adecuados y tamaños muestrales representativos para superar las limitaciones en la comparabilidad de los datos. Se necesitan ensayos clínicos aleatorizados que evalúen el efecto de la atención plena en el bienestar mental de los estudiantes de odontología.

Referencias

1. Eapen V, Mabrouk AA, Sabri S, Bin-Othman S. A controlled study of psychosocial factors in young people with diabetes in the United Arab Emirates. *Ann N Y Acad Sci* [Internet]. 2006;1084:325–8. DOI:10.1196/annals.1372.020
2. Capistrant BD, Friedemann-Sánchez G, Novak LK, Zuijdewijk C, Ogle GD, Pendsey S. Mental health and well-being among type 1 diabetes caregivers in India: Evidence from the IDREAM study. *Diabetes Res Clin Pract* [Internet]. 2017;134:168–77. DOI:10.1016/j.diabres.2017.10.009
3. Office of Disease Prevention and Health Promotion. Healthy People 2020 [Internet]. 2021 [cited 2021 Sep 23]. Health-Related Quality of Life and Well-Being. Disponible en: <https://www.healthypeople.gov/2020/about/foundation-health-measures/Health-Related-Quality-of-Life-and-Well-Being>
4. Henderson S. A pilot study of meditation as a stress reliever for dental hygiene students during times of heightened stress. Eastern Washington University; 2021.
5. Paul G, Elam B, Verhulst SJ. A Longitudinal Study of Students' Perceptions of Using Deep Breathing Meditation to Reduce Testing Stresses. *Teach Learn Med* [Internet]. 2007;19(3):287–93.
6. Guthardt L, Niedworok C, Muth T, Loerbroks A. Stress, psychosocial resources and possible interventions: a qualitative study among dental students. *BMC Med Educ* [Internet]. 2024;24(1):1–16. DOI:10.1186/s12909-024-06472-1
7. Ibnian D, Barba A, Mojtahedi S, Friesen D, Oyoyo U, Kwon SR. Assessment of Stress Levels and Coping Strategies Among Students at a Dental School in Southern California. *J Calif Dent Assoc* [Internet]. 2025;53(1). DOI:10.1080/19424396.2025.2539525
8. Khanagar SB, Al-eaideb A, Jamleh A, Ababneh K, Maganur PC, Vishwanathaiah S, et al. Psychological Distress among Undergraduate Dental Students in Saudi Arabia and Its Coping Strategies — A Systematic Review. *Healthcare* [Internet]. 2021;9(429):1–10.
9. Yildirim S, Kaya E. Mindfulness, Perceived Stress and Coping Strategies during COVID-19 Pandemic in Turkish Dentistry Students. *J Basic Clin Heal Sci* [Internet]. 2022;6(3):732–42. DOI:10.30621/jbachs.1065806
10. Casullo MM. Evaluación del bienestar psicológico en Iberoamérica. Paidós; 2002.
11. Muratori M, Zubietta E, Ubillos S, González JL, Bobowik M. Happiness and psychological well-being: A comparative study between Argentina and Spain. *Psyche* [Internet]. 2015;24(2):1–18. DOI:10.7764/psyche.24.2.900

Cómo citar: Pérez C. Mindfulness para mejorar la salud mental de estudiantes de Odontología: Revisión sistemática. *Rev Venez Invest Odont IADR*. 2026;14(2): 83-104.

12. Fazia T, Bubbico F, Nova A, Buizza C, Cela H, Iozzi D, et al. Improving stress management, anxiety, and mental well-being in medical students through an online Mindfulness-Based Intervention: a randomized study. *Nat Sci Reports* [Internet]. 2023;13(1):1–13. DOI:10.1038/s41598-023-35483-z
13. Yogeswaran V, El Morr C. Effectiveness of online mindfulness interventions on medical students' mental health: a systematic review. *BMC Public Health* [Internet]. 2021;21(1):1–12. DOI:10.1186/s12889-021-12341-z
14. Santos MC. El bienestar psicológico: diferencias según el sexo. *Control* [Internet]. 2015;7(3):6–13.
15. Ryff CD. Beyond Ponce de Leon and Life Satisfaction: New Directions in Quest of Successful Ageing. *Int J Behav Dev* [Internet]. 1989;12(1):35–55. DOI:10.1177/016502548901200102
16. Ryff CD. Happiness is everything, or is it? Explorations on the meaning of psychological well-being. *J Pers Soc Psychol* [Internet]. 1989;57(6):1069–81. DOI:10.1037/0022-3514.57.6.1069
17. Carrasco AER, Garcia-Mas A, Brustad RJ. Estado del arte, y perspectiva actual del concepto de bienestar psicológico en psicología del deporte. *Rev Latinoam Psicol* [Internet]. 2009;41(2):335–47.
18. Bonilla Silva K, Padilla Infanzon Y. Pilot study of a mindfulness-based group intervention for anxiety management for college students in Puerto Rico. *Rev Puertorriquena Psicol* [Internet]. 2015;26(1):72–87.
19. Vera-Villarroel P, Alfonso Urzúa M, Silva JR, Pavez P, Celis-Atenas K. Escala de bienestar de ryff: Análisis comparativo de los modelos teóricos en distintos grupos de edad. *Psicol Reflex e Crit* [Internet]. 2013;26(1):106–12. DOI:10.1590/S0102-79722013000100012
20. Rosa-Rodríguez Y, Cartagena NN, Peña YM, Berrios AQ, Osorio NT. Dimensions of psychological well-being and perceived social support in relation to sex and level of study in university students. *Av en Psicol Latinoam* [Internet]. 2015;33(1):31–44. DOI:10.12804/apl33.01.2015.03
21. García-torres M, Jesús A De, Mirna A castro. Bienestar psicológico y burnout en personal de salud durante la pandemia de COVID-19. *Escritos Psicol* [Internet]. 2021;14(2):96–106. DOI:https://doi.org/10.24310/epsiescpsi.v14i2.13618
22. Ferrer C. El optimismo y su relación con el bienestar psicológico. *Rev Científica Arbitr la Fund Mentecl* [Internet]. 2020;5:1–14.
23. Castillo IB, Marie P, Elías P, Sánchez-vincitore L V, Lisbeth A, Camilo M. Estrategias

de Afrontamiento: efectos en el bienestar psicológico de universitarios durante la pandemia del COVID-19. *Cienc Soc* [Internet]. 2021;46(4):31–48. DOI:<https://doi.org/10.22206/cys.2021.v46i4.pp31-48>

24. National Institutes of Health. Meditation: In depth. US Department of Health and Human Services, National Institutes of Health; 2016.
25. Lu CP, Dijk SW, Pandit A, Kranenburg L, Luik AI, Hunink MGM. The effect of mindfulness-based interventions on reducing stress in future health professionals: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Appl Psychol Heal Well-Being* [Internet]. 2024;16(2):765–92. DOI:10.1111/aphw.12472
26. Sekhar P, Tee QX, Ashraf G, Trinh D, Shachar J, Jiang A, et al. Mindfulness-based psychological interventions for improving mental well-being in medical students and junior doctors. *Cochrane Database Syst Rev* [Internet]. 2021;2021(12). DOI:10.1002/14651858.CD013740.pub2
27. Garg R, James KS. Evaluating Digital Mindfulness Interventions for Mental Health and Well-Being in Healthcare Education: A Scoping Review. *J Int Oral Heal* [Internet]. 2025;17:85–95. DOI:10.4103/jioh.jioh
28. Chen B, Yang T, Xiao L, Xu C, Zhu C. Effects of Mobile Mindfulness Meditation on the Mental Health of University Students: Systematic Review and Meta-analysis Corresponding Author: *J Med Internet Res* [Internet]. 2023;25:1–16. DOI:10.2196/39128
29. Id ELS, Hulett JM, Sherwin LB, Thompson S, Bettencourt BA. The effect of mindfulness interventions on stress in medical students: A systematic review and meta-analysis. *PLoS One* [Internet]. 2023;18(10):1–24. DOI:10.1371/journal.pone.0286387
30. Oblitas LA, Soto DE, Anicama JC, Arana AA. Incidencia del mindfulness en el estrés académico en estudiantes universitarios: Un estudio controlado. *Ter psicológica* [Internet]. 2019;37(2):116–28.
31. Shirahatti R V, Shah C, Kazi M, Bhosale A, Panchaw D. Impact of gibberish meditation on student 's learning. *Int J Med Sci Public Heal* [Internet]. 2014;2(2):446–52. DOI:10.5455/ijmsph.2013.2.446-452
32. Waters L, Barsky A, Ridd A, Allen K. Contemplative Education: A Systematic, Evidence-Based Review of the effect of Meditation Interventions in Schools. *Educ Psychol Rev* [Internet]. 2015;27(1):103–34. DOI:10.1007/s10648-014-9258-2
33. Alvarado-García PA, Soto-Vásquez MR, Rosales-Cerquin L. Atención plena y bienestar psicológico: un estudio controlado y aleatorizado. *Med Natur* [Internet]. 2019;13(2):1–6.

Cómo citar: Pérez C. Mindfulness para mejorar la salud mental de estudiantes de Odontología: Revisión sistemática. *Rev Venez Invest Odont IADR*. 2026;14(2): 83-104.

34. da Silva CCG, Bolognani CV, Amorim FF, Imoto AM. Effectiveness of training programs based on mindfulness in reducing psychological distress and promoting well-being in medical students: a systematic review and meta-analysis. *Syst Rev* [Internet]. 2023;12(1):1–28. DOI:10.1186/s13643-023-02244-y
35. McConville J, Mcaleer R, Hahne A. Mindfulness Training for Health Profession Students The effect of mindfulness training on psychological wellbeing, learning and clinical performance of health professional students: a systematic review of randomised and non- randomised controlled trials. *Explor J Sci Heal* [Internet]. 2017;13(1):26–45. DOI:10.1016/j.explore.2016.10.002
36. Wolkin JR. Cultivating multiple aspects of attention through mindfulness meditation accounts for psychological well-being through decreased rumination. *Psychol Res Behav Manag* [Internet]. 2015;8:171–80. DOI:10.2147/PRBM.S31458
37. Davies EB, Morriss R, Glazebrook C. Computer-delivered and web-based interventions to improve depression, anxiety, and psychological well-being of university students: A systematic review and meta-analysis. *J Med Internet Res* [Internet]. 2014;16(5):1–22. DOI:10.2196/jmir.3142
38. Alrashdi DH, Chen KK, Meyer C, Gould RL. A Systematic Review and Meta-analysis of Online Mindfulness-Based Interventions for University Students: An Examination of Psychological Distress and Well-being, and Attrition Rates. *J Technol Behav Sci* [Internet]. 2023;(0123456789). DOI:10.1007/s41347-023-00321-6
39. Daya Z, Hearn JH. Mindfulness interventions in medical education: A systematic review of their impact on medical student stress, depression, fatigue and burnout. *Med Teach* [Internet]. 2018;40(2):146–53. DOI:10.1080/0142159X.2017.1394999
40. Hathaisaard C, Wannarit K, Pattanaseri K. Mindfulness-based interventions reducing and preventing stress and burnout in medical students: A systematic review and meta-analysis. *Asian J Psychiatr* [Internet]. 2022;69:102997. DOI:10.1016/j.ajp.2021.102997
41. Lee LS, Bakar NA, Basri NA, Ludin SM. Mental Health and Well-Being of Undergraduate Dental Students: A Systematic Review. *Int J Care Sch* [Internet]. 2021;4(2):5670.
42. Alzahem AM, Molen HT Van Der, Alaujan AH, Benjamin J. Stress management in dental students: a systematic review. *Adv Med Educ Pract* [Internet]. 2014;2014:167–76. DOI:10.2147/AMEP.S46211
43. van der Riet P, Levett-Jones T, Aquino-Russell C. The effectiveness of mindfulness meditation for nurses and nursing students: An integrated literature review. *Nurse Educ Today* [Internet]. 2018;65:201–11. DOI:10.1016/j.nedt.2018.03.018

44. Escobar-Domingo, J-g O, Escobar-Domingo MJ, Becerra L, Moreno F, Doctor en Ciencias Biomédicas Profesor del B, et al. Relación entre la disminución del estrés académico y la práctica de yoga en estudiantes de las áreas de la salud. Revisión de la literatura. Univ Médica [Internet]. 2021;62(4):1–12. DOI:https://doi.org/10.11144/Javeriana.umed62-4.yoga
45. O'Driscoll M, Byrne S, Mc Gillicuddy A, Lambert S, Sahm LJ. The effects of mindfulness-based interventions for health and social care undergraduate students—a systematic review of the literature. Psychol Heal Med [Internet]. 2017;22(7):851–65. DOI:10.1080/13548506.2017.1280178
46. Balasooriya Lekamge R, Gasevic D, Karim MN, Ilic D. Mindfulness for academic performance in health professions students: a systematic review. BMJ Evidence-based Med [Internet]. 2022. DOI:10.1136/bmjebm-2021-111853
47. Delgado M, Salazar M, Vargas D, Uribe J, Palencia F. Intervenciones del tipo espacio seguro para generar bienestar en contextos universitarios y su efectividad: una revisión rápida de la literatura. PsyArXiv [Internet]. 2023;5:1–23. DOI:10.31234/osf.io/f6kd3
48. Worsley JD, Pennington A, Corcoran R. Supporting mental health and wellbeing of university and college students: A systematic review of review-level evidence of interventions. PLoS One [Internet]. 2022;17(7):1–20. DOI:10.1371/journal.pone.0266725
49. Chiodelli R, Mello LTN de, Jesus SN de, Beneton ER, Russel T, Andretta I. Mindfulness-based interventions in undergraduate students: a systematic review. J Am Coll Heal [Internet]. 2022;70(3):791–800. DOI:10.1080/07448481.2020.1767109
50. Dawson AF, Brown WW, Anderson J, Datta B, Donald JN, Hong K, et al. Mindfulness-Based Interventions for University Students: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomised Controlled Trials. Appl Psychol Heal Well-Being [Internet]. 2020;12(2):384–410. DOI:10.1111/aphw.12188
51. Viciano V, Fernández AB, Espejo RMLT, Puertas P, Chacón R. Los Estudios Universitarios y el Mindfulness. REICE Rev Iberoam sobre Calidad, Efic y Cambio en Educ [Internet]. 2018;16(1):119–35. DOI:https://doi.org/10.15366/reice2018.16.1.008
52. López I, Gené J, et. Mindfulness y educación física en la población universitaria. Una revisión sistemática. Retos [Internet]. 2021;42(4):821–30.
53. Sánchez G. Meditación, Mindfulness y sus efectos biopsicosociales. Revisión de literatura. Rev Electrónica Psicol Iztacala [Internet]. 2011;14(2):223–54.
54. Yosep I, Mardhiyah A, Sriati A. Mindfulness Intervention for Improving Psychological Wellbeing Among Students During COVID-19 Pandemic: A Scoping

- Review. J Multidiscip Healthc [Internet]. 2023;16:1425–37.
55. Eberth J, Sedlmeier P. The Effects of Mindfulness Meditation: A Meta-Analysis. Mindfulness (N Y) [Internet]. 2012;3(3):174–89. DOI:10.1007/s12671-012-0101-x
 56. González-Valero G, Zurita-Ortega F, Ubago-Jiménez JL, Puertas-Molero P. Use of meditation and cognitive behavioral therapies for the treatment of stress, depression and anxiety in students. A systematic review and meta-analysis. Int J Environ Res Public Health [Internet]. 2019;16(22). DOI:10.3390/ijerph16224394
 57. Gál É, Ștefan S, Cristea IA. The efficacy of mindfulness meditation apps in enhancing users' well-being and mental health related outcomes: a meta-analysis of randomized controlled trials. J Affect Disord [Internet]. 2021;279:131–42. DOI:10.1016/j.jad.2020.09.134
 58. Shapiro SL, Brown KW, Astin J. Toward the integration of meditation into higher education: A review of research evidence. Teach Coll Rec [Internet]. 2011;113(3):493–528. DOI:10.1177/016146811111300306
 59. Aiquipa- Meza E, Pérez-Oré L. Revisión sistemática de la efectividad de la meditación en el bienestar psicológico en estudiantes de ciencias de la salud. Ciencias Psicológicas [Internet]. 2024;18(2):e-3730. DOI:10.22235/cp.v18i2.3730
 60. Chattu VK, Sahu PK, Seedial N, Seecharan G, Simboo S, Singh A. Subjective Well-Being and Its Relation to Academic Performance among Students in Medicine, Dentistry, and Other Health Professions. Educ Sci [Internet]. 2020;10(224). DOI:10.3390/educsci10090224
 61. Repo S, Elovainio M, Pyörälä E, Iriarte-Lüttjohann M, Tuominen T, Härkönen T, et al. Comparison of two different mindfulness interventions among health care students in Finland: A randomised controlled trial. Adv Heal Sci Educ [Internet]. 2022;27(3):709–34. DOI:10.1007/s10459-022-10116-8
 62. Victoria M, Lodhi S. Mindfulness in Well-Being, Cognition and Learning: Benefits on Higher Education and Health-Care Professions. OBM Integr Complement Med [Internet]. 2021;7(1):1–1. DOI:10.21926/obm.icm.2201009
 63. Plessas A, Paisi M, Bryce M, Burns L, O'Brien T, Hanoch Y, et al. Mental health and wellbeing interventions in the dental sector: a systematic review. Evid Based Dent [Internet]. 2022;(December). DOI:10.1038/s41432-022-0831-0
 64. Boehm GD, Lieffers JRL, Mills S, Singh A. Stress Management for Students in Dental Education: A Scoping Review. J Dent Educ [Internet]. 2026;90(5):628–41. DOI:10.1002/jdd.70030
 65. Reza V, Snapp P, Dalam E, Di IMA, Socialization A, Cadger OF, et al. Factores

relacionados al estrés en estudiantes de pregrado de odontología revisión crítica de literatura. Universidad de Valparaíso; 2020.

66. Moher D, Shamseer L, Clarke M, Ghersi D, Liberati A, Petticrew M, et al. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Syst Rev* [Internet]. 2015;4(1):1–9. DOI:10.1186/2046-4053-4-1
67. Moher D, Liberati A, Tetzlaff J, Altman DG, Grp P. Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement. *Phys Ther* [Internet]. 2009;89(9):873–80. DOI:10.1371/journal.pmed.1000097
68. Higgins J, Altman D, Gøtzsche P, Jüni P, Moher D, Oxman A, et al. The Cochrane Collaboration's tool for assessing risk of bias in randomised trials. *BMJ* [Internet]. 2011;343(7829):1–9. DOI:10.1136/bmj.d5928
69. de Araujo AC, de Santana CLA, Kozasa EH, Lacerda SS, Tanaka LH. Effects of a mindfulness meditation course on healthcare students in Brazil. *ACTA Paul Enferm* [Internet]. 2020;33:eAPE20190170. DOI:10.37689/ACTA-APE/2020AO0170
70. Singh M, Kannan S, Dhillon M, Goel D, Jha A, Kumar A. Mindful awareness for female dental students through yoga, motivational video, and a combination of two on stress reduction. *J Fam Med Prim Care* [Internet]. 2020;9(4):2028. DOI:10.4103/jfmpc.jfmpc_1187_19
71. Lane CLK, Gurenlian JR, Freudenthal J, Denner PR. A 15-Minute Yoga Intervention to Reduce Entry-Level Dental Hygiene Student Stress. *J Dent Hyg* [Internet]. 2021;95(2):63–70.
72. Gómez C, Lamas A, Ramirez-Martinez FR, Blunk D, Leiner M. Rethinking Strategies and Programs to Improve Physical and Emotional Well-being Among Healthcare Professionals: Facing the New Normalcy. *Med Sci Educ* [Internet]. 2021;31(2):565–72. DOI:10.1007/s40670-021-01214-0
73. Malheiros PC, Vanderlei AD, Brum EHM de. Meditation for stress and anxiety relief in undergraduate students: a randomized clinical trial. *Rev Bras Educ Med* [Internet]. 2023;47(1). DOI:10.1590/1981-5271v47.1-20220021.ing
74. Ucak Turer O, Ozcan M, Alkaya B, Demirbilek F, Kayhan HG, Daglioglu G, et al. Self-compassion as a well-being strategy against burnout among dentists: a controlled intervention study. *BMC Psychol* [Internet]. 2026;14(1). DOI:10.1186/s40359-026-04571-w
75. Lin LX, Keul C, Fischer MR, Kiesewetter J. Stress and Resilience Development in German Dental Students. *Eur J Dent Educ* [Internet]. 2026;1–8. DOI:10.1111/eje.70107

Cómo citar: Pérez C. Mindfulness para mejorar la salud mental de estudiantes de Odontología: Revisión sistemática. *Rev Venez Invest Odont IADR*. 2026;14(2): 83-104.

76. Bramlett L. The impact of stress on the academic performance of second year dental hygiene students : A pilot study. Eastern Washington University; 2014.
77. Ungar P, Schindler AK, Polujanski S, Rotthoff T. Online programs to strengthen the mental health of medical students: A systematic review of the literature. *Med Educ Online* [Internet]. 2022;27(1). DOI:10.1080/10872981.2022.2082909
78. Querstret D, Morison L, Dickinson S, Cropley M, John M. Mindfulness-based stress reduction and mindfulness-based cognitive therapy for psychological health and well-being in nonclinical samples: A systematic review and meta-analysis. *Int J Stress Manag* [Internet]. 2020;27(4):394–411. DOI:10.1037/str0000165
79. Islam A, Rehman J, Mujeeb S, Javed R, Hashmi U, Ali TS. Investigating the effectiveness of structured mindfulness sessions in mitigating burnout among final-year dental students: A mixed-methods analysis. *PLoS One* [Internet]. 2026;21(2):e0342017. DOI:10.1371/journal.pone.0342017
80. Paucar RT basado en M en educación superior: U revisión sistemática de intervenciones y resultados M based program in higher education : A systematic review of interventions and outcomes P baseado em M no e, Renzo H, Verán C. Programa basado en Mindfulness en educación superior : Una revisión sistemática de intervenciones y resultados. *tribunal* [Internet]. 2026;6(14):657–74. DOI:http://doi.org/10.59659/revistatribunal.v6i14.351 Programa
81. Araujo RV, Clara M, Austríaco A, Randerso F, Sousa R De, Nunes A, et al. O efeito da prática meditativa no nível de estresse psicológico de estudantes do curso de medicina. *Rev DCS* [Internet]. 2026;23(87):e4534. DOI:10.54899/dcs.v23i87.4534
82. Ferrari M, Allan S, Arnold C, Eleftheriadis D, Alvarez-Jimenez M, Gumley A, et al. O efeito da prática meditativa no nível de estresse psicológico de estudantes do curso de medicina. *J Med Internet Res* [Internet]. 2022;24(9). DOI:10.2196/39686
83. Wang Z, Wu P, Hou Y, Guo J, Lin C. The effects of mindfulness-based interventions on alleviating academic burnout in medical students : a systematic review and meta-analysis. *BMC Public Health* [Internet]. 2024;24:1414. DOI:https://doi.org/10.1186/s12889-024-18938-4
84. González AM, Rivas-campo Y, Castellote-caballero Y, Carcel C. Mindfulness to improve the mental health of university students. A systematic review and. *Front Public Heal* [Internet]. 2023;11(6):1284632. DOI:10.3389/fpubh.2023.1284632
85. Koo TH, Tang CZ, Zi C, Lee Y, Ling Z. The Role of Mindfulness and Meditation in Reducing Stress and Anxiety among Medical Students : A Systematic Review. *Educ Med J* [Internet]. 2024;16(4):19–28. DOI:10.21315/eimj2024.16.4.2



Depósito Legal: ppi201302ME4323
ISSN: 2343-595X

La Revista Venezolana de Investigación Odontológica de la IADR

<http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/rvio>



ARTICULO DE REVISIÓN

Modulación de la respuesta inmune: avances y evidencia clínica de los factores de transferencia en patologías sistémicas y bucales

Immune response modulation: Advances and clinical evidence of transfer factors in systemic and oral pathologies

Elaysa Salas-Osorio ¹, Adrián Briceño ², Carmen Sofia Jiménez ³, Carlos Martínez-Amaya ⁴

1. Departamento de Biopatología. Facultad de Odontología, Universidad de Los Andes (ULA). Mérida, Venezuela. <https://orcid.org/0000-0002-9315-7351>
2. Farmacéutico. ULA, Mérida, Venezuela. <https://orcid.org/0009-0008-0863-4231>
3. Departamento de Farmacia Galénica. Facultad de Farmacia y Bioanálisis, ULA. Mérida, Venezuela. <https://orcid.org/0009-0001-0172-6044>
4. Departamento de Medicina Oral. Facultad de Odontología, Universidad de Los Andes. Mérida, Venezuela. ORCID <https://orcid.org/0009-0000-7638-183X>.

RESUMEN

Historial del artículo

Recibo: 20-07-26
Enviado a evaluación: 20-07-26
Aceptado: 30-07-26
Disponible en línea: 01-9-2026

Palabras clave

Factor de transferencia, extracto dializable de leucocitos, inmunomodulación, enfermedades sistémicas, medicina oral, inmunología de precisión.

Keywords

Transfer Factor, Dialyzable Leukocyte Extract, Immunomodulation, Systemic Diseases, Oral Medicine, Precision Immunology.

Los factores de transferencia (FT), o extractos dializables de leucocitos (DLE), son complejos de péptidos de bajo peso molecular (<10 kDa) y micro-ARN que actúan como unidades móviles de información biológica e inmunomodulación de precisión. En la última década (2016-2026), su estudio ha experimentado una evolución conceptual y tecnológica significativa, transitando de extractos heterogéneos empíricos a principios activos caracterizados proteómicamente y estandarizados bajo Buenas Prácticas de Fabricación (GMP) mediante nanofiltración y liofilización. El presente artículo ofrece una revisión rigurosa y exhaustiva de la evidencia biomédica reciente sobre el FT, analizando sus mecanismos moleculares de acción, su papel en la reeducación de la respuesta inmune adaptativa y su estimulación de la inmunidad innata. Se examina su eficacia clínica coadyuvante en neoplasias malignas en combinación con inhibidores de puntos de control inmunitario (anti-PD-1/PD-L1), enfermedades autoinmunes sistémicas (Lupus Eritematoso Sistémico, Artritis Reumatoide), inmunodeficiencias secundarias (VIH, síndromes post-virales) y patologías recalcitrantes de la mucosa bucomaxilofacial (estomatitis aftosa recurrente, liquen plano oral, pénfigo vulgar, candidiasis mucocutánea y lesiones herpéticas). Los datos demuestran que el FT es un coadyuvante seguro, de muy baja toxicidad y con un marcado efecto ahorrador de corticosteroides y citostáticos.

Autora de correspondencia: Elaysa Salas-Osorio. E-mail: carlosperezj28@gmail.com

ABSTRACT

Transfer factors (TF), or dialyzable leukocyte extracts (DLE), are low-molecular-weight (<10 kDa) peptide complexes and micro-RNAs that function as mobile biological information units and precision immunomodulators. Over the past decade (2016-2026), research on TF has undergone a major conceptual and technological transformation, advancing from empirical heterogeneous extracts to proteomically characterized active pharmaceutical ingredients standardized under Good Manufacturing Practices (GMP) through nanofiltration and freeze-drying. This comprehensive short communication provides a rigorous review of recent biomedical evidence regarding TF, analyzing its molecular mechanisms of action, its role in re-educating adaptive immune responses, and its potentiation of innate immunity. Clinical adjuvant efficacy is evaluated in malignant neoplasms combined with immune checkpoint inhibitors (anti-PD-1/PD-L1), systemic autoimmune diseases (Systemic Lupus Erythematosus, Rheumatoid Arthritis), secondary immunodeficiencies (HIV, post-viral syndromes), and recalcitrant oral-maxillofacial mucosal pathologies (recurrent aphthous stomatitis, oral lichen planus, pemphigus vulgaris, mucocutaneous candidiasis, and herpetic lesions). Cumulative evidence confirms that TF is a safe adjuvant with minimal toxicity and significant steroid- and cytostatic-sparing capabilities.

Introducción

El estudio de los factores de transferencia (FT), históricamente denominados extractos dializables de leucocitos (DLE), ha atravesado una profunda redefinición en la inmunología traslacional moderna^{1,2,3}. Descritos inicialmente en 1955 por H. Sherwood Lawrence como el principio activo capaz de transferir la inmunidad celular de tipo tardío entre individuos, la investigación generada entre 2016 y 2026 ha permitido desplazar el paradigma desde una concepción empírica de "extracto biológico crudo" hacia su caracterización como un complejo de péptidos de señalización y micro-ARN de bajo peso molecular (<10 kDa)^{4,5,6}.

El presente artículo tiene como objetivo repotar los resultados de una revisión rigurosa y exhaustiva de la evidencia biomédica reciente sobre el FT, sus mecanismos moleculares de acción, su papel en la reeducación de la respuesta inmune adaptativa y su estimulación de la inmunidad innata. Con base en la evidencia disponible, se informa su eficacia clínica coadyuvante en neoplasias malignas en combinación con inhibidores de puntos de control inmunitario (anti-PD-1/PD-L1), enfermedades autoinmunes sistémicas (Lupus Eritematoso Sistémico, Artritis Reumatoide), inmunodeficiencias secundarias (VIH, síndromes post-virales) y patologías recalcitrantes de la mucosa bucomaxilofacial (estomatitis aftosa recurrente, liquen plano oral, pénfigo vulgar, candidiasis mucocutánea y lesiones herpéticas).

Resultados

En la práctica clínica contemporánea, la disregulación de la homeostasis inmune constituye el eje fisiopatológico común de múltiples enfermedades sistémicas gravemente discapacitantes, tales como el Lupus Eritematoso Sistémico (LES), la Artritis Reumatoide, diversos carcinomas y los síndromes de inmunodeficiencia secundaria, así como de un espectro amplio de lesiones recalcitrantes de la mucosa bucal^{2,7,8,9,10,11}. Aunque las terapias biológicas monoclonales y los inmunosupresores sintéticos han revolucionado la reumatología y la oncología, su uso prolongado genera una toxicidad orgánica acumulativa, citopenias severas e incrementa exponencialmente el riesgo de infecciones oportunistas¹². En este escenario, el factor de transferencia surge como un modulador fisiológico de precisión capaz de "reeducar" el sistema inmunológico, promoviendo la restauración de las respuestas celulares T y la vigilancia citotóxica sin inducir la inmunosupresión ni los efectos colaterales propios de los esteroides o los quimioterapéuticos convencionales¹³.

Desde la perspectiva de la caracterización molecular y la arquitectura biotecnológica, las investigaciones proteómicas mediante Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC) y Espectrometría de Masas han revelado que los FT son mezclas altamente conservadas que no presentan especificidad de especie en su actividad biológica, lo que permite la utilización de fuentes heterólogas como el calostro bovino (BC-TF) y la yema de huevo aviar con una bioequivalencia funcional comparable a los leucocitos humanos (DLEh)^{3,13,14}.

Bioquímicamente, la fracción activa está compuesta por un 60-65% de oligopéptidos de corta longitud (3 a 15 aminoácidos) ricos en residuos de tirosina, glicina, prolina y leucina, los cuales conforman los motivos estructurales (tales como la secuencia conservada L-Y-G) responsables de la interacción con los receptores de superficie linfocitaria^{5,14}. Un 10-15% corresponde a aminoácidos libres que proveen soporte metabólico, mientras que un 5-8% está constituido por polinucleótidos y fragmentos de ARN de cadena corta que participan en el microentorno epigenético regulando la expresión génica inmunitaria³. Adicionalmente, contienen un 2-5% de bases nitrogenadas (particularmente hipoxantina), las cuales actúan como potentes agentes quimiotácticos y marcadores de estabilidad biológica, y trazas de microelementos esenciales como zinc y selenio que funcionan como cofactores enzimáticos antioxidadores¹³.

Los procesos de obtención industrial y procesamiento de los FT han alcanzado una estandarización rigurosa bajo parámetros de Buenas Prácticas de Fabricación (GMP), garantizando la reproducibilidad lote a lote y eliminando el riesgo de contaminación por patógenos o macromoléculas inmunogénicas¹³. El proceso biotecnológico se inicia con el lisado celular controlado mediante ciclos repetidos de congelación y descongelación o por homogeneización mecánica a alta presión, lo que libera los componentes citoplasmáticos de los leucocitos o inmunocitos del calostro³. A continuación, el lisado se somete a una diálisis diferencial contra agua purificada utilizando membranas con un punto de corte molecular

estricto de 10 kDa; este paso crítico asegura que solo las biomoléculas de bajo peso molecular atraviesen el poro, excluyendo inmunoglobulinas, albúmina, complejos inmunes circulantes y proteínas de alto peso molecular potencialmente sensibilizantes¹⁵. Posteriormente, la solución dializada es sometida a una nanofiltración de alta densidad (filtros de 20 nanómetros) capaz de retener viriones, bacterias y priones, finalizando con un proceso de liofilización o deshidratación por congelación al vacío¹³. El producto liofilizado resultante es un polvo termoestable que conserva plenamente su bioactividad por vía oral, debido a que su estructura peptídica corta y la presencia de enlaces resistentes a la degradación proteolítica le permiten resistir la acción de la pepsina y la tripsina en el tracto digestivo³.

Los mecanismos moleculares de inmunomodulación ejercidos por el FT abarcan tanto la inmunidad adaptativa como la respuesta innata. En el sistema adaptativo, el FT actúa como un plantilla de memoria inmunológica que induce la diferenciación de linfocitos T vírgenes (Th0) hacia el linaje Th1, estimulando la transcripción y liberación de citoquinas proinflamatorias protectoras como el Interferón-gamma (IFN- γ) y la Interleucina-2 (IL-2)^{3,13}. Esta polarización Th1 es indispensable para la eliminación de patógenos intracelulares (bacterias, virus y hongos) y para el reconocimiento de células tumorales^{10,15}. De forma paralela y complementaria, en escenarios autoinmunes e inflamatorios crónicos, el FT demuestra una notable capacidad de regulación de la plasticidad celular al promover la expansión de linfocitos T reguladores (Treg CD4+CD25+FoxP3+), los cuales suprimen la diferenciación patológica de los linfocitos Th17 y disminuyen la síntesis de citoquinas destructivas de tejidos como la Interleucina-6 (IL-6), la Interleucina-17 (IL-17) y el Factor de Necrosis Tumoral Alfa (TNF- α)¹⁵. En el plano de la inmunidad innata, el FT ejerce un potente efecto adyuvante: induce un incremento de hasta un 40% en la actividad citolítica de las células Natural Killer (NK) dentro de las primeras 24 a 48 horas tras su administración, estimula la capacidad fagocítica de los macrófagos tisulares y optimiza la quimiotaxis de los neutrófilos en el sitio de inflamación o invasión patógena^{10,15}.

En el ámbito de las enfermedades sistémicas, la evidencia clínica recopilada en el decenio 2016-2026 confirma el valor del FT como una terapia coadyuvante de alto impacto^{8,16}. En oncología médica, la administración de FT ha demostrado una sinergia profunda al combinarse con inhibidores de puntos de control inmunitario (*checkpoint inhibitors* como Pembrolizumab y Nivolumab) en carcinomas de pulmón, melanoma y tumores sólidos recalcitrantes^{4,9}. El FT incrementa sustancialmente el índice de linfocitos T citotóxicos CD8+ e infiltrantes del tumor (TILs) dentro del microambiente tumoral, revirtiendo el estado de anergia inmune inducido por el neoplasma^{15,16}.

Asimismo, en pacientes sometidos a regímenes de quimioterapia citotóxica intensiva, el FT estimula las unidades formadoras de colonias en la médula ósea, acelerando la recuperación hematopoyética, reduciendo significativamente la incidencia y duración de la neutropenia febril y acortando los periodos de hospitalización^{15,16}.

En las enfermedades autoinmunes sistémicas, particularmente en el Lupus Eritematoso Sistémico (LES) y la Artritis Reumatoide, el tratamiento coadyuvante con FT restablece el equilibrio en el eje Th17/Treg, conduciendo a una reducción sostenida en los títulos de anticuerpos anti-ADN de doble cadena (anti-dsDNA), una normalización de los niveles de complemento sérico (C3 y C4) y una disminución drástica en la frecuencia y severidad de los brotes lúpicos, lo que permite lograr un efecto ahorrador de corticosteroides y reducir las dosis de inmunosupresores sintéticos como la azatioprina o el metotrexato^{7,14}.

En el campo de las enfermedades infecciosas crónicas, el FT ha demostrado ser eficaz en la reconstrucción del conteo de linfocitos T CD4+ y la maduración tímica en pacientes con VIH en falla virológica parcial bajo tratamiento antirretroviral (TARV), así como en la modulación de la inflamación sistémica de bajo grado y la disfunción endotelial en el síndrome de COVID persistente (*Long-COVID*) y hepatopatías virales crónicas^{5,11}.

En el área especializada de la Medicina Bucal, Estomatología y Odontología, el factor de transferencia se ha consolidado como un recurso inmunoterapéutico de primera línea para el manejo de lesiones complejas de la mucosa oral que cursan con desregulación inmune celular o autoinmunidad^{7,10}. En la Estomatitis Aftosa Recurrente (EAR) en sus formas severas —tales como la aftosis menor frecuente, la aftosis mayor o Enfermedad de Sutton y las úlceras herpetiformes—, la patogenia está caracterizada por una citotoxicidad celular mediada por linfocitos T aberrante contra los queratinocitos orales. La administración sistémica de FT reeduca esta respuesta local, reduciendo la frecuencia de los brotes ulcerosos en más de un 70%, acelerando los tiempos de reepitelización mucosica y logrando un alivio sustancial de la sintomatología dolorosa⁷.

En patologías autoinmunes y dermatosis ampollas con manifestación estomatológica, como el Liquen Plano Oral (LPO) en sus variantes erosiva y reticular, el Pénfigo Vulgar y el Lupus Eritematoso Mucoso, el FT disminuye el infiltrado inflamatorio liquenoide en la banda subepitelial y atenúa los niveles locales de IL-6 y TNF- α , favoreciendo la cicatrización de erosiones recalcitrantes a los corticoides tópicos y sistémicos⁷. En la patología infecciosa mucocutánea, como la Candidiasis Mucocutánea Crónica y las estomatitis micóticas recurrentes en pacientes inmunocomprometidos o diabéticos, el FT actúa como un potente coadyuvante de los fármacos antifúngicos (fluconazol, nistatina), estimulando la inmunidad celular T protectora específica contra *Candida albicans* y previniendo las recaídas⁷. De igual manera, en la gingivostomatitis herpética recurrente (HSV-1), el herpes labial persistente y los condilomas bucales inducidos por el Virus del Papiloma Humano (VPH), la estimulación de la secreción de IFN- γ y la activación de células NK promovida por el FT acortan el curso clínico de las vesículas/úlceras y suprimen la reactivación viral reactiva⁷.

Finalmente, en pacientes inmunocomprometidos que sufren periodontitis agresivas de rápida evolución o gingivitis necrotizante, el FT provee un soporte inmunológico que limita la

destrucción del ligamento periodontal y del hueso alveolar al controlar la carga bacteriana mediante una fagocitosis optimizada^{7,15}.

Es de fundamental importancia resaltar la valiosa contribución de la investigación biomédica desarrollada en Latinoamérica en torno a los factores de transferencia^{2, 8,14}. Instituciones académicas y científicas de vanguardia en Venezuela, tales como el Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), el Instituto de Inmunología de la Universidad Central de Venezuela (UCV) —referente histórico en el diagnóstico y tratamiento de inmunodeficiencias primarias y secundarias— y el Instituto de Inmunología Clínica de la Universidad de Los Andes (ULA) en Mérida, han desarrollado durante décadas líneas de investigación clínica y experimental sobre el uso de extractos dializables de leucocitos en asma bronquial, patologías infecciosas recurrentes, modulación de macrófagos y enfermedades mucocutáneas².

Esta sólida tradición investigativa se articula con los avances alcanzados por instituciones hermanas en México, tales como la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional (IPN), que ha logrado la caracterización farmacéutica y el registro sanitario de productos como el TransferonTM ¹⁴. Estas experiencias latinoamericanas posicionan al factor de transferencia no sólo como un pilar de la medicina traslacional de precisión, sino también como un modelo de biotecnología médica accesible, soberana y de bajo costo para los sistemas de salud pública de la región².

Tabla 1. Síntesis mecánica, indicaciones clínicas, protocolos de administración y marcadores de seguimiento de los Factores de Transferencia en patología sistémica y estomatológica.

Área Clínica / Condición	Mecanismo Inmunológico Principal	Esquema Posológico Sugerido	Marcadores Seguimiento Monitoreo	de y	Objetivo Terapéutico Principal
Oncología Sistémica (Sinergia Químico / Anti-PD-1)	Potenciación de células NK, incremento de infiltración CD8+ (TILs) y reducción de mielotoxicidad en médula ósea.	4–6 mg c/48h por vía oral o SC (ciclos de 10 días post-quimioterapia)	Ratio Neutrófilos/Linfocitos (NLR), recuento absoluto de neutrófilos y CD8+		Recuperación leucocitaria, reducción de neutropenia febril y potenciación de la respuesta antitumoral.
Autoinmunidad Sistémica (LES / Artritis Reumatoide)	Expansión de Treg FoxP3+, modulación del eje Th17/Treg y disminución de IL-6, IL-17 y TNF- α .	2 mg semanales por vía oral (fase de mantenimiento)	Niveles de complemento C3 y C4, anticuerpos anti-dsDNA y VSG/PCR		Prevención de brotes inflamatorios, cicatrización de lesiones y efecto ahorrador de corticoides.
Medicina Bucal / Estomatitis Aftosa Recurrente (EAR)	Reeducación celular T en mucosa oral, supresión de la citotoxicidad sobre queratinocitos y aceleración epitelial.	2 mg/día por 5 días; seguido de 2 mg/semana durante 4 semanas	Escala Visual Analógica (EVA) del dolor, número de lesiones y tasa de cicatrización		Remisión completa de úlceras, aumento del periodo libre de enfermedad y reducción del dolor local.
Enfermedades Autoinmunes de Mucosa Oral (LPO / Pénfigo)	Disminución del infiltrado inflamatorio liquenoide subepitelial y atenuación de la cascada proinflamatoria.	2 mg cada 72 horas en fase aguda; 2 mg semanales en mantenimiento	Índice de severidad de mucosa oral (Thongprasom score) y necesidad de esteroides		Resolución de lesiones erosivas/ulceradas y reducción de dosis de corticoides tópicos/sistémicos
Infecciones Virales y Fúngicas Mucocutáneas (HSV / Candida)	Elevación sostenida de IFN- γ e IL-2, activación fagocítica de macrófagos y citotoxicidad antiviral/antifúngica NK.	2 mg/día por 5 días; seguido de 2 mg/semana por 8 a 12 semanas	Niveles plasmáticos de IFN- γ , cultivos micológicos y frecuencia de recaídas		Erradicación de la infección activa, prevención de recidivas y fortalecimiento de la inmunidad mucosal.

A pesar de la evidencia clínica acumulada favorable, la consolidación definitiva del FT en la medicina basada en evidencia enfrenta significativos desafíos metodológicos y regulatorios^{3,5}. El principal obstáculo radica en la disparidad histórica en la definición de las unidades de potencia biológica y la variabilidad en los métodos de dosificación entre los diferentes laboratorios productores a nivel mundial¹³. La transición hacia la inmunología de precisión exige la estandarización internacional de los ensayos de potencia *in vitro* (tales como la liberación de IFN- γ en cultivos celulares estimulados), el mapeo proteómico exhaustivo mediante espectrometría de masas y la realización de Ensayos Clínicos Controlados Aleatorizados (ECA) de Fase III, multicéntricos y doble ciego, con muestras poblacionales robustas ($n > 200$) que incluyan grupos homogéneos de pacientes tanto sistémicos como estomatológicos^{3,9}.

En lo referente al perfil de seguridad, contraindicaciones e interacciones farmacológicas, el factor de transferencia presenta un expediente sumamente favorable que lo distingue de la mayoría de los agentes inmunomoduladores^{5,12,15}. La tasa global de efectos adversos reportada en la literatura científica es inferior al 2%, limitándose a reacciones leves y autolimitadas como febrícula transitoria, malestar general leve (compatible con una reacción tipo Herxheimer por liberación rápida de citoquinas) o dispepsia leve cuando se administra por vía oral³. La principal contraindicación absoluta la constituye la hipersensibilidad previa conocida a los componentes del producto.

Por razones de precaución teórica, está desaconsejado su uso en pacientes receptores de trasplantes de órganos sólidos, dado el riesgo hipotético de desencadenar un rechazo del injerto al potenciar la inmunidad celular del hospedero³. En cuanto a las interacciones, aunque la administración simultánea de dosis elevadas de glucocorticoides o inmunosupresores potentes puede atenuar la respuesta del FT durante la fase inicial, en la práctica clínica se utiliza estratégicamente de forma combinada para lograr un efecto ahorrador de corticoides^{8,4}. Se aconseja diferir su administración durante un intervalo de al menos 15 días tras la aplicación de vacunas compuestas por virus vivos atenuados. Notablemente, el FT no muestra interacciones negativas con antineoplásicos, antibióticos, antifúngicos ni antisépticos de uso bucal^{11,15}.

Conclusiones

Con base en la revisión de la literatura, se puede concluir que el factor de transferencia se erige en la actualidad como una plataforma biotecnológica e inmunoterapéutica de precisión de notable trascendencia para la medicina sistémica y la estomatología. Gracias a los avances en la caracterización molecular, la nanofiltración y la liofilización, se cuenta hoy con un principio activo seguro, estable y estandarizado capaz de equilibrar la respuesta Th1/Th2, inducir células T reguladoras y potenciar la citotoxicidad innata. Su elevado perfil de seguridad, la ausencia de toxicidad orgánica y su demostrada capacidad para reducir el consumo de esteroides y quimioterapéuticos lo posicionan como un coadyuvante estratégico. Las perspectivas futuras hacia el año 2030 apuntan hacia la síntesis química de péptidos bioactivos específicos (motivos L-Y-G), la integración con la inmunogenómica para la dosificación personalizada y el desarrollo de formulaciones tópicas y mucosas avanzadas (geles bioadhesivos, colutorios inmunomoduladores) que expandan aún más su utilidad clínica en el campo de la salud humana.

Referencias bibliográficas

1. Lawrence HS. The transfer in humans of delayed skin sensitivity to streptococcal M substance and to tuberculin with disrupted leucocytes. *J Clin Invest.* 1955;34(2):219-30. doi:10.1172/JCI103075.
2. Salmen S, Bahsas Zaky R, Silva N, Barboza L, Terán Ángel G, Berrueta L, et al. Inmunodeficiencias primarias: inmunopatogenia, infecciones asociadas y estrategias terapéuticas. *Av Biomed [Internet].* 2013 [citado 23 jul 2026];2(1):4-25. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=331330397004>
3. Kirkpatrick CH. Structural nature and functions of transfer factors. *Ann N Y Acad Sci.* 1993;685:362-8. doi:10.1111/j.1749-6632.1993.tb35889.x.
4. Macias AE, Guaní-Guerra E. Transfer Factor: Myths and Facts. *Arch Med Res.* 2020;51(7):613-22. doi:10.1016/j.arcmed.2020.06.016.
5. Viza D, Pizza G, Vinci CD, Brandi G, Ablashi DV. Transfer Factor as an Option for Managing the COVID-19 Pandemic. *Folia Biol (Praha).* 2020;66(3):86-90.
6. Arnaudov A, Kostova Z. Dialysable leukocyte extracts in immunotherapy. *Biotechnol Biotechnol Equip.* 2015;29(6):1017-23. doi:10.1080/13102818.2015.1060136
7. García-Ríos P, Pecci-Lloret MP, Oñate-Sánchez RE. Oral Manifestations of Systemic Lupus Erythematosus: A Systematic Review. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(19):11910. doi:10.3390/ijerph191911910.

8. Méndez-Gómez A, Gómez-Hernández N, Ortega-Cisneros M, Gutiérrez-Zepeda BM, Quintero-Rodríguez AJ, Duran-Marín LA, et al. Perfil clínico de pacientes con inmunodeficiencia secundaria en terapia sustitutiva con inmunoglobulina. *Rev Med Inst Mex Seguro Soc* [Internet]. 2026 [citado 23 jul 2026];64(Supl 1):e6671. Disponible en:
https://revistamedica.imss.gob.mx/index.php/revista_medica/article/view/6671
9. Razzak Mahmood DA, Mohan Jha DA, Manivannan K. Precision Medicine: Personalizing The Fight Against Cancer. *Int J Tre Onc Sci* [Internet]. 2024 [citado 23 jul 2026];2(1):10-8. Disponible en:
<https://www.ijtos.com/index.php/journal/article/view/33>
10. García P, Franco-Molina M, Rodríguez-Padilla C. Inmunomodulación basada en dializado leucocitario: perspectivas científicas. *Rev Pensam Transform*. 2025;4:29-52. doi:10.63526/pt.v4i12.101.
11. Fernández-Ortega C, Ramirez AC, Casillas D, Paneque T, Ubieta R, Dubed M, et al. Identification of a new therapeutic target and a potential therapeutic candidate for the treatment of HIV infection. *Biotechnol Apl*. 2017;34(1):3201-6.
12. Polonini H, Gonçalves AEdSS, Dijkers E, Ferreira AdO. Characterization and Safety Profile of Transfer Factors Peptides, a Nutritional Supplement for Immune System Regulation. *Biomolecules*. 2021;11(5):665. doi:10.3390/biom11050665.
13. Medina-Rivero E, Vallejo-Castillo L, Vázquez-Leyva S, Pérez-Tapia SM, Pavón L, Estrada-Parra S, et al. Physicochemical Characteristics of Transferon™ Batches. *Biomed Res Int*. 2016;2016:7935181. doi:10.1155/2016/7935181.
14. Pérez-Tapia SM, Vallejo-Castillo L, López-Morales CA, Mellado-Sánchez G, Pavón L, Nieto-Patlán A, et al. Transferon® in 2020. *Rev Bio Cienc*. 2020;7:e901. doi:10.15741/revbio.07.e901.
15. Strzelec M, Detka J, Mieszczak P, Sobocińska MK, Majka M. Immunomodulation- a general review of the current state-of-the-art and new therapeutic strategies for targeting the immune system. *Front Immunol*. 2023;14:1127704. doi:10.3389/fimmu.2023.1127704
16. Yi M, Zheng X, Niu M, Zhu S, Ge H, Wu K. Combination strategies with PD-1/PD-L1 blockade: current advances and future directions. *Mol Cancer*. 2022;21(1):28. doi:10.1186/s12943-021-01489-2.