

REVISTA ADM ÓRGANO OFICIAL DE LA ASOCIACIÓN DENTAL MEXICANA

Revista | ADM



Más de 77,000 artículos disponibles en versión completa



<https://www.medigraphic.com>



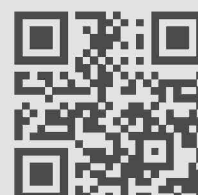
Facebook: MedigraphicOficial



Instagram: medigraphic.lb



Twitter: medigraphic_o





Bibliotecas e Índices en los que ha sido registrada e indizada la Revista ADM

Medigraphic, literatura biomédica
<http://www.medigraphic.org.mx>

Biblioteca de la Universidad de Regensburg, Alemania

<http://www.bibliothek.uni-regensburg.de/ezeit/fl.phtml?notation=WW-YZ&bibid=ZBMED&colors=3&frames=&toc=&ssg=>

Biblioteca de la Universidad Federal de Sao Paulo, Brasil

<http://www.unifesp.br/dis/bibliotecas/revistas.htm>

Biblioteca del Instituto de Investigaciones Biomédicas, UNAM

http://www.revbiomedicas.unam.mx/_biblioteca/revistas.html

Universidad de Laussane, Suiza
<http://www2.unil.ch/perunil/pu2/>

LATINDEX. Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal
<http://www.latindex.org/>

Biblioteca Virtual en Salud (BVS, Brasil)
<http://portal.revistas.bvs.br>

Biblioteca del Instituto de Biotecnología UNAM
<http://www.biblioteca.ibt.unam.mx/revistas.php>

Asociación Italiana de Bibliotecas (AIB)
<http://www.aib.it/aib/commiss/cnur/peb/peba.htm3>

Biblioteca Médica Estatal del Ministerio de Patrimonio y Cultura, Italia
<http://bms.beniculturali.it/ejnl/index.php>

PERIODICA (Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias) UNAM
<http://periodica.unam.mx>

Google Académico
<http://scholar.google.com.mx/>

Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung, Berlin WZB

<http://www.wzb.eu/de/bibliothek/bestand-recherche/elektron-zeitschriften>

Virtuelle Bibliothek Universität des Saarlandes, German

<http://www.sulb.uni-saarland.de/de/suchen/zeitschriften/fachspezifische-suche-in-ebz/?libconnect%5Bsubject%5D=23>

University of South Australia. Library Catalogue
<http://search.library.unisa.edu.au/az/a>

Biblioteca electrónica de la Universidad de Heidelberg, Alemania

<http://rzblx1.uni-regensburg.de/ezeit/search.phtml?bibid=UBHE&colors=3&lang=de>

Biblioteca de la Universidad de Bielefeld, Alemania

https://www.digibib.net/jumpto?D_SERVICE=TEMPLATE&D_SUBSERVICE=EZB_BROWSE&DP_COLORS=7&DP_BIBID=UBBIE&DP_PAGE=search&LOCATION=361

Department of Library Services, Christian Medical College - Vellore
<http://dodd.cmcvellore.ac.in/ftext.htm>

Mercyhurst University. Hammermill Library, Erie, Pennsylvania
<http://services.trueserials.com/CJDB/MERCYHURST/browse>

Memorial University of Newfoundland, Canada
http://www.library.mun.ca/copyright/index_new.php?showAll=1&page=1

Google Books
<http://www.google.com.mx/search?tbm=bks&hl=es&q=revista+de+la+asociacion+dental>

Research Institute of Molecular Pathology (IMP)/ Institute of Molecular Biotechnology (IMBA) Electronic Journals Library, Viena, Austria
http://cores.imp.ac.at/max-perutz-library/journals/details?tx_ezbfe_pi3%5Bjournal_id%5D=15320&cHash=4eb6739caf354f2370872443c2fead78

DIRECTORIO REVISTA ADM

Consejo Editorial

Editor

Dr. José Agustín Zerón y Gutiérrez de Velasco

Editores Asociados

Endodoncia

Dr. Sergio Curiel Torres
Dr. Rubén Rosas Aguilar

Odontopediatría

Dr. Luis Karakowsky Kleiman
Dr. Héctor Ramón Martínez Menchaca

Cirugía Bucal

Dr. Mario Trejo Cancino
Dr. Ilan Vinitzky Brenner

Ortodoncia

Dr. Rolando González López
Dr. Rogelio J. Scougall Vilchis

Periodoncia

Dr. José Agustín Zerón y Gutiérrez de Velasco
Dr. Alejandro González Blanco
Dr. Francisco Javier Kenji Hosoya Suzuri
Dra. Gloria Elena Guzmán Celaya

Prostodoncia y Odontología Restaurativa

Dr. Rodrigo Rafael Escalante Vázquez
Dr. Antonio Bello Roch
Dr. Néstor A. Schejtman Plotnik

Patología y Medicina Bucal

Dr. Adalberto Mosqueda Taylor
Dr. José Luis Castellanos Suárez
Dra. Beatriz Catalina Aldape Barrios

Operatoria y Materiales Dentales

Dr. José de Jesús Cedillo Valencia
Dr. Federico Pérez Díez
Dr. Sergio Favela Flores

Práctica Clínica (Mercadotecnia, Ética, otros)

Dr. Armando Hernández Ramírez
Dra. Martha Díaz Curi
Dr. Jorge Parás Ayala

Investigación

Dra. Miriam Lucía Rocha Navarro

REVISTA ADM ÓRGANO OFICIAL DE LA ASOCIACIÓN DENTAL MEXICANA es una publicación arbitrada y se encuentra indizada y compilada en:

- Medigraphic, Literatura Biomédica (www.medigraphic.org.mx).
- PERIODICA, Índice de Revistas Latinoamericanas en Ciencias, UNAM (<http://biblat.unam.mx>).
- LATINDEX, Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal (<http://www.latindex.org>).
- ARTEMISA IV al XI.
- Index to dental literature Med Lars.
- LILACS (www.bireme.br).
- Biblioteca de la Universidad de Bielefeld, Alemania (www.v.uni-bielefeld.de/english/fulltext).
- Biblioteca de revistas electrónicas biomédicas UNAM, México (www.revbiomedicas.unam.mx).
- Biblioteca Digital de la Universidad de Chile, Rep. de Chile (<http://transtor.sisib.uchile.cl/bdgitel>).
- Biblioteca Pública del Estado de Roma, Italia (www.biblioroma.sbn.it/medica/ejnl/fulltext.htm).
- Free Medical Journals (www.freemedicaljournals.com/htm/esp.htm).
- Infodoctor, España (infodoctor.org/revis.htm).
- Universidad de Lausanne, Suiza (<http://perunil.unil.ch/perunil/periodiques>).
- Universidad del Wales College of Medicine, Reino Unido (<http://archive.uwcm.ac.uk/ejnl/>).
- Universidad del Norte de Paraná, Brasil (www.unopar.br/bibliolinks/direitos_automais/biologicas_saude/periodicos_biologicas_periodicos_biologicas.htm).
- Universidad de Regensburg, Alemania (www.bibliothek.uniregensburg.de/ezeit/flphtml?notation=WW-YZ&bibid=ZBME&colors=3&frames=toc=6&sg=-).
- Universidad Federal de São Paulo, Brasil (unifesp.br/dis/bibliotecas/revistas.htm).
- Sociedad Iberoamericana de Información Científica (SIIC Data Bases).

La versión a texto completo se encuentra en www.medigraphic.com/adm
La revista se encuentra en <http://www.adm.org.mx>

REVISTA ADM ÓRGANO OFICIAL DE LA ASOCIACIÓN DENTAL MEXICANA es una publicación bimestral del 01 de Julio al 31 de Agosto de 2026 editada en la Ciudad de México, por Graphimedic S.A. de C.V., Coquimbo No. 936, Col. Lindavista, C.P. 07300, Alcaldía Gustavo A. Madero, Ciudad de México. Editor Responsable: José Agustín Zerón y Gutiérrez de Velasco. Número de Certificado de Reserva otorgado por el Instituto Nacional del Derecho de Autor: 04-2015-073013002700-203. Clasificación temática asignada: ESPECIALIDADES MÉDICAS. Titular: ASOCIACIÓN DENTAL MEXICANA FEDERACIÓN NACIONAL DE COLEGIOS DE CIRUJANOS DENTISTAS, A.C. Domicilio de la publicación: Ezequiel Montes 92, Col. Tabacalera, Alcaldía Cuauhtémoc, C.P. 06030, Ciudad de México. Teléfonos 0155 3000 0352 y 55 5546 7083. Distribuidor: Asociación Dental Mexicana Federación Nacional de Colegios de Cirujanos Dentistas, A.C.

Arte, diseño, composición tipográfica, pre prensa, impresión y acabado por



Tels. 8589-8527 al 32. E-mail: emyc@medigraphic.com
Impreso en México / Printed in Mexico.

Las opiniones expresadas en los artículos y publicidad son responsabilidad exclusiva de los autores. El material publicado es propiedad de la REVISTA ADM ÓRGANO OFICIAL DE LA ASOCIACIÓN DENTAL MEXICANA, por lo que está prohibida la reproducción parcial o total de su contenido por cualquier medio, ya sea impreso o electrónico.

La correspondencia relacionada con artículos, reseñas, noticias y suscripciones debe dirigirse a REVISTA ADM ÓRGANO OFICIAL DE LA ASOCIACIÓN DENTAL MEXICANA, Ezequiel Montes 92, Col. Tabacalera. Delegación Cuauhtémoc, C.P. 06030, Ciudad de México. Las solicitudes para anuncios comerciales deberán dirigirse a la Asociación Dental Mexicana Federación Nacional de Colegios de Cirujanos Dentistas, A.C., y a Graphimedic, S.A. de C.V., a los teléfonos antes mencionados. La REVISTA ADM ÓRGANO OFICIAL DE LA ASOCIACIÓN DENTAL MEXICANA es una publicación bimestral y aparece la segunda quincena del segundo mes correspondiente.

Costo de Suscripción

	Nacional	Extranjero
Socios ADM	Sin Cargo	
Cirujanos Dentistas no Socios	\$1,950.00	
Estudiantes Acreditados	\$1,500.00	\$2,500.00 al tipo de cambio vigente
Técnicos Dentales	\$1,700.00	(más gastos de envío)
Ejemplar suelto	\$325.00	
Ejemplar atrasado	\$300.00	

Certificado de Reserva de Derecho otorgado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor Secretaría de Educación Pública. Reserva: 04-2015-073013002700-203. Autorizada como Publicación Periódica Registro DGC Núm. 0010186. Características 229241.116. Teléfono ADM: (55) 5546 7083. Volumen LXXXIII. 2026 © Derechos Reservados. Impreso en la Ciudad de México.

www.adm.org.mx
E-Mail: revista.admfederacion@gmail.com; zeron.revista.adm@gmail.com
[www.adm.org.mx: info@adm.org.mx](mailto:info@adm.org.mx)

Coordinación Editorial y Publicidad: Dra. Ma. de la Luz Rosales J., Graciela González Cazañas y Loreto Echeverría Torres.

DIRECTORIO ADM

Comité Ejecutivo ADM 2026-2027



Dr. Luis Camilo Villanueva Campos
Presidente



Dra. Dora Olivia Gastelum Cuevas
Secretaria del Interior



Dr. César Alejandro García Altamirano
Secretario del Exterior



Dra. Ma. Elena Eugenia Frías Ramírez
Tesorera



Dra. Patricia Montes Aquino
Vicepresidenta



Dra. María Teresa Máyne Chavarría
Secretaria del Interior Suplente



Dra. Beatriz Claudia Alvarado Velásquez
Secretario del Exterior Suplente



Dra. Rocío Betsabé Pérez Revillas
Tesorera Suplente

Comisiones 2026-2027



Editor Revista ADM
Dr. José Agustín Zerón Gutiérrez de Velasco



Biblioteca
Dr. Víctor Hugo Toral Rizo



Actividades Sociales y Culturales
Dra. Patricia González González



Actividades Sociales y Culturales
Dra. Isabel Martínez Almendárez



Actividades Sociales y Culturales
Dra. Addy Gloria del Rosario Méndez González



Materiales Dentales
Dra. Verónica Cristina Guarneros Manzur



Comunicación, Información y Medios
Dr. Luis Eduardo García Desilos



Comunicación, Información y Medios
Dra. Paymy Alarcón Hernández



Asuntos Gubernamentales e Interinstitucionales
Dra. Beatriz Palacios Zúñiga



Asuntos Gubernamentales e Interinstitucionales
Dra. Norma Judith Camarillo Santamaría



Educación Odontológica Continua
Dra. Rosa María Yáñez González



Educación Odontológica Continua
Dra. Alejandra Giselle Juárez Rebollar



Educación Odontológica Continua. Revista ADM
Dr. José Agustín Zerón Gutiérrez de Velasco



Educación Odontológica Continua. Revista ADM Estudiantil
Dr. Víctor Hugo Toral Rizo



Educación Odontológica Continua. WEBINAR
Dr. Alberto Quintero Tovar



Educación Odontológica Continua. Congreso Internacional ADM
Dr. Jaime Edelson Tishman



Educación Odontológica Continua. Congreso Internacional ADM. Comisión Científica
Dra. Alejandra Giselle Juárez Rebollar



Educación Odontológica Continua. Congreso Internacional ADM
Dra. Rocío Betsabé Pérez Revillas



Beneficio a Socios
Dra. María de Lourdes Pérez Cervantes



Honor y Justicia/Presidenta
Dra. María Isabel Díaz Ceballos



Honor y Justicia/Secretario
Dr. Arnaldo Portillo Palacios



Honor y Justicia/Comisionado
Dr. Salvador Adalberto Torres Castillo

Comisiones 2026-2027



Honor y Justicia/Comisionada
Dra. Manuela Solís Gutiérrez



Honor y Justicia/Comisionado
Dr. Manuel Sergio Martínez Martínez



Vinculación con Regiones. Noroeste
Dr. Luis Fernando Verdugo Romero



Vinculación con Regiones. Noreste
Dr. Amilcar Fernando Peniche Polanco



Vinculación con Regiones. Centro
Dra. Mariana Rodríguez Villafañá



Vinculación con Regiones. Centro-Sur
Dra. Rosa María Casimiro Espinoza



Vinculación con Regiones. Sureste
Dr. Alberto Ramírez Solís



Premio Cum Laude ADM
Dra. María Isabel Díaz Ceballos



Premio Cum Laude ADM
Dr. Arnoldo Portillo Palacios



Premio Cum Laude ADM
Dr. Salvador Adalberto Torres Castillo



Premio Cum Laude ADM
Dra. Manuela Solís Gutiérrez



Premio Cum Laude ADM
Dr. Manuel Sergio Martínez Martínez



Congreso Estudiantil. Comisión Científica. Sureste
Dra. Maira Galván Lara



Congreso Estudiantil. Comisión Científica
Dra. María Teresa González Kokke



Servicio Profesional de Índole Social.
Programa de Salud Bucal del Preescolar ADM
Dra. Patricia Juárez Cienfuegos



Servicio Profesional de Índole Social
Dra. Enriqueta Cebrero Rosas



Coordinador Parlamentario
Dr. Luis Carlos Hernández Orozco



Inducción a Presidentes
Dr. Marco Antonio Escobar Zamora



Ética, Normativa y Consejería Legal
Dr. Marco Antonio Escobar Zamora



Administración
Dra. Silvia Azuara Macías



Administración
Dr. Luis Eduardo García Desilos



Administración
Dr. Ramón Eduardo Carranza Fernández



Plataforma Digital
Dr. Eduardo Aseff Schietekat



Vinculación ADM-FOLA
Dra. Alma Gracia Godínez Morales



Vinculación ADM-FDI
Dr. Antonio Estrada Valenzuela



Vinculación ADM-FDI
Dra. Gabriela Ramírez Mendoza

Consejo de Certificación



Presidente
Dr. Oscar Eduardo Ríos Magallanes



Secretario
Dr. José Ángel Sifuentes Sifuentes



Tesorera
Dra. Martha Carolina Rodríguez García



Consejero
Dr. Rolando Gonzalo Peniche Marcín



Consejero
Dr. Enrique Armando Lee Gómez

Comisiones 2026-2027

Comisión Dictaminadora. Reconocimiento al Mérito Odontológico «Dr. Fernando Campuzano Zambrano»



Dra. Luz María Liliana Acuña Cepeda



Dr. Oscar Eduardo Ríos Magallanes



Dr. Manuel Sergio Martínez Martínez



Dr. Guillermo Loza Hernández



Dr. Luis Camilo Villanueva Campos



Patrono Vocal

Dra. Alma Gracia Godínez Morales



Patrono Fundador

Dr. Jaime Edelsón Tishman



Patrono Vocal

Dra. Isabel Martínez Almendárez



Patrono Vocal

Dr. Luis Camilo Villanueva Campos



Patrono Vocal

Dra. Patricia González González

Fundación ADM IAP



Presidenta

Dra. Patricia Juárez Cienfuegos



Secretario

Dr. Manuel Sergio Martínez Martínez



Tesorero

Dra. Martha Rojas Moreno

Consejo Consultivo y de Vigilancia 2026-2028



Presidenta

Dra. Vilma Martínez Gómez



Secretario

Dr. Alberto Ramírez Solís



Vocal

Dra. Silvia Azuara Macías



Comité Ejecutivo Nacional 2026-2027



*Todos contamos
Todos Sumamos*

Editorial

- 195 Regeneración dental: de los mitos a los hitos de la restauración biológica a la odontología regenerativa del futuro.
Dental regeneration: from myths to milestones in biological restoration to the regenerative dentistry of the future.

Agustín Zerón

Artículos originales / Original articles

- 202 Lipocalina 2 en líquido crevicular gingival como posible biomarcador para la periodontitis.
Lipocalin-2 in gingival crevicular fluid as a potential biomarker for periodontitis.

Miguel Hazael Russell-Hernández,
Saúl Ernesto Cifuentes-Mendiola,
Diana Laura Solís-Suárez,
Javier Antonio Garzón-Trinidad,
Ana Lilia García-Hernández

- 209 Microdureza y caracterización del esmalte dental después del descementado de aparatología ortodóncica: estudio in vitro.
Microhardness and characterization of tooth enamel when debonding orthodontic appliances: in vitro study.

Jorge Alberto Jiménez-Monge,
Edith Lara-Carrillo,
Ulises Velázquez-Enríquez,
Víctor Hugo Toral-Rizo,
Raúl Alberto Morales-Luckie,
Nayeli Lovera-Rojas,
Elías Nahúm Salmerón-Valdés,
Adriana Alejandra Morales-Valenzuela,
Ana Miriam Santillán-Reyes,
Alicia García-Verónica,
Gloria Elena Guzmán-Celaya

Artículos de revisión / Review

- 216 Evolución de vidrios bioactivos: del hueso dañado a la regeneración ósea personalizada.
Evolution of bioactive glasses: from damaged bone to personalized bone regeneration.

Gregorio González Martínez

- 224 Influencia de Greene Vardiman Black y Michael Buonocore en la odontología de mínima intervención.

Influence of Greene Vardiman Black and Michael Buonocore on minimal intervention dentistry.

Eduardo Lanata, José Ángel Sifuentes Sifuentes

- 234 *Porphyromonas gingivalis* y su relación con las enfermedades neurodegenerativas: una revisión exploratoria.

Porphyromonas gingivalis and its relationship with neurodegenerative diseases: a scoping review.

Frida Camila Álvarez Machado,
Karol Isela Peredo Gómez,
Carolina Guerrero Delgado,
Verónica Campos Ibarra,
Ravichandran Manisekaran

- 241 Uso de membranas de colágeno en odontología según la evidencia disponible en América del Norte.
Use of collagen membranes in dentistry based on available evidence in North America.

Ana Gloria Pascual Luna,
Gerardo Nava Rosales,
Cristóbal Landa Román

- 248 Uso de células madre para la regeneración pulpar.
Use of stem cells for pulp regeneration.

Heidi Silvana Araujo-Freire,
María Elizabeth Moscoso-Abad

Caso clínico / Clinical case

- 255 Tratamiento regenerativo de un defecto óseo vertical de una pared mediante la técnica de pared con injerto gingival libre y derivado de matriz del esmalte.
Regenerative treatment of a one-wall vertical bone defect using the wall technique with free gingival graft and enamel matrix derivative.

Gina Fernanda Luna Jiménez,
Ely García de León Buenfil,
Francisco Javier De León Vigil

Regeneración dental: de los mitos a los hitos de la restauración biológica a la odontología regenerativa del futuro.

Dental regeneration: from myths to milestones in biological restoration to the regenerative dentistry of the future.

Agustín Zerón*

«Todas las bolsas de 7 milímetros o más,
algún día fueron de 3 milímetros o menos»
Aforismo No. 7

Durante más de un siglo, la odontología ha perfeccionado materiales, técnicas y tecnologías destinadas a restaurar tejidos perdidos. A lo largo de la historia, amalgamas, resinas compuestas, materiales cerámicos, biomateriales y las diversas opciones en los sistemas CAD/CAM han permitido recuperar función y estética con niveles de precisión impensables décadas atrás. Sin embargo, el paradigma tradicional ha permanecido inalterado: reemplazar lo perdido. Hoy, ese paradigma ha comenzado a transformarse, del tratamiento de las secuelas al tratamiento verdadero de las enfermedades. La pregunta simple ya no es únicamente cómo o con qué restaurar un diente o un defecto óseo, sino cómo regenerarlo.

La regeneración dental y periodontal representa una de las fronteras más fascinantes de la medicina regenerativa contemporánea, impulsada por los avances en biología celular y molecular, genómica, ingeniería tisular, nanotecnología e inteligencia artificial. La investigación actual busca activar mecanismos biológicos capaces de reconstruir esmalte, dentina, pulpa e incluso hueso o dientes completos, prácticamente inspirándonos en la biología del blastema y la autonomía caudal de algunas especies, o con ingeniería genética convertirnos de difodontes a poliodontes.

DE LA ESPECIFICIDAD CELULAR A LA PROTEÓMICA PERIODONTAL

Un hito verdaderamente fascinante fue el de 1976 cuando Antony H. Melcher describió el potencial de las células progenitoras en el tratamiento periodontal regenerativo. En la década de 1980, el grupo escandinavo encabezado por T. Karring y S. Nyman introdujeron a la investigación las membranas de teflón o politetrafluoroetileno expandido (e-PTFE) como barrera celular en la regeneración periodontal a lo que llamaron **regeneración tisular guiada (RTG)**, y descubrieron que las primeras células en poblar el área de la herida determinarían el tipo de tejido que finalmente ocuparía ese espacio. Las membranas actúan como barrera física para evitar que el tejido blando invada el defecto óseo, permitiendo que las células formadoras de hueso repueblen el área. Múltiples estudios posteriores respaldaron el uso de membranas como barrera para aislar el área del defecto óseo y permitir la regeneración *Restitutio ad integrum* con los tipos de tejidos específicos.

En la actualidad existen múltiples tipos de membranas, tanto absorbibles (colágenas y polímeros sintéticos) como no absorbibles (titanio y PTFE de alta densidad), las implicaciones de la regeneración tisular guiada para la regeneración del hueso alveolar y ligamento periodontal comenzaron a ser evidentes, y así se demostró aún más el uso de membranas como barrera de exclusión celular, específicamente se podría realizar la re-

* Endoperiodontólogo. Editor en Jefe de la Revista ADM. ORCID: 0000-0003-2081-8072

Citar como: Zerón A. Regeneración dental: de los mitos a los hitos de la restauración biológica a la odontología regenerativa del futuro. Rev ADM. 2026; 83 (4): 195-201. <https://dx.doi.org/10.35366/124042>



generación tisular guiada (RTG) para un defecto óseo del diente, o la **regeneración ósea guiada (ROG)** para corregir un colapso en el proceso alveolar. A medida que las terapias regenerativas siguen avanzando, los compuestos de polímeros cerámicos están perfilando un papel central en el desarrollo de dispositivos médicos más seguros, duraderos y biológicamente activos capaces de mejorar significativamente los resultados en la rehabilitación del paciente.

LA PERIODONTOLOGÍA DIO UN NUEVO GIRO A LA IMPLANTOLOGÍA

Este avance de la especificidad celular cambió el concepto inicial en la colocación de implantes dentales, antes colocábamos implantes donde había hueso, ahora con ROG podemos colocar los implantes regenerando hueso donde son necesarios de manera protésica y estética. Después siguieron apareciendo más biomateriales basados en factores de crecimiento celular, proteínas y péptidos, incluso las diversas proteínas recombinantes y la terapia génica con virus modificados o plásmidos de DNA.

Hoy los factores de crecimiento transformantes se emplean para aderezar a la regeneración. Por lo general, estos factores se utilizan para describir proteínas o péptidos cuya función está relacionada predominantemente con la regulación del crecimiento y proliferación celular a un tejido dañado. Por lo tanto, los factores de crecimiento son proteínas o péptidos producidos por diversos tipos celulares que, al liberarse en el sistema vascular, interactúan y se unen a receptores específicos en la superficie celular, desencadenando respuestas específicas a un tejido diana (Figura 1).

En la actualidad, se sabe que los **macrófagos** guían activamente la regeneración ósea guiada (ROG) al actuar como directores del sistema inmunitario y celular, lejos de ser simples células de limpieza de lesiones o heridas, que coordinan la transición crucial entre la inflamación inicial y la formación definitiva de hueso nuevo. El rol dinámico de los macrófagos en la ROG significa el éxito de un injerto o de una membrana, y su capacidad depende de los macrófagos para cambiar de forma y función (plasticidad celular) a través de dos fenotipos principales: fase M1 proinflamatoria («limpieza» y angiogénesis) y fase M2 antiinflamatoria («reparación» BMP-2 y proteínas recombinantes como la oncostatina OSM).

Las proteínas son partes vitales de los organismos vivos, ya que son componentes integrales de las vías metabólicas fisiológicas de las células. Los tejidos pe-

riodontales comprenden grupos multicompartimentales de células y matrices que interactúan y brindan soporte, unión, propiocepción y protección física continuos a los dientes. Para una comprensión más profunda del periodonto, se explorará el mapa del proteoma, es decir, el catálogo completo de la matriz y las proteínas celulares expresadas en el hueso alveolar, el cemento, el ligamento periodontal y la encía. Las células madre del ligamento periodontal humano (*Periodontal Ligament Stem Cells* o **PDLSC**) se consideran una población especializada de células madre mesenquimales adultas con alta capacidad de autorrenovación y diferenciación multipotente. Las primeras células madre mesenquimales (*Mesenchymal Stem Cells* o **MSC**) dentales que se aislaron y caracterizaron bien fueron las células madre de la pulpa dental (*Dental Pulp Stem Cells* o **DPSC**). Posteriormente, se descubrieron otras fuentes de tejido, incluyendo la pulpa de los dientes temporales, el ligamento periodontal, la papila apical, el folículo dental, el hueso alveolar, el germen dental y la encía.

El concepto actual va más allá de su rol clásico en la reparación tisular, destacando su función inmunomoduladora, su capacidad angiogénica y su alto potencial en la bioingeniería regenerativa para reconstruir el complejo de soporte dental. Es importante subrayar que las condiciones de la enfermedad periodontal pueden tener el potencial de afectar la capacidad regenerativa de las PDLSC.

Las investigaciones actuales emplean las vías de señalización molecular para permitir que las células se dividan, diferencien, migren y mueran de manera controlada, tal como lo codifican sus genes y lo expresan las proteínas. La ciencia periodontal puede utilizarse para monitorizar el estado de salud, el inicio de enfermedades, la respuesta al tratamiento y el pronóstico a largo plazo en la era de la integración de las ciencias «multiómicas» particularmente con la inteligencia artificial, genómica y la proteómica.

EL RENACIMIENTO DE LA TERCERA DENTICIÓN

Uno de los avances más prometedores proviene de la empresa biotecnológica japonesa *Toregem Biopharma Co Ltd*, que surgió hace seis años a partir de las investigaciones lideradas por el investigador japonés Katsu Takahashi, Director de Cirugía Oral y Maxilofacial en el Hospital Kitano (en Osaka) y cofundador de www.toregem.co.jp la empresa nacida de la Universidad de Kioto para comercializar este tratamiento.

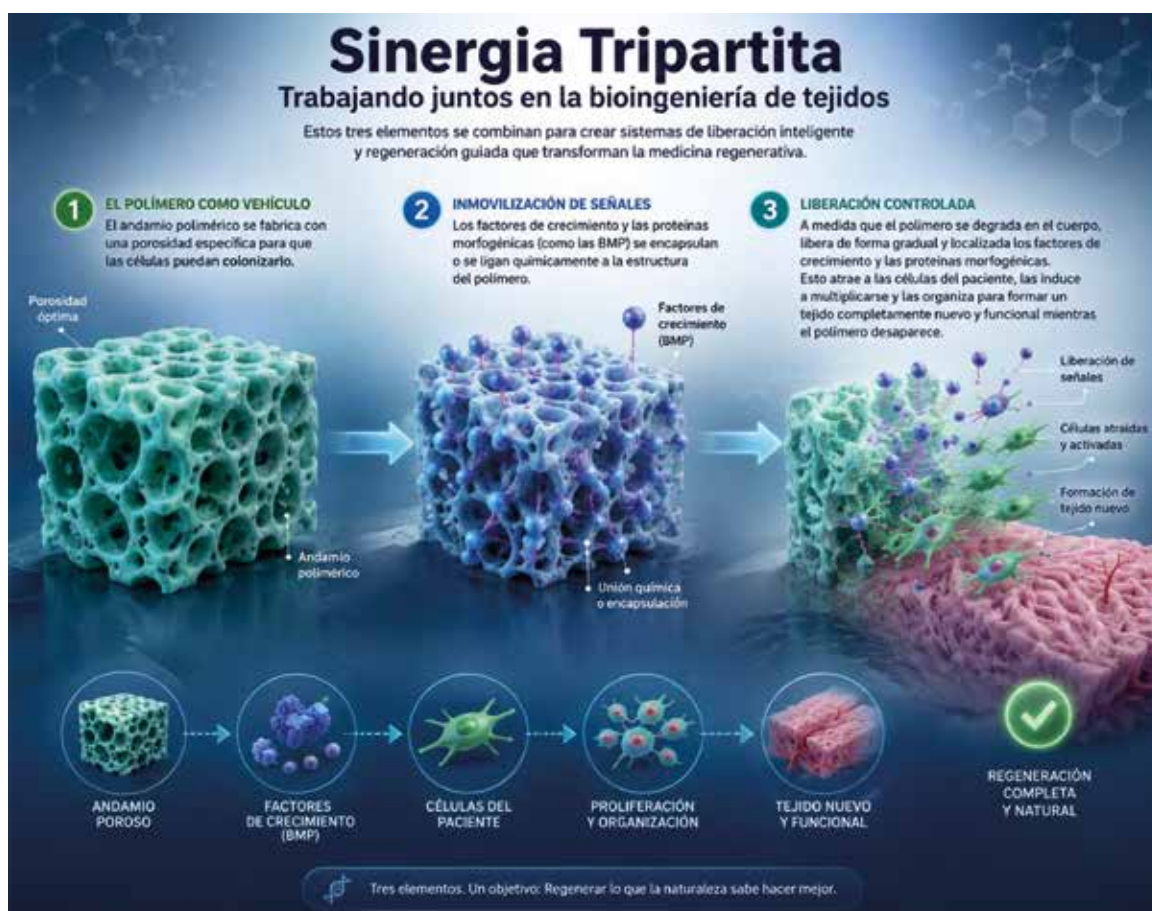


Figura 1: Los factores de crecimiento producidos por diversos tipos celulares, al liberarse, interactúan y se unen a receptores específicos en la superficie celular, desencadenando respuestas específicas para la regeneración.

Su trabajo se centra en la proteína USAG-1 (*Uterine Sensitization Associated Gene-1*), también conocida como el gen SOSTDC1 (*Sclerostin Domain Containing 1*), un regulador negativo de las vías de señalización molecular de BMP (proteína morfogénica ósea) y proteínas Wnt (gen *Gen Wingless/int-1*), fundamentales para el desarrollo dental. Estudios experimentales han demostrado que la inhibición de USAG-1 permite reactivar programas embriológicos latentes capaces de inducir la formación de dientes supernumerarios en modelos animales a través de TRG035, un **anticuerpo monoclonal humanizado anti-USAG-1** (TRG = Toregem y 035 = número de código de identificación).

La vía *Wnt* es el circuito genético principal para «encender» la formación de un nuevo diente. Genes como el ***Wnt10a*** estimulan a las células epiteliales para

que comiencen a dividirse y agruparse. Si esta vía se apaga de forma permanente, el reemplazo de dientes se detiene.

El concepto actual resulta extraordinario: los seres humanos conservan potenciales odontogénicos remanentes que permanecen silenciados durante la vida postnatal. Al bloquear USAG-1 mediante anticuerpos monoclonales, estos programas génicos podrían reactivarse y estimular la formación de un nuevo órgano dentario.

La ecuación podría resumirse en que **USAG-1** = freno fisiológico de la odontogénesis y **TRG035** = anticuerpo que neutraliza ese freno genético.

↓ Actividad USAG-1 → ↑ Señalización BMP/Wnt → Reactivación/progresión del germen dental → Odontogénesis.

Aunque todavía se encuentra en etapas clínicas tempranas, esta línea de investigación abre la posibilidad de una verdadera odontología regenerativa basada en la formación de nuevos dientes biológicamente guiados, particularmente para pacientes con agenesias múltiples o pérdida dental sin inflamación destructiva. Por lo que la primera indicación terapéutica estaría dirigida hacia **hipodoncia** y **oligodoncia congénitas**, y no hacia la reposición rutinaria de dientes perdidos por caries, periodontitis o traumatismos. Se espera que para 2030 esté disponible, y los análisis económicos del sector apuntan a que el tratamiento con USAG-1 o **TRG035-mab** (del inglés *Monoclonal Antibody*) tendría un costo aproximado de \$9,800 dólares por inyección. Vale más un gramo de prevención que un kilo de regeneración.

EL DESAFÍO DEL ESMALTE: REGENERAR EL TEJIDO MÁS DURO DEL CUERPO

No son pocas las preguntas de pacientes y colegas sobre «productos milagro» que en redes sociales anuncian la regeneración de dientes y del esmalte. Productos con nanohidroxiapatita (CollaGum), o polvo colágeno para regenerar dientes y encías (Encival) han sido los más sensacionalistas donde sólo presentan evidencias de interés comercial.

La regeneración del esmalte continúa siendo uno de los mayores retos científicos debido a la desaparición fisiológica de los ameloblastos después de la erupción dental, pero el papel del epitelio reducido del esmalte parecía ser el eslabón perdido para la neoformación tisular.

Diversos grupos de investigación han explorado biomateriales inspirados en la biomineralización natural, péptidos autorregulados, proteínas derivadas de amelogeninas y nanocristales de hidroxiapatita son capaces de inducir remineralización dirigida. Las **amelogeninas** son proteínas principales derivadas de la matriz del esmalte que se han usado en periodontología mediante derivados comerciales (Emdogain®) para estimular **PDLSC** para la regeneración del tejido periodontal perdido, incluyendo el cemento radicular, el ligamento periodontal y el hueso alveolar.

La denominada «ingeniería biomimética del esmalte» busca reproducir la arquitectura prismática altamente organizada que caracteriza a este tejido. Aunque aún no es posible regenerar esmalte completo con la complejidad estructural original, los avances

en nanotecnología permiten restaurar parcialmente su microestructura y mejorar significativamente la resistencia a la desmineralización. Es probable que las futuras estrategias combinen bioimpresión tridimensional, biomineralización guiada y sistemas inteligentes de liberación molecular para reconstruir superficies adamantinas con propiedades cada vez más cercanas a las naturales.

HIDROXIAPATITA DERIVADA DE ORINA: ECONOMÍA CIRCULAR APLICADA A LA ODONTOLOGÍA

Entre las innovaciones más sorprendentes emerge la producción de hidroxiapatita obtenida a partir de la recuperación de fosfatos presentes en la orina humana. La llamada *urine-derived hydroxyapatite* representa una propuesta alineada con los principios de sostenibilidad y economía circular. Mediante procesos controlados de precipitación química y purificación, es posible obtener cristales de hidroxiapatita con características fisicoquímicas comparables a las utilizadas en injertos óseos y biomateriales dentales.

Más allá del impacto ambiental positivo, esta tecnología podría reducir costos de producción y disminuir la dependencia de fuentes minerales tradicionales. Aunque todavía enfrenta retos regulatorios y de aceptación clínica, ejemplifica cómo la bioeconomía puede integrarse a la odontología regenerativa del siglo XXI.

LA NUEVA FRONTERA DE LA DENTINA REGENERATIVA

La dentina posee una ventaja biológica significativa respecto al esmalte: mantiene capacidad reparativa durante toda la vida gracias a la presencia de células madre pulpaes y odontoblastos residuales.

Actualmente, numerosos grupos trabajan en estrategias para inducir dentinogénesis mediante factores de crecimiento, proteínas morfogénicas óseas (BMP), matrices bioactivas y biomateriales inteligentes.

La liberación controlada de moléculas señalizadoras desde materiales bioactivos puede estimular la formación de dentina terciaria y favorecer procesos de reparación pulpar. Esta aproximación podría transformar la filosofía de los tratamientos conservadores, desplazando progresivamente procedimientos invasivos hacia terapias biológicas capaces de preservar la vitalidad del órgano dentino-pulpar.

TIDEGLUSIB: DE LA NEUROLOGÍA A LA ODONTOLOGÍA REGENERATIVA

Entre las moléculas más estudiadas destaca el Tideglusib, un inhibidor de la enzima glucógeno sintasa quinasa-3 (GSK-3). Originalmente desarrollado para enfermedades neurodegenerativas como el **Alzheimer**, en la investigación traslacional observaron que su administración local en lesiones dentinarias podía estimular la vía *Wnt/β-catenina*, activando células madre pulpares y promoviendo la formación de dentina reparativa.

Los trabajos pioneros realizados por investigadores del *King's College London* demostraron que pequeñas esponjas biodegradables impregnadas con Tideglusib podían inducir regeneración dentinaria significativa en modelos experimentales. Este hallazgo representa un ejemplo paradigmático de reposicionamiento farmacológico, donde un medicamento diseñado para una indicación médica encuentra nuevas aplicaciones en la regeneración tisular odontogénica (Tabla 1).

HACIA UNA ODONTOLOGÍA BIOLÓGICA DE PRECISIÓN

La convergencia entre genómica, biología molecular, células madre, biomateriales avanzados e inteligencia artificial está configurando una nueva era para la profesión. En las próximas décadas, la práctica odontológica podría evolucionar desde la restauración mecánica hacia la regeneración biológica personalizada. La integración de análisis genómicos, perfiles microbiológicos y modulación de la microbiota, biomarcadores salivales e inteligencia artificial permitirá identificar qué pacientes responderán mejor a terapias regenerativas específicas. La visión es ambiciosa: dientes capaces de regenerar dentina, esmalte biomimético reconstruido a escala nanométrica, tejidos pulpares revitalizados y, eventualmente, la formación de nuevos órganos

dentarios mediante control molecular del desarrollo odontogénico (Figura 2).

REFLEXIÓN FINAL

La historia de la odontología ha sido, en gran medida, la historia de la sustitución y de la repetición. Las coronas, prótesis, implantes y restauraciones dentales han representado respuestas extraordinarias a la pérdida de tejidos. Sin embargo, la biología y la ética nos invita ahora a imaginar algo diferente: no reemplazar, sino regenerar, pero antes de otro paso, primero prevenir.

Aunque muchas de estas tecnologías aún se encuentran en fases experimentales o de validación clínica, el cambio conceptual ya ha comenzado. La regeneración dental no constituye una promesa de ciencia ficción, sino una realidad científica en construcción.

Quizá dentro de algunas décadas, las futuras generaciones de odontólogos miren con asombro nuestra época y se pregunten cómo era posible que, teniendo la capacidad biológica de regenerar tejidos dentales, nos conformáramos únicamente con taparlos o reemplazarlos. Simplemente recordemos que, en el desarrollo traslacional, la primera indicación terapéutica para USAG-1/TRG035 estaría dirigida hacia hipodoncia y oligodoncia congénitas, y no hacia la reposición rutinaria de dientes perdidos por caries o periodontitis.

La odontología del futuro no estará definida por los biomateriales que coloquemos en los dientes o implantes en la cavidad oral, sino por nuestra capacidad para activar los mecanismos biológicos que permitan al organismo reconstruirse a sí mismo, y emocionalmente en cambiar los paradigmas en la capacidad y el valor de la prevención. Prevención es el acto de prever, y prever es saber lo que puede ocurrir. El verdadero paradigma actual es prevenir el inicio y progresión de una lesión, porque es más impactante detener la enfermedad que regenerar hueso y dientes perdidos por enfermedades. Ese futuro, ya lo estamos viviendo.

Tabla 1: Tres tecnologías actuales que conviene no confundir.

Tecnología	Molécula/señal	Objetivo	Situación
Toregem, Japón	Anticuerpo anti-USAG-1	Formación de un nuevo diente	Desarrollo clínico
King's College, London	Tideglusib/inhibición GSK-3 → Wnt	Regeneración de dentina	Preclínico
Seoul National University	Modulación OXTR + células madre pulpares	Regeneración dentinaria	Preclínico
«Parche coreano» BMP-2/Wnt	Supuestamente BMP-2 + Wnt	¿Diente completo?	No corroborado



Figura 2: La regeneración celular, tisular y odontogénica ha evolucionado con la participación del conocimiento científico, pero sobre todo con el poder de los genes, moléculas y células activadas.

BIBLIOGRAFÍA RECOMENDADA SOBRE REGENERACIÓN DENTAL

Regeneración dental mediante inhibición de USAG-1

El artículo fundacional que impulsó el desarrollo de la terapia de regeneración dental basada en USAG-1 es:

1. Murashima-Suginami A, Kiso H, Tokita Y, Mihara E, Nambu Y, Uozumi R et al. Anti-USAG-1 therapy for tooth regeneration through enhanced BMP signaling. *Sci Adv.* 2021; 7 (7): eabf1798.
2. Ravi V, Murashima-Suginami A, Kiso H, Tokita Y, Huang CL, Bessho K et al. Advances in tooth agenesis and tooth regeneration. *Regen Ther.* 2023; 22: 160-168.
3. Takahashi K, Kiso H, Mihara E, Takagi J, Tokita Y, Murashima-Suginami A. Development of a new antibody drug to treat congenital tooth agenesis. *J Oral Biosci.* 2024; 66 (4): 1-9.
4. Moradi Z, Karimi M, Kolahdouz S, Arya N, Akheshteh V, Ayanzadeh F et al. USAG-1 and Regenerative Dentistry, Therapeutic Implications and Future Directions: Review of the Literature. *Clin Exp Dent Res.* 2026; 12 (1): e70301.

Regeneración de dentina y Tideglusib

Tideglusib actúa inhibiendo GSK-3 y activando la vía Wnt/ β -catenina, promoviendo la movilización de células madre pul-

pares y la formación de dentina reparativa (PMC). La evidencia más sólida proviene del grupo de investigación del *King's College London*.

5. Neves VC, Babb R, Chandrasekaran D, Sharpe PT. Promotion of natural tooth repair by small molecule GSK3 antagonists. *Sci Rep.* 2017; 7: 39654.
6. Neves VCM, Sharpe PT. Regulation of reactionary dentine formation. *J Dent Res.* 2018; 97 (4): 416-422.
7. Zaugg LK, Banu A, Walther AR, Chandrasekaran D, Babb RC, Salzlechner C et al. Translation approach for dentine regeneration using GSK-3 antagonists. *J Dent Res.* 2020; 99 (5): 544-551.
8. Rao AC, Venkatesh KV, Nandini V, Sihivahanan D, Alamoudi A, Bahammam HA et al. Evaluating the effect of tideglusib-loaded bioactive glass nanoparticles as a potential dentine regenerative material. *Materials (Basel).* 2022; 15 (13): 4567.
9. Hanna S, Aly R, Eldeen GN, Adanero-Velasco A, Pérez-Alfayate R. Small molecule GSK-3 inhibitors safely promote the proliferation and viability of human dental pulp stem cells *in vitro*. *Biomedicines.* 2023; 11 (2): 542.

Regeneración y biomimética del esmalte

La tendencia actual se dirige hacia la remineralización biomimética basada en péptidos autoensamblables, proteínas derivadas de amelogeninas y nanocristales de hidroxiapatita. Aunque la

regeneración completa del esmalte sigue siendo un desafío biológico, estas revisiones son fundamentales:

10. Kirkham J, Firth A, Vernals D, Boden N, Robinson C, Shore RC et al. Self-assembling peptide scaffolds promote enamel remineralization. *J Dent Res*. 2007; 86 (5): 426-430.
11. Fan Y, Sun Z, Moradian-Oldak J. Controlled remineralization of enamel in the presence of amelogenin and fluoride. *Biomaterials*. 2009; 30 (4): 478-483.
12. Elsharkawy S, Al-Jawad M. Protein and peptide-based biomimetic remineralization of dental enamel. *Front Physiol*. 2018; 9: 316.
13. Pandya M, Diekwisch TGH. Enamel biomimetics-fiction or future of dentistry. *Int J Oral Sci*. 2019; 11 (1): 8.

Hidroxiapatita derivada de orina (Urine-Derived Hydroxyapatite)

Aunque todavía no existe una aplicación odontológica clínica consolidada, la hidroxiapatita obtenida a partir de fosfatos recuperados de la orina se perfila como una fuente sostenible para injertos óseos y biomateriales regenerativos. Esta es una línea emergente dentro de la bioeconomía circular aplicada a biomateriales:

14. Randall DG, Krahenbühl M, Kopping I, Larsen TA, Udert KM. A novel approach for stabilizing fresh urine by calcium hydroxide addition. *Water Res*. 2016; 95: 361-369.

15. Ohtake H, Tsuneda S. Phosphorus recovery and recycling. Springer; 2019.
16. Huang YZ, He T, Cui J, Jiang YL, Zeng JF, Zhang WQ et al. Urine-derived stem cells for regenerative medicine: basic biology, applications, and challenges. *Tissue Eng Part B Rev*. 2022; 28 (5): 978-994. doi: 10.1089/ten.teb.2021.0142.

Células madre y regeneración del complejo dentino-pulpar

17. Gronthos S, Mankani M, Brahimi J, Robey PG, Shi S. Postnatal human dental pulp stem cells (DPSCs) in vitro and in vivo. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2000; 97 (25): 13625-13630.
18. Nakashima M, Iohara K. Regeneration of dental pulp by stem cells. *Adv Dent Res*. 2011; 23 (3): 313-319.
19. Huang GT. Dental pulp and dentin tissue engineering and regeneration: advancement and challenge. *Front Biosci (Elite Ed)*. 2011; 3 (2): 788-800.
20. Iohara K, Imabayashi K, Ishizaka R, Watanabe A, Nabekura J, Ito M et al. Complete pulp regeneration after pulpectomy by transplantation of CD105+ stem cells with stromal cell-derived factor-1. *Tissue Eng Part A*. 2011; 17 (15-16): 1911-1920.

Correspondencia:

Agustín Zerón

E-mail: periodontologia@hotmail.com



La Revista ADM acaba de ser aceptada en el catálogo del SNPCyH

ACUERDO SNPCyH/SORDI-02.8/2026
Fecha 2ª Sesión ordinaria 7 de agosto de 2026

Registro No. 2600679 Revista ADM Órgano Oficial de la Asociación Dental Mexicana

(En junio se inició el registro para ingresar la REVISTAADM al Sistema Nacional de Publicaciones Científicas y Humanísticas (SNPCyH) 2026).

Sistema Nacional de Publicaciones Científicas y Humanísticas (SNPCyH)
Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI)

Lipocalina 2 en líquido crevicular gingival como posible biomarcador para la periodontitis.

Lipocalin-2 in gingival crevicular fluid as a potential biomarker for periodontitis.

Miguel Hazael Russell-Hernández,^{*,†,¶} Saúl Ernesto Cifuentes-Mendiola,^{*,§,||} Diana Laura Solís-Suárez,^{*,§,¶} Javier Antonio Garzón-Trinidad,^{*,†,¶} Ana Lilia García-Hernández^{*,§,¶}

RESUMEN

Introducción: la periodontitis es una enfermedad inflamatoria crónica inducida por la disbiosis de la microbiota oral. Se ha encontrado un incremento de lipocalina 2 (LCN2) en pacientes con periodontitis, por lo que podría ser un biomarcador y desempeñar un papel importante en su patogénesis. La evidencia clínica actual es aún reducida y no se ha investigado en la población mexicana. **Objetivo:** determinar las concentraciones de LCN2 en líquido crevicular gingival (LCG) de mexicanos con periodontitis. **Material y métodos:** se realizó un estudio observacional transversal de marzo 2024 a marzo 2025. Se reclutaron 40 individuos de la clínica de endoperiodontología, FES-Iztacala, UNAM. Después de la selección, de acuerdo con los criterios de inclusión y exclusión, se dividieron en un grupo sano (n = 6) y un grupo con periodontitis generalizada en estadio III, grado B (n = 11). Se recolectó el LCG y se cuantificaron las concentraciones de LCN2 mediante ensayo de ELISA. **Resultados:** el grupo con periodontitis tuvo un incremento significativo de LCN2 en LCG; estos niveles de LCN2 se correlacionaron positivamente con la profundidad de la bolsa periodontal y el nivel de adhesión clínica gingival. **Conclusión:** las concentraciones de LCN2 se relacionan con la destrucción periodontal en mexicanos con periodontitis estadio III, grado B.

Palabras clave: periodontitis, lipocalina 2, biomarcador.

ABSTRACT

Introduction: periodontitis is a chronic inflammatory disease induced by oral microbiota dysbiosis with a high prevalence. Increased lipocalin 2 (LCN2) has been found in patients with periodontitis, so it could be a biomarker and play a key role in its pathogenesis. Current clinical evidence is still limited and has not been investigated in a Mexican population. **Objective:** to determine LCN2 concentrations in gingival crevicular fluid (GCF) in Mexicans with periodontitis. **Material and methods:** a cross-sectional observational study was conducted from March 2024 to March 2025. Forty individuals were recruited from the Endoperiodontology Clinic, FES-Iztacala, UNAM. After selection according to inclusion and exclusion criteria, they were divided into a healthy group (n = 6) and a group with stage III, grade B generalized periodontitis (n = 11). The GCF was collected, and LCN2 concentrations were quantified by ELISA. **Results:** the periodontitis group had significantly increased LCN2 levels in the GCF, and these LCN2 levels were positively correlated with periodontal pocket depth and the level of clinical gingival attachment. **Conclusion:** LCN2 concentrations are associated with periodontal destruction in Mexicans with stage III, grade B periodontitis.

Keywords: periodontitis, lipocalin 2, biomarker.

* Facultad de Estudios Superiores Iztacala. Universidad Nacional Autónoma de México. México.

† Clínica de Endoperiodontología.

§ Laboratorio de Investigación Odontológica, Sección de Osteoinmunología, Clínica Universitaria de Salud Integral Almaraz.

ORCID:

¶ 0000-0002-5661-5042; || 0000-0002-6440-4114; ** 0000-0002-8494-4070; §§ 0000-0002-9194-6963; §§ 0000-0002-5213-8461

Recibido: 29 de abril de 2025. Aceptado: 20 de abril de 2026.

Citar como: Russell-Hernández MH, Cifuentes-Mendiola SE, Solís-Suárez DL, Garzón-Trinidad JA, García-Hernández AL. Lipocalina 2 en líquido crevicular gingival como posible biomarcador para la periodontitis. Rev ADM. 2026; 83 (4): 202-208. <https://dx.doi.org/10.35366/124043>



Abreviaturas:

ELISA = *Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay* (análisis de inmunoabsorción ligado a enzimas)

LCG = líquido crevicular gingival

LCN2 = lipocalina 2

NIC = nivel de inserción clínica

PBP = profundidad de la bolsa periodontal

INTRODUCCIÓN

La lipocalina 2 (LCN2), también llamada lipocalina asociada a neutrófilos, es una glucoproteína secretada por adipocitos, neutrófilos y macrófagos;¹ sin embargo, se ha demostrado que los osteoblastos son la fuente principal de LCN2.²

La LCN2 cumple múltiples funciones en la defensa inmune innata, la reproducción sexual, la ingesta de alimento y el apetito, la producción de insulina y la regulación del metabolismo glucolítico y lipídico.^{3,4} Cambios en la concentración de LCN2 se han asociado con el desarrollo de diversas enfermedades como la periodontitis.

La periodontitis es una enfermedad multifactorial inducida por la disbiosis de la microbiota oral que conduce a la destrucción de los tejidos de soporte del diente y es el resultado de interacciones complejas entre la microbiota disbiótica, la respuesta inmune inflamatoria, factores genéticos, influencias epigenéticas y factores ambientales.⁵ Actualmente, la periodontitis se clasifica como la sexta enfermedad más prevalente en el mundo;⁶ en México, se ha reportado una prevalencia que va de 50.7 a 89%.⁷⁻¹⁰

En un estudio preclínico con ratones con periodontitis y periodontitis asociada a diabetes mellitus tipo 2, se encontró que la neutralización de LCN2 disminuyó la pérdida ósea alveolar, los niveles del factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α) y del ligando del receptor activador para el factor nuclear κ B en el hueso alveolar, un inductor de la osteoclastogénesis.¹¹

En biopsias de tejido gingival de pacientes adultos y jóvenes con periodontitis, se observó un incremento de células polimorfonucleares positivas para LCN2 en el tejido conectivo.¹² En un metaanálisis se informó que los individuos con enfermedad periodontal tenían niveles más elevados de LCN2, principalmente en el líquido crevicular gingival (LCG) y en saliva; esto demuestra que existe una asociación entre los niveles de LCN2 y el aumento de marcadores inflamatorios. El tratamiento periodontal disminuyó las concentraciones de LCN2.¹³

En estudios clínicos se ha reportado que la periodontitis aumenta los niveles de LCN2 en el LCG y que se asocia con parámetros periodontales como el índice gingival, el índice de placa bacteriana, la profundidad y el sangrado

al sondeo en pacientes turcos, sugiriendo que su aumento podría ser un biomarcador para el diagnóstico no invasivo de la enfermedad periodontal.¹⁴

Aunque la evidencia existente a la fecha es escasa, esta sugiere que la LCN2 podría ser un buen biomarcador para determinar la clasificación y nivel de riesgo de la periodontitis y podría llegar a ser útil para el tratamiento de la enfermedad periodontal.¹⁵ Por lo tanto, en este estudio nos enfocamos en determinar los niveles de LCN2 en LCG de sujetos sanos y con enfermedad periodontal, y si estos niveles de LCN2 se relacionan con el grado de severidad de la periodontitis en una muestra poblacional de individuos del área metropolitana de la Ciudad de México.

MATERIAL Y MÉTODOS**Consideraciones éticas y legales**

Se realizó un estudio observacional transversal de marzo 2024 a marzo 2025. El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, con número de folio CE/FESI/032024/1702. Todos los procedimientos se realizaron de acuerdo con la declaración de la Asociación Médica Mundial de Helsinki. Se obtuvo el consentimiento informado de cada paciente incluido en este estudio.

Población de estudio

Se reclutaron pacientes de 18 a 65 años, de ambos sexos, sin evidencia aparente de enfermedad sistémica, de la Clínica de Endoperiodontología de la FES-Iztacala, UNAM. En total, el estudio incluyó 20 pacientes con salud periodontal que fueron agrupados en el grupo control sano y 20 pacientes con diagnóstico de periodontitis localizada o generalizada en estadio III, grado B, que fueron agrupados en el grupo periodontitis.

Criterios de inclusión y exclusión

Se consideraron los siguientes criterios de inclusión para el grupo control sano: ausencia de signos clínicos de enfermedad periodontal o inflamación gingival (índice gingival < 1), con un mínimo de 20 dientes y sin historial de tratamiento periodontal o patología sistémica. Los criterios de inclusión para los pacientes con enfermedad periodontal fueron: periodontitis generalizada moderada, severa o avanzada, estadio II (nivel de inserción clínica (NIC) de 3 a 4 mm, profundidad de la bolsa periodontal (PBP) máxima de $\leq$ 5 mm y pérdida ósea radiográfica en

tercio coronal (15% a 33%); estadio III o IV ($\text{NIC} \geq 5$ mm, $\text{PBP} \geq 6$ mm y pérdida ósea radiográfica que se extiende al tercio leve de la raíz), según la clasificación de Tonetti y colaboradores,¹⁶ y tener un mínimo de 20 dientes. En todos los casos, los pacientes incluidos en el estudio contaban con plenas facultades psíquicas y mentales, siendo su voluntad participar en el estudio.

Para ambos grupos, los criterios de exclusión fueron: edad menor a 18 años y mayor a 65 años, individuos con alguna condición preexistente como osteoporosis, compromiso inmunológico, uso de antibióticos, antiinflamatorios, hormonas, o cualquier otra medicación en los tres meses previos al estudio; historial de tabaquismo, embarazo, lactancia, hipertensión arterial, hiperglucemia, uso de ortodoncia, abuso de alcohol, tratamiento periodontal previo o condiciones periodontales o periapicales agudas; falta de un examen periodontal completo y pacientes que no quisieran participar en el estudio.

Se excluyeron 14 pacientes del grupo sano y 9 del grupo con periodontitis. Finalmente, el grupo sano quedó compuesto por seis pacientes y el grupo con periodontitis por 11 (Figura 1).

Obtención de LCG

El LCG se recolectó antes de cualquier intervención quirúrgica en la zona afectada. Se aisló la zona de recolección de manera relativa utilizando torundas de algodón y un eyector. Una vez aislada el área, se utilizó una tira de papel Whatman No. 3, previamente cortada y estéril, que se introdujo en el surco durante 30 segundos. Los puntos de recolección fueron: mesio-vestibular, medio-vestibular, disto-vestibular, mesiopalatino/lingual, medio-palatino/lingual y distopalatino/lingual.

Las tiras de papel se colocaron en un tubo de ultracentrifugación de 1.5 mL con filtro, estéril y etiquetado, y se transportaron inmediatamente en hielo para ser almacenadas a -70 °C para su análisis posterior. Las tiras se lavaron con 100 μL de *buffer* de fosfatos salino (PBS 1x) estéril con inhibidor de proteasas (Complete TM Roche # 11836170001) y se centrifugaron a 11,000 rpm a 4 °C para obtener las proteínas solubles.

Cuantificación de LCN2 en LCG

Se realizó la cuantificación de LCN2 por ensayo de ELISA (*Enzyme-Linked Immunosorbent Assay*) utilizando el kit comercial «LEGEND MAX™ Mouse NGAL (Lipocalin-2) ELISA Kit» (BioLegend, EEUU), de acuerdo con las especificaciones del fabricante. Brevemente, se recubrió una placa de 96 pozos de fondo plano con un anticuerpo de captura específico para LCN2. La curva estándar se elaboró con concentraciones de cero y hasta 5,000 pg/mL de LCN2 recombinante. En cada pozo se añadieron 50 μL de *buffer* de ensayo B, seguidos de 50 μL de las diluciones estándar y de muestra.

La placa se incubó durante dos horas a temperatura ambiente y se lavó cuatro veces con PBS 1x. Luego, se adicionaron 100 μL de anticuerpo de detección y se incubó por una hora a temperatura ambiente. Después de cuatro lavados con PBS 1x, se añadieron 100 μL de estreptavidina-HRP, incubando la placa por 30 minutos a temperatura ambiente. La placa se lavó cinco veces más, y luego se añadieron 100 μL de la solución sustrato, incubando por 15 minutos a temperatura ambiente. Finalmente, se colocaron 100 μL de solución de detención. Se realizó una lectura con un espectrofotómetro a 450 nm.

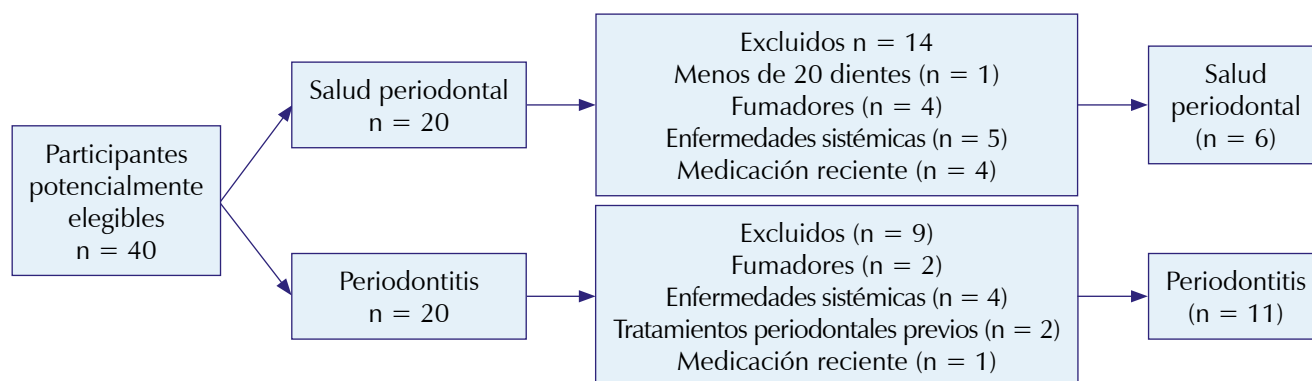


Figura 1: Selección de pacientes de acuerdo con los criterios de inclusión y exclusión. Se incluyeron seis pacientes con salud periodontal y 11 pacientes con periodontitis.

Tabla 1: Características clínicas periodontales y de la población.

Característica	Sanos N = 6 Media ± EEM	Enfermedad periodontal N = 11 Media ± EEM	p
Edad (años)	44.33 ± 5.32	50.36 ± 2.69	0.6077
Sexo, n			
Femenino	5	6	
Masculino	1	5	
Características periodontales			
IP (%)	22.25 ± 9.5	40.50 ± 13.8	0.0319*
PBP (mm)	1.67 ± 0.53	6.5 ± 2.0	0.0005§
NIC (mm)	0 ± 0	3.0 ± 0.84	0.0011‡
POR (mm)	0.15 ± 0.12	4.7 ± 2.2	0.0104*

EEM = error estándar. IP = índice de placa. NIC = nivel de inserción clínica. PBP = profundidad de bolsa periodontal. POR = pérdida ósea radiográfica.

* $p \leq 0.05$. § $p \leq 0.001$. ‡ $p \leq 0.01$.

Análisis estadístico

Para la comparación entre los grupos de estudios, se realizó la prueba no paramétrica de Mann-Whitney. Para analizar la asociación entre la concentración de LCN2 y los parámetros periodontales, calculamos los coeficientes de correlación mediante la prueba de correlación de Spearman. Para todos los casos, las diferencias estadísticas se consideraron significativas con un valor de $p \leq 0.05$. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software GraphPad Prism 9.

RESULTADOS

Características poblacionales

Los pacientes del grupo sano tuvieron una edad media de 44.33 ± 5.32 años EEM, mientras que los del grupo con enfermedad periodontal tuvieron una edad media de 50.36 ± 2.69 años EEM. No se encontraron diferencias significativas entre las edades de ambos grupos ($p = 0.6077$) (Tabla 1).

El índice de placa bacteriana (*biofilm*) fue mayor en los pacientes con enfermedad periodontal que en los

pacientes sanos periodontales ($p = 0.0319$). Los pacientes con enfermedad periodontal tuvieron un diagnóstico de periodontitis generalizada estadio III, grado B, evidenciado por la profundidad de la bolsa periodontal (6.5 ± 2.0 EEM), el nivel de inserción clínica gingival (3.0 ± 0.84 EEM) y la pérdida ósea radiográfica (4.7 ± 2.2 EEM); todos estos parámetros tuvieron diferencias significativas en comparación con el grupo de pacientes sanos periodontales (Tabla 1).

La periodontitis incrementa los niveles de LCN2 en LCG

Se encontró una concentración de LCN2 de 2,000 pg/mL en el LCG de los pacientes con salud periodontal, mientras que los pacientes con periodontitis generalizada estadio III, grado B, tuvieron más del doble de la concentración de LCN2, de 4,500 pg/mL (Figura 2).

Los niveles de LCN2 en LCG se correlacionan positivamente con los parámetros clínicos de periodontitis

Con el objetivo de determinar si existe una relación entre los niveles de LCN2 en LCG y los parámetros clínicos periodontales, se realizó un análisis de co-

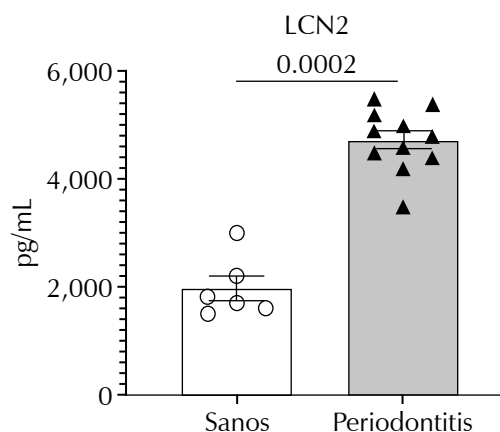
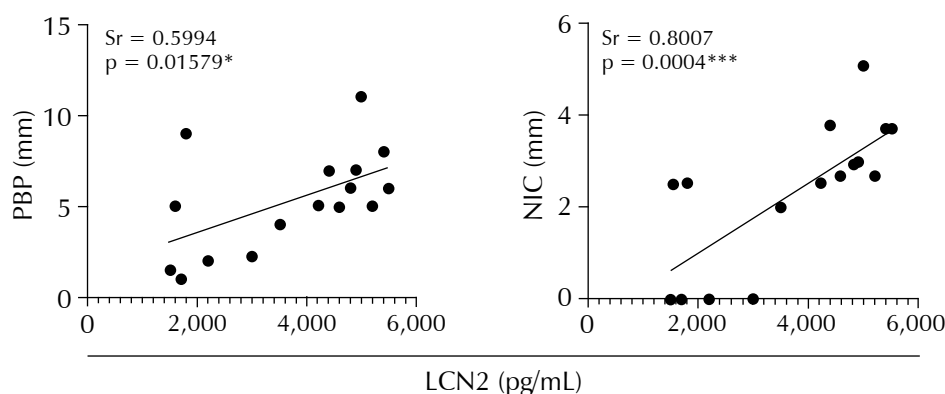


Figura 2: La periodontitis incrementa las concentraciones de lipocalina 2 en líquido crevicular gingival. Resultados de la cuantificación de lipocalina 2 en líquido crevicular gingival obtenidos por ensayos de ELISA. El gráfico representa la media ± EEM. La línea representa la diferencia significativa y se muestra el valor de p.

EEM = error estándar. ELISA = *Enzyme-Linked ImmunoSorbent Assay* (análisis de inmunoabsorción ligado a enzimas). LCG = líquido crevicular gingival. LCN2 = lipocalina 2.

**Figura 3:**

Los niveles de lipocalina 2 en líquido crevicular gingival se correlacionan con la profundidad de la bolsa periodontal y el nivel de inserción clínica. Resultados del análisis de correlación entre las concentraciones de lipocalina 2 (LCN2) en líquido crevicular gingival con la profundidad de la bolsa periodontal (PBP) y el nivel de inserción clínica (NIC).

relación. Observamos una correlación positiva entre LCN2 y profundidad de la bolsa periodontal (PBP) ($p = 0.015$) y el nivel de inserción clínica (NIC) gingival ($p = 0.0004$) (Figura 3).

DISCUSIÓN

En este estudio observamos que la periodontitis provoca un incremento de LCN2 en el LCG y que este incremento se asocia con los parámetros clínicos de periodontitis PBP y NIC. Hasta donde sabemos, este es el primer reporte sobre los niveles de LCN2 en pacientes mexicanos con periodontitis.

Analizamos los niveles de LCN2 en LCG debido a que, aunque se han estudiado diferentes fluidos como la saliva, lágrimas y suero para detectar biomarcadores en la enfermedad periodontal, el LCG se ha propuesto como uno de los fluidos más importantes para determinar cambios en la expresión de diferentes moléculas asociadas al desarrollo y severidad de la periodontitis, y que, además, pueden ser utilizados como biomarcadores.¹⁷⁻²¹ Esto concuerda con nuestros resultados, en donde observamos un incremento de LCN2 en LCG en los pacientes con periodontitis, que además se correlacionó con los parámetros clínicos de periodontitis. En este sentido, de acuerdo con nuestros resultados y reportes previos,^{21,22} la LCN2 es un potencial biomarcador que puede ser utilizado para el diagnóstico y predictibilidad para tratamientos periodontales, lo cual beneficiaría el pronóstico de los pacientes.

Recientemente en una revisión sistemática se reportó que la LCN2 está involucrada en las enfermedades periodontales, probablemente a través de la inflamación, ya que los niveles de LCN2 aumentan en las enfermedades periodontales, lo que se correla-

ciona con el tipo y la gravedad de la afección.¹³ Esto se corrobora con este estudio, ya que observamos un incremento de LCN2 en pacientes con periodontitis que se correlaciona positivamente con la profundidad de la bolsa periodontal y el nivel de inserción clínica gingival.

En esta misma revisión sistemática se encontró que el tratamiento periodontal ayuda a reducir los niveles de LCN2 junto con otros marcadores inflamatorios, lo que contribuye a la mejora de la salud periodontal.¹³ Sería importante determinar las concentraciones de LCN2 después de diferentes tratamientos que reducen la inflamación periodontal, con el objetivo de determinar la participación de la LCN2 sobre los mecanismos inflamatorios que conducen a la destrucción de los tejidos de soporte del diente.

Por otro lado, los niveles de LCN2 también se han visto incrementados en suero de pacientes con diferentes enfermedades como el cáncer,²³ enfermedad inflamatoria intestinal,²⁴ enfermedades cardiovasculares,²⁵ diabetes mellitus,²⁶ y enfermedad renal,²⁷ patologías que se han relacionado con la periodontitis.²⁸⁻³² Por lo tanto, estos reportes previos y la creciente evidencia que incluye nuestros hallazgos sobre el incremento de LCN2 en la periodontitis sugiere la LCN2 podría estar participando como una molécula vinculante entre la periodontitis y diferentes enfermedades sistémicas, por lo que sería importante estudiar esta asociación en el futuro.

La LCN2 representa un biomarcador de la inflamación y destrucción periodontal y pudiera ser de gran utilidad para mejorar la predictibilidad de la gravedad de la enfermedad periodontal; sin embargo, son necesarios estudios futuros para abordar nuevos enfoques en la mejora del tratamiento de la periodontitis y su relación con enfermedades sistémicas.

CONCLUSIONES

Las concentraciones de LCN2 en LCG se relacionan con la destrucción periodontal en pacientes con periodontitis generalizada estadio III, grado B. La LCN2 podría ser un biomarcador molecular de la periodontitis.

AGRADECIMIENTOS

Al Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT), a cargo de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico (DGAPA) de la Universidad Nacional Autónoma de México [IN205925]. A la Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) [CBF2023-2024-1431].

REFERENCIAS

- Jaberi SA, Cohen A, D'Souza C et al. Lipocalin-2: Structure, function, distribution and role in metabolic disorders. *Biomed Pharmacother.* 2021; 142: 112002.
- Mosialou I, Shikhel S, Liu JM et al. MC4R-dependent suppression of appetite by bone-derived lipocalin 2. *Nature.* 2017; 543 (7645): 385-390.
- Flo TH, Smith KD, Sato S et al. Lipocalin 2 mediates an innate immune response to bacterial infection by sequestering iron. *Nature.* 2004; 432 (7019): 917-921.
- Schroder SK, Gasterich N, Weiskirchen S, Weiskirchen R. Lipocalin 2 receptors: facts, fictions, and myths. *Front Immunol.* 2023; 14: 1229885.
- Kwon T, Lamster IB, Levin L. Current Concepts in the Management of Periodontitis. *Int Dent J.* 2021; 71 (6): 462-476.
- Needleman I, García R, Gkraniias N et al. Mean annual attachment, bone level, and tooth loss: a systematic review. *J Periodontol.* 2018; 89 Suppl 1: S120-S139.
- Morales-Ruiz P, Moreno-Barrera A, Ribas-Pérez D et al. Periodontal health of a low socioeconomic level population in Yucatan (Mexico): a cross-sectional study. *Medicine (Baltimore).* 2023; 102 (45): e35748.
- Rojo BNR, Flores EA, Arcos CM. Prevalencia, severidad y extensión de periodontitis crónica. *Rev Odont Mex.* 2011; 15 (1): 31-39.
- Minaya-Sánchez M, Medina-Solís CE, Maupomé G et al. Prevalence of and risk indicators for chronic periodontitis in males from Campeche, Mexico. *Rev Salud Publica (Bogota).* 2007; 9 (3): 388-398.
- Borges-Yáñez SA, Irigoyen-Camacho ME, Maupomé G. Risk factors and prevalence of periodontitis in community-dwelling elders in Mexico. *J Clin Periodontol.* 2006; 33 (3): 184-194.
- Solís-Suárez DL, Cifuentes-Mendiola SE, González-Alva P et al. Lipocalin-2 as a fundamental protein in type 2 diabetes and periodontitis in mice. *J Periodontol.* 2025; 96 (4): 369-382.
- Westerlund U, Ingman T, Lukinmaa PL et al. Human neutrophil gelatinase and associated lipocalin in adult and localized juvenile periodontitis. *J Dent Res.* 1996; 75 (8): 1553-1563.
- Solís-Suárez DL, Cifuentes-Mendiola SE, García-Hernández AL. A systematic review of the implications of lipocalin-2 expression in periodontal disease. *Evid Based Dent.* 2025; 26 (1): 69.
- Ceylan M, Erbak YH, Narin F, Tatakis DN, Saglam M. Gingival crevicular fluid lipocalin-2 and semaphorin3A in stage III periodontitis: Non-surgical periodontal treatment effects. *J Periodontol Res.* 2022; 57 (4): 724-732.
- Qahtan HA, Sarhat ER, Hasan AN, Rifaat ST. Evaluation of lipocalin-2 and visfatin, and vitamin (D, C, and E) in serum of diabetic patients with chronic periodontitis. *Indian Journal of Forensic Medicine & Toxicology.* 2021; 15 (2): 1668-1674.
- Tonetti MS, Greenwell H, Kornman KS. Staging and grading of periodontitis: Framework and proposal of a new classification and case definition. *J Periodontol.* 2018; 89 Suppl 1: S159-S172.
- Stathopoulou PG, Buduneli N, Kinane DF. Systemic biomarkers for periodontitis. *Curr Oral Health Rep.* 2015; 2: 218-226.
- Baser U, Oztekin G, Ademoglu E, Isik G, Yalcin F. Is the severity of periodontitis related to gingival crevicular fluid and serum high-sensitivity C-reactive protein concentrations? *Clin Lab.* 2014; 60 (10): 1653-1658.
- Liukkonen J, Gürsoy UK, Pussinen PJ, Suominen AL, Kononen E. Salivary concentrations of interleukin (IL)-1 β , IL-17A, and IL-23 vary in relation to periodontal status. *J Periodontol.* 2016; 87 (12): 1484-1491.
- Kamil TF, Ali OH. Association between the cytokine IL-23 in saliva with periodontal health and disease. *Egypt J Hosp Med.* 2023; 91 (1): 3920-3924.
- Pradeep AR, Nagpal K, Karvekar S, Patnaik K. Levels of lipocalin-2 in crevicular fluid and tear fluid in chronic periodontitis and obesity subjects. *J Invest Clin Dent.* 2016; 7: 376-382.
- Tsuchida S, Satoh M, Kawashima Y et al. Application of quantitative proteomic analysis using tandem mass tags for discovery and identification of novel biomarkers in periodontal disease. *Proteomics.* 2013; 13 (15): 2339-2350.
- Rodvold JJ, Mahadevan NR, Zanetti M. Lipocalin 2 in cancer: when good immunity goes bad. *Cancer Lett.* 2012; 316 (2): 132-138.
- Stallhofer J, Friedrich M, Konrad-Zerna A et al. Lipocalin-2 is a disease activity marker in inflammatory bowel disease regulated by IL-17A, IL-22, and TNF- α and modulated by IL23R genotype status. *Inflamm Bowel Dis.* 2015; 21 (10): 2327-2340.
- Ni J, Ma X, Zhou M et al. Serum lipocalin-2 levels positively correlate with coronary artery disease and metabolic syndrome. *Cardiovasc Diabetol.* 2013; 12: 176.
- Elkheidir AE, Eltaher HB, Mohamed AO. Association of lipocalin-2 level, glycemic status and obesity in type 2 diabetes mellitus. *BMC Res Notes.* 2017; 10 (1): 285.
- Viau A, El Karoui K, Laouari D et al. Lipocalin 2 is essential for chronic kidney disease progression in mice and humans. *J Clin Invest.* 2010; 120 (11): 4065-4076.
- Baima G, Minoli M, Michaud DS, Aimetti M, Sanz M, Loos BG, Romandini M. Periodontitis and risk of cancer: Mechanistic evidence. *Periodontol 2000.* 2024; 96 (1): 83-94.
- Ozayzan FI, Albishri AA, Dallak AE et al. Periodontitis and inflammatory bowel disease: a review. *Cureus.* 2024; 16 (2): e54584.
- Naderi S, Merchant AT. The association between periodontitis and cardiovascular disease: an update. *Curr Atheroscler Rep.* 2020; 22 (10): 52.
- Wu CZ, Yuan YH, Liu HH et al. Epidemiologic relationship between periodontitis and type 2 diabetes mellitus. *BMC Oral Health.* 2020; 20 (1): 204.
- Parsegian K, Randall D, Curtis M, Ioannidou E. Association between periodontitis and chronic kidney disease. *Periodontology 2000.* 2022; 89 (1): 114-124.

Conflicto de intereses: los autores reportan no tener ningún conflicto de intereses.

Aspectos éticos: el estudio fue aprobado por el comité de ética de la Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UNAM, con número de folio CE/FESI/032024/1702. Todos los procedimientos se realizaron de acuerdo con la declaración de la Asociación Médica Mundial de Helsinki. Se obtuvo el

consentimiento informado de cada paciente incluido en este estudio.

Financiamiento: UNAM-DGAPA-PAPIIT [IN205925], Secretaría de Ciencias, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) [CBF2023-2024-1431].

Correspondencia:

Dra. Ana Lilia García-Hernández

E-mail: ana.garcia@unam.mx

Microdureza y caracterización del esmalte dental después del descementado de aparatología ortodóncica: estudio *in vitro*.

Microhardness and characterization of tooth enamel when debonding orthodontic appliances: in vitro study.

Jorge Alberto Jiménez-Monge,* Edith Lara-Carrillo,† Ulises Velázquez-Enríquez,§
 Víctor Hugo Toral-Rizo,¶ Raúl Alberto Morales-Luckie,|| Nayeli Lovera-Rojas,** Elías Nahúm Salmerón-Valdés,‡‡
 Adriana Alejandra Morales-Valenzuela,§§ Ana Miriam Santillán-Reyes,¶¶ Alicia García-Verónica,***
 Gloria Elena Guzmán-Celaya†††

RESUMEN

Introducción: en ortodoncia se genera retención con ácido para adherir aparatos ortodóncicos. **Objetivo:** determinar la microdureza y caracterización del esmalte después de descementar aparatología ortodóncica. **Material y métodos:** estudio longitudinal con 68 premolares divididos en: G1-control, G2-experimental sin aparatología, G3-colocación de brackets metálicos y G4-colocación de brackets estéticos. Se sometieron a pH cíclico para posteriormente medir la microdureza del esmalte y su caracterización por espectroscopia de energía dispersiva (EDS). Se aplicó prueba ANOVA, con una $p < 0.05$ para establecer diferencias estadísticamente significativas. **Resultados:** la microdureza del esmalte se afectó en todos los grupos experimentales, aunque en los grupos G3 con G4 no se observaron diferencias ($p = 0.568$). Se demostró mayor presencia de carbono en grupos G3 y G4, con diferencias en comparación con G1 y G2. Los resultados del oxígeno indican que G2 mostró diferencias con el resto de los grupos. Referente al calcio y fósforo, los grupos G1 y G2 mostraron diferencias en comparación con G3 y G4. **Conclusiones:** la aplicación de ácido al esmalte impacta su microdureza, sin importar el tipo de bracket colocado. Hubo mayor

ABSTRACT

Introduction: in orthodontics, acid is used to bond orthodontic appliances. **Objective:** to determine microhardness and characterization of enamel after debonding orthodontic appliances. **Material and methods:** a longitudinal study was carried out with 68 premolars divided into: G1-control, G2-experimental without appliances, G3-metal bracket placement, and G4-aesthetic bracket placement. They were subjected to cyclic pH to subsequently measure enamel microhardness and its characterization by EDS. An ANOVA test was applied, with $p < 0.05$ value to establish statistically significant differences. **Results:** enamel microhardness was affected in all experimental groups, although no differences were observed in groups G3 and G4 ($p = 0.568$). A greater presence of carbon was demonstrated in groups G3 and G4, with differences compared to G1 and G2. The oxygen results indicate that G2 differed from the rest of the groups. Regarding calcium and phosphorus, groups G1 and G2 showed differences compared to G3 and G4. **Conclusions:** the application of acid in enamel impacts its microhardness, regardless of the type of bracket used. There was greater loss of calcium and

* Estudiante de Maestría. Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Odontología (CIEAO) «Dr. Keisaburo Miyata». Facultad de Odontología (FO) de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEMéx). Toluca, México. ORCID: 0009-0009-0385-745X

† Departamento de Ortodoncia, CIEAO «Dr. Keisaburo Miyata». FO de la UAEMéx. México. ORCID: 0000-0002-6714-7790

‡ Departamento de Ortodoncia, CIEAO «Dr. Keisaburo Miyata». FO de la UAEMéx. México. ORCID: 0000-0002-8796-7809

§ Jefe de la Clínica de Medicina y Patología Bucal «Orocentro», FO de la UAEMéx. México. ORCID: 0000-0003-0839-0771

|| Centro de Investigación en Química Sustentable UAEM-UNAM. UAEMéx. México. ORCID: 0000-0002-7277-8650

** Profesora, FO de la UAEMéx. México. ORCID: 0000-0001-9351-7444

‡‡ Profesor, FO de la UAEMéx. México. ORCID: 0000-0001-6732-6388

§§ Profesora, FO de la UAEMéx. México. ORCID: 0000-0002-5159-8685

¶¶ Profesora, FO de la UAEMéx. México. ORCID: 0009-0001-0471-5316

*** Profesora, FO de la Universidad Autónoma de Guerrero. México. ORCID: 0000-0003-1801-1691

††† Profesora, FO de la Universidad Autónoma de Sinaloa. México. ORCID: 0000-0002-2635-4558

Recibido: 07 de mayo de 2025. Aceptado: 20 de abril de 2026.

Citar como: Jiménez-Monge JA, Lara-Carrillo E, Velázquez-Enríquez U, Toral-Rizo VH, Morales-Luckie RA, Lovera-Rojas N et al. Microdureza y caracterización del esmalte dental después del descementado de aparatología ortodóncica: estudio *in vitro*. Rev ADM. 2026; 83 (4): 209-215. <https://dx.doi.org/10.35366/124044>



pérdida de calcio y fósforo con presencia de brackets, pero el bracket adherido disminuyó el impacto del pH cíclico, pero se afectó el esmalte en el proceso de descementación, lo que puede ser factor de riesgo para lesiones dentales futuras.

Palabras clave: esmalte dental, bracket, ortodoncia, microdureza, desmineralización.

phosphorus with the presence of brackets; however, the bonded bracket reduced the impact of cyclic pH, which was subsequently affected by debonding, it could be considered a risk factor for dental lesions.

Keywords: tooth enamel, bracket, orthodontics, microhardness, demineralization.

INTRODUCCIÓN

El esmalte dental es considerado el tejido más duro del cuerpo humano por su alto contenido de material inorgánico, principalmente hidroxiapatita (96%). Algunos estudios consideran que tiene una dureza de 5 en la escala de Mohs. Sin embargo, esta dureza compromete la elasticidad de la sustancia adamantina, haciéndolo más susceptible a micro- y macrofracturas.¹⁻³

En ortodoncia se manipula la superficie del esmalte disolviendo sus minerales con la aplicación de un gel de ácido ortofosfórico en una concentración de 30 a 37% durante 15 segundos, con la finalidad de producir una superficie retentiva para los materiales resinosos y así poder adherir ciertos aparatos ortodóncicos, lo que puede incrementar la susceptibilidad del esmalte a daños físicos por el estrés ocasionado en la superficie debido al constante cementado y descementado de los aparatos.⁴⁻⁶

La microdureza se define como la resistencia que ofrece la superficie a la penetración o indentación permanente de materiales muy duros y de zonas pequeñas, por lo cual constituye un indicador de la calidad del esmalte dental para resistir procesos de desgaste y efectos erosivos. Las pruebas utilizadas con mayor frecuencia para evaluar la dureza superficial son las de Brinell, Rockwell, Vickers y Knoop.⁷⁻¹⁰

En odontología, la medición de espectroscopia de energía dispersiva (EDS) en el esmalte ha proporcionado información sobre la presencia de diversos elementos como son oxígeno, carbono, hidrógeno, nitrógeno, calcio, fósforo, sodio y potasio; sin embargo, los de mayor interés son el carbono, calcio, fósforo y oxígeno, puesto que son los que conforman la hidroxiapatita, principal mineral del esmalte dental.¹¹⁻¹⁵

El objetivo de la presente investigación fue determinar la microdureza y caracterización superficial del esmalte en premolares humanos extraídos por indicación ortodóncica después del descementado de aparatología fija ortodóncica por debajo de su colocación.

MATERIAL Y MÉTODOS

El presente estudio, de tipo longitudinal y experimental, obtuvo el número CEICIEAO-2022-015 de registro ante el Comité de Ética en Investigación del Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Odontología de la Universidad Autónoma del Estado de México. La muestra analizada estuvo constituida por 68 premolares extraídos por indicaciones ortodóncicas, preservados en timol en una concentración al 0.1% para evitar la deshidratación y proliferación bacteriana.

Una vez obtenida la muestra, se removieron tejidos blandos remanentes con una hoja de bisturí del número 15, se colocaron en bases acrílicas autocurables (NicTone, MDC® Dental México) y se pulió la superficie vestibular del diente con discos de pulido Sof-lex^{XT} (3M Unitek, Monrovia, Calif). Los dientes fueron divididos en cuatro grupos con 17 dientes cada uno:

- **Grupo control (G1):** grupo que no se sometió a pH cíclico y sin colocación de brackets.
- **Grupos experimentales:** G2: se sometieron a pH cíclico, sin colocación de brackets. G3: se sometieron a pH cíclico, con colocación de brackets metálicos (3M Unitek Gemini, Roth 018, Monrovia, Calif). G4: se sometieron a pH cíclico, con colocación de brackets estéticos (3M Clarity Advanced, Roth 0.018, Monrovia, Calif).

Para la adhesión de los brackets, se colocó ácido ortofosfórico al 37% (grabador universal Scotchbond de 3M, Monrovia, Calif) por 15 segundos, se irrigó la superficie con agua en spray y se secó con aire comprimido; posteriormente se colocó el *bonding* (Transbond MIP adhesivo insensible a la humedad, 3M Unitek), se cementó el bracket con resina (Transbond XT 3M Unitek) y finalmente se fotopolimerizó con lámpara (Bluephase N MC, Ivoclar-Vivadent), con una intensidad de 800 mW/cm² y una longitud de onda de 430 a 490, durante 20 segundos.

Para simular el medio ambiente bucal, los dientes se colocaron en soluciones remineralizantes compuestas por 1.5 mM de CaCl_2 , 0.9 mM de Na_2PO_4 y 0.15 mM de KCl durante 21 horas y desmineralizantes conformadas por 2.2 mM de CaCl_2 , 2.2 mM de NaH_2PO_4 , 0.05 nM de ácido acético y 1 nM de KOH durante 3 horas en incubadora a una temperatura de 37 °C, realizando los cambios de soluciones durante 15 días.¹⁶

Transcurridos 15 días, se descementó la aparatología con una pinza para remover brackets (Hu-Friedy®), limpiando la superficie con pinza quita resinas (Hu-Friedy®).

De los 17 dientes, se seleccionaron de manera aleatoria dos dientes de cada grupo, los cuales no fueron sometidos al microdurómetro para su análisis en microscopio electrónico de barrido (SEM).

La muestra de 17 dientes por grupo se analizó en el microdurómetro Vickers (Micromet 1 Micro hardness taster, Buehler LTD Lake Bluff, Illinois 60044 USA), con una carga de 200 gramos de fuerza por 15 segundos.

La caracterización del esmalte de los dos dientes seleccionados de cada grupo se obtuvo con microscopio electrónico de barrido (modelo JSM-6510LV, JEOL México) a una magnificación de 800×.

Se obtuvo la estadística descriptiva de los grupos experimentales y control. Respecto a los datos de microdureza, así como a los de carbono, oxígeno, calcio y fósforo, se aplicaron pruebas de normalidad Shapiro-Wilk, obteniendo una distribución normal de los datos. Posteriormente, se realizó estadística paramétrica utilizando la prueba ANOVA para determinar la presencia de diferencias estadísticamente significativas, con un valor de $p < 0.05$; después de determinar dichas diferencias, se realizó una prueba *post hoc* de Tukey para establecer la existencia de dichas diferencias entre grupos. El análisis se realizó con el paquete estadístico SPSS versión 27.

RESULTADOS

En la [Tabla 1](#) se muestran las medidas de tendencia central de microdureza de cada grupo en escala de Vickers.

Al aplicar la prueba ANOVA para la comparación entre grupos, se observó una diferencia estadísticamente significativa con un valor de $p = 0.000$. Posteriormente, con la prueba de Tukey se demostraron estas diferencias estadísticas, excepto entre G3 y G4 ($p = 0.568$).

Con respecto al análisis de EDS, se seleccionaron elementos constitutivos de la hidroxiapatita como carbono, oxígeno, calcio y fósforo obtenidos en porcentajes de masa. Para determinar las diferencias, se aplicó nuevamente la prueba ANOVA para cada uno de los elementos, encontrando diferencias significativas entre grupos, identificándolos posteriormente por la prueba de Tukey. La [Tabla 2](#) muestra los valores promedios de cada uno de los elementos antes mencionados. En la [Tabla 3](#) se muestran las comparaciones de acuerdo con la prueba de Tukey entre grupos y elementos, observando variabilidad de los componentes del esmalte.

Al comparar el carbono del G1 con los grupos experimentales, se encontraron diferencias estadísticamente significativas con G3 y G4, que fueron los que tenían bracket metálico y estético ($p = 0.000$). Se observó el mismo comportamiento al comparar el G2 con G3 y G4 ($p = 0.000$). Entre G1 y G2 no se encontraron diferencias significativas ($p = 0.438$); tampoco entre G3 y G4 ($p = 0.159$).

Los resultados del oxígeno indican que sólo se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre G1 con G2 ($p = 0.007$), G2 con G3 ($p = 0.002$) y G2 con G4 ($p = 0.003$).

Referente al calcio, las diferencias estadísticas se observaron en todas las comparaciones, a excepción de G3

Tabla 1: Medidas de tendencia central de la microdureza por grupos de estudio.

Microdureza	Grupos de estudio			
	G1	G2	G3	G4
Media ± DE	350.39 ± 35.10	140.63 ± 44.55	268.87 ± 22.24	253.65 ± 20.36
Mediana	359.24	127.32	270.64	249.66
DE = desviación estándar.				

Tabla 2: Promedios del porcentaje en masa del carbono, oxígeno, calcio y fósforo por grupos de estudio.

Elementos	Grupos de estudio Media $\pm$ DE			
	G1	G2	G3	G4
Carbono	8.51 $\pm$ 1.97	6.42 $\pm$ 1.09	23.88 $\pm$ 4.13	20.93 $\pm$ 3.97
Oxígeno	40.34 $\pm$ 4.6	32.18 $\pm$ 8.20	41.57 $\pm$ 3.81	41.02 $\pm$ 2.91
Calcio	35.13 $\pm$ 2.15	48.77 $\pm$ 6.52	24.28 $\pm$ 3.44	26.59 $\pm$ 3.39
Fósforo	15.12 $\pm$ 0.69	15.41 $\pm$ 1.07	10.27 $\pm$ 1.00	11.45 $\pm$ 1.11

DE = desviación estándar.

Tabla 3: Comparación del porcentaje en masa del carbono, oxígeno, fósforo y calcio entre grupos de estudio.

Grupos comparativos		Elementos			
Grupo base	Grupo comparativo	Carbono	Oxígeno	Calcio	Fósforo
G1	G2	0.438	0.007*	0.000*	0.912
G1	G3	0.000*	0.954	0.000*	0.000*
G1	G4	0.000*	0.991	0.000*	0.000*
G2	G3	0.000*	0.002*	0.000*	0.000*
G2	G4	0.000*	0.003*	0.000*	0.000*
G3	G4	0.159	0.996	0.761	0.053*

* Prueba de Tukey, valor de $p \leq 0.05$.

con G4 ($p = 0.761$), es decir, entre el tipo de material del bracket utilizado.

Y respecto a las diferencias del fósforo entre grupos, todas fueron significativas a excepción de G1 con G2 ($p = 0.912$), referente a la comparación del grupo control con aquel que no se colocó bracket en su superficie.

Por último, en las micrografías con una magnificación $\times 800$, la *Figura 1A* muestra al G1 con características de un esmalte sano; la *Figura 1B* corresponde al G2, en la cual puede verse una superficie más irregular debido a la acción del pH cíclico al que fue sometido, y las *Figuras 1C y 1D* muestran las superficies de los grupos experimentales posteriores al retiro del bracket metálico y estético, respectivamente; en éstas se aprecian superficies con mayor porosidad, características de la desmineralización causada por el ácido ortofosfórico y el pH cíclico.

DISCUSIÓN

Se tiene la creencia de que el tratamiento de ortodoncia culmina con la fase de retención; sin embargo, deben de ser atendidas las secuelas que puedan ocasionarse por el grabado ácido del esmalte, enfermedad periodontal durante el tratamiento o lesiones por la remoción de restos resinosos, entre otros.¹⁷⁻²⁰

Se ha asociado la microdureza dental con el grado de mineralización del esmalte, existiendo diversos métodos para medirla. El indentador Vickers ha mostrado ser el más práctico debido a la facilidad de medición de diagonales: basta con medir dos líneas rectas para conocer el área de la huella.²¹

En este estudio se evaluó la microdureza del esmalte después del descementado de la aparatología fija, observando una franca disminución de ésta, con diferencias

significativas. Al someter los grupos al pH cíclico, se pudo observar una diferencia entre los grupos experimentales que presentaban brackets y el grupo experimental que no presentaba. Esto podría traducirse en que la interfase de la resina con el bracket funciona como un protector de efectos químicos mientras se encuentran adheridos a la superficie del esmalte, sin importar el tipo de bracket que se adhiera, ya que no hubo diferencias entre los grupos de bracket cerámico o metálico.

Lo anterior podría corroborarse con estudios realizados en dientes con brackets y agentes blanqueadores. Por ejemplo, De-Melo-Oliveira y colaboradores²² evaluaron el gel blanqueador debajo de la superficie del bracket, demostrando que los cambios pueden ser variables y no hay una penetración importante del gel por debajo de la malla del bracket; de igual manera, Pinzan-Vercelino y su equipo²³ realizaron un estudio con pastas blanqueadoras caseras, obteniendo un resultado parecido.

Es importante destacar que en este estudio se valoraron los cambios de la superficie del esmalte directamente por debajo de la malla del mismo. Esto debido a que se reportan con mayor frecuencia los daños que sufre el esmalte alrededor del bracket y no debajo de él. Sin embargo, la superficie que está en contacto directo con el bracket puede presentar un mayor daño por el

grabado ácido que recibe, la colocación de un material como la resina y la fuerza del descementado durante el retiro del bracket.

Respecto a los cambios obtenidos de los elementos que constituyen la hidroxiapatita, el más característico fue el del calcio y el fósforo, como lo reportó Swietlicka y colaboradores;²⁴ estos elementos son más susceptibles a la acción del ácido ortofosfórico debido a que éste promueve la pérdida mineral, con la finalidad de aumentar la porosidad de la superficie y mejorar la retención de los adhesivos.²⁵ Lo anterior se observó en las micrografías de los grupos experimentales 3 y 4 sometidos a ácido ortofosfórico, evidenciando mayor porosidad de la superficie en comparación con las micrografías de los grupos 1 y 2.

También se pueden encontrar elementos fundamentales como el oxígeno y los carbonatos en la composición de la hidroxiapatita, cuya función principal es el mantenimiento estructural de estos cristales.²⁶ Lo anterior podría explicar el motivo de la disminución de los porcentajes de estos elementos en este estudio después de que fueron sometidos a pH cíclico, lo que favorece la liberación iónica de los elementos orgánicos, a diferencia del calcio, que se incrementó, o el fósforo, que se mantuvo igual.

La búsqueda de una adecuada adhesión a las superficies ha llevado al uso de agentes como el hipoclorito de

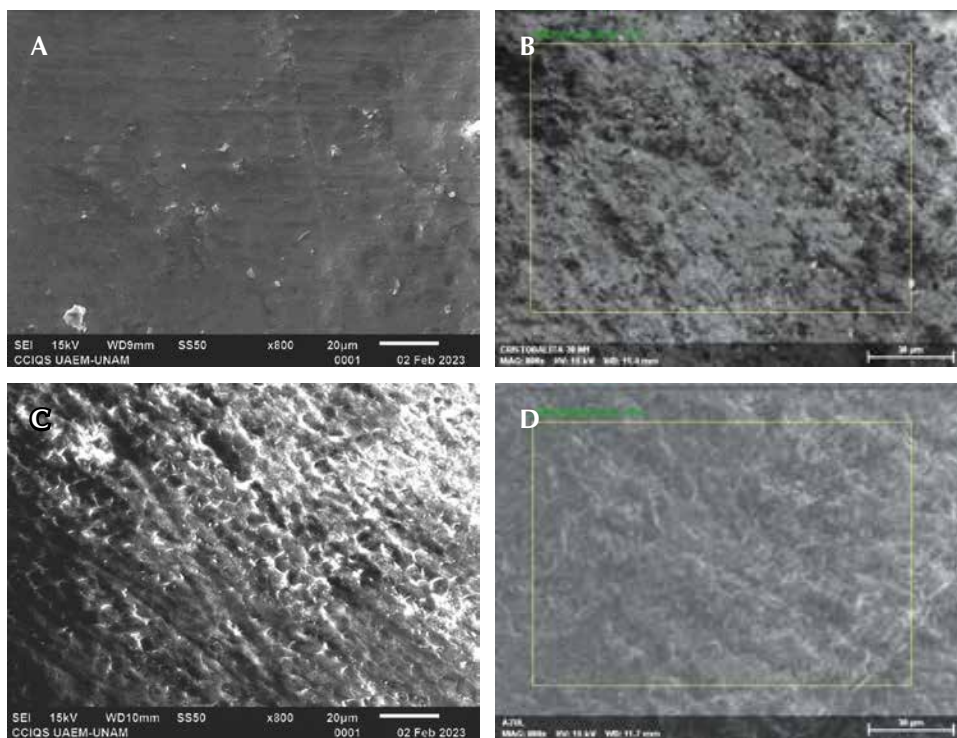


Figura 1:

Micrografías a 800× de cada grupo de estudio. **A)** G1 con características de esmalte sano. **B)** G2 con superficie irregular debido a la acción del pH cíclico. **C)** G3 superficie posterior al pH cíclico y retiro del bracket metálico. **D)** G4 posterior al pH cíclico y retiro del bracket estético.

sodio, el arenado, el ácido ortofosfórico y los adhesivos autograbables.²⁷ En este estudio, las micrografías del grupo 2 mostraron zonas más irregulares en comparación con los demás grupos, debido a la exposición directa a las soluciones desmineralizante y remineralizante durante el estudio, resultado concordante con la literatura.²⁷

Se ha reportado que al comparar el esmalte en condiciones óptimas con un esmalte después del descementado de la aparatología ortodóncica fija, hay un mayor número y longitud de grietas, lo que se traduce en una mayor susceptibilidad del esmalte a erosiones, fracturas y formación de caries.²⁸

Se ha evaluado la cantidad de remanente resinoso de brackets cerámicos y metálicos en las superficies del esmalte, siendo mayor en los cerámicos.^{29,30} Los hallazgos de estas investigaciones concuerdan con lo reportado en el presente estudio, puesto que, al comparar las micrografías, se apreciaron pequeños residuos de resina, principalmente en imágenes del G4. No obstante, no hubo diferencias al evaluar los cambios en la composición del esmalte según el tipo de bracket utilizado (cerámico o metálico); se observó pérdida de calcio y fósforo por igual, e incremento de carbono y oxígeno en ambos grupos.

Se han publicado diversos métodos para la eliminación del remanente resinoso, siendo la fresa multihojas de baja velocidad la que reporta menor pérdida de esmalte; sin embargo, todo procedimiento sigue siendo lesivo, incrementando las posibilidades de daños ulteriores, sin importar el tipo de aparatología utilizada.³⁰

Por lo anterior, se recomienda realizar más pruebas sobre los cambios morfológicos e histoquímicos del esmalte por debajo de la colocación de aparatología fija, ya que esta zona es la que se expone más a daños químicos y mecánicos, aunado a que el tiempo de permanencia de los aparatos ortodóncicos incrementa el riesgo de formación de lesiones blancas, acumulación de placa y formación de caries, entre otros factores.

CONCLUSIONES

La manipulación del esmalte con soluciones ácidas tiene un impacto directo sobre la microdureza del mismo, sin diferencias significativas si se trata de colocación de bracket metálico o cerámico, perdiéndose mayor cantidad de calcio y fósforo en su composición. En los grupos con bracket adherido a su superficie, se disminuyó el impacto del pH cíclico, pero se afectó el esmalte en el proceso de descementado, lo que puede ser factor de riesgo para lesiones dentales a futuro.

REFERENCIAS

- Gustafson G, Sundstrom B. Enamel: morphological considerations. J Dent Res. 1975; 54 (Spec B): 114-120.
- Lacruz RS, Habelitz S, Wright JT, Paine ML. Dental enamel formation and implications for oral health and disease. Physiol Rev. 2017; 97 (3): 939-993.
- Salehi P, Shavakhi M, Nazari S, Ajami S. The effect of multiple enamel conditioning on enamel micro-hardness. Dent Res J (Isfahan). 2022; 19: 62.
- Wang WN, Li CH, Chou TH, Wang DDH, Lin LH, Lin CT. Bond strength of various bracket base designs. Am J Orthod Dentofac Orthop. 2004; 125 (1): 65-70.
- Mandri MN, Lezcano MR, Navarro J, Zamudio ME. Estudio comparativo *in vitro* de la fuerza de adhesión a la superficie dental de brackets metálicos y cerámicos utilizando un cemento a base de resina, con diferentes sistemas de fotopolimerización y espesores de material. Acta Odont Venez. 2018; 56 (2): 11-17.
- Golshah A, Bagheri N, Moslem Imani M, Safari-Faramani R. Effects of different types of laser etching versus phosphoric acid etching on shear bond strength of metal brackets to human enamel: A systematic review and meta-analysis of *in vitro* studies. Int Orthod. 2020; 18 (4): 673-683.
- Hodge HC. Hardness tests on teeth. J Dent Res. 1935; 1 5(5): 271-279.
- He LH, Swain MV. Understanding the mechanical behaviour of human enamel from its structural and compositional characteristics. J Mech Behav Biomed Mater. 2008; 1 (1): 18-29.
- Amélia S, Vedovello S, Grigoletto M, Filho MV, Valdrighi HC, Kuramae M. Knoop hardness of enamel and shear bond strength of brackets. Dent Press J Orthod. 2012; 17 (4): 21-25.
- Siripamitdul P, Sivavong P, Osathanon T, Pianmee Ch, Sangsawatpong W, Bunsong Ch et al. The effects of radiotherapy on microhardness and mineral composition of tooth structures. Eur J Dent. 2023; 17 (2): 357-364.
- De Menezes Oliveira MA, Torres CP, Gomes-Silva JM, Chinelatti MA, Hueb De Menezes FC, Palma-Dibb RG et al. Microstructure and mineral composition of dental enamel of permanent and deciduous teeth. Microsc Res Tech. 2010; 73 (5): 572-577.
- Ipohorski M, Bozzano PB. Microscopia electrónica de barrido en la caracterización de materiales. Cienc Invest. 2013; 63 (3): 43-53.
- Machoy M, Seeliger J, Lipski M, Wójcicka A, Gedrange T, Wozniak K. SEM-EDS-based elemental identification on the enamel surface after the completion of orthodontic treatment: *in vitro* studies. Biomed Res Int. 2016; 2016: 7280535.
- Naves LZ, Gerdolle DA, de Andrade OS, Markus Maria Gresnigt M. Seeing is believing? When scanning electron microscopy (SEM) meets clinical dentistry: The replica technique. Microsc Res Tech. 2020; 83 (9): 1118-1123.
- Tantibhaedhyangkul W, Tantrapornpong J, Yutchawit N, Theerapanon T, Intarak N, Thaweesapthak S et al. Dental characteristics of patients with four different types of skeletal dysplasias. Clin Oral Investig. 2023; 27 (10): 5827-5839.
- Lara-Carrillo E, Lovera-Rojas N, Morales-Luckie RA, Robles-Bermeo NL, García-Fabla MM, De-la-Rosa-Santillana R et al. The Effects of remineralization via fluoride versus low-level laser IR810 and fluoride agents on the mineralization and microhardness of bovine dental enamel. Appl Sci. 2018; 8: 1-12.
- Arboleda Ariza N, Wasserman Milhem I, Reina Velosa DK, Quintero Quinche I. Evaluación de la superficie del esmalte luego de la descementación de brackets metálicos. Revisión sistemática. Univ Odontol. 2018; 36 (77).

18. Eliades T, Brantley WA, editors. Orthodontic applications of biomaterials: a clinical guide. Cambridge (UK): Woodhead Publishing; 2017.
19. Linjawi AI. Sealants and white spot lesions in orthodontics: a review. J Contemp Dent Pract. 2020; 21 (7): 808-814.
20. Marinelli G, Inchingolo AD, Inchingolo AM, Malcangi G, Limongelli L, Montenegro V et al. White spot lesions in orthodontics: prevention and treatment. A descriptive review. J Biol Regul Homeost Agents. 2021; 35 (2 Suppl. 1): 227-240.
21. Shihabi S, AlNesser S, Comisi JC. Comparative remineralization efficacy of topical NovaMin and fluoride on incipient enamel lesions in primary teeth: scanning electron microscope and Vickers microhardness evaluation. Eur J Dent. 2021; 15 (3): 420-424.
22. De-Melo-Oliveira I, Santana TR, Correia ACC, Fontes LS, Griza S, Faria-E-Silva AL. Color heterogeneity and individual color changes in dentin and enamel bleached in the presence of a metallic orthodontic bracket. J Esthet Restor Dent. 2021; 33 (2): 262-268.
23. Pinzan-Vercelino CRM, Lima SNL, Pereira FFJV, Gurgel JA, Silva GRD, Freitas KMS. Efficacy of products for bleaching and whitening under orthodontic brackets. Dental Press J Orthod. 2022; 27 (5): e2220325.
24. Swietlicka I, Kuc D, Swietlicki M, Arczewska M, Muszynski S, Tomaszewska E et al. Near-surface studies of the changes to the structure and mechanical properties of human enamel under the action of fluoride varnish containing CPP-ACP compound. Biomolecules. 2020; 10 (5): 765.
25. Han F, Liang R, Xie H. Effects of phosphoric acid pre-etching on chemisorption between enamel and MDP-containing universal adhesives: chemical and morphological characterization, and evaluation of its potential. ACS Omega. 2021; 6 (20): 13182-13191.
26. Khalid H, Chaudhry AA. Basics of hydroxyapatite—structure, synthesis, properties, and clinical applications. In: Khan AS, Chaudhry AA, editors. Handbook of ionic substituted hydroxyapatites. Cambridge (UK): Woodhead Publishing; 2020. p. 85-115.
27. Wong J, Tsujimoto A, Fischer NG, Baruth AG, Barkmeier WW, Johnson EA et al. Enamel Etching for Universal Adhesives: Examination of Enamel Etching Protocols for Optimization of Bonding Effectiveness. Oper Dent. 2020;45(1):80-91.
28. Dalaie K, Fatemi SM, Behnaz M, Ghaffari S, Hemmatian S, Soltani AD. Effect of different debonding techniques on shear bond strength and enamel cracks in simulated clinical set-ups. J World Fed Orthod. 2020;9(1):18-24.
29. Pinho M, Manso MC, Almeida RF, Martin C, Carvalho Ó, Henriques B et al. Bond Strength of Metallic or Ceramic Orthodontic Brackets to Enamel, Acrylic, or Porcelain Surfaces. Materials (Basel). 2020;13(22):5197.
30. Bora N, Mahanta P, Kalita D, Deka S, Konwar R, Phukan C. Enamel surface damage following debonding of ceramic brackets: a hospital-based study. ScientificWorldJournal. 2021; 2021: 5561040.

Conflicto de intereses: los autores declaramos que no tenemos ningún conflicto de intereses.

Aspectos éticos: se obtuvo el número CEICIEAO-2022-015 de registro ante el Comité de Ética en Investigación del Centro de Investigación y Estudios Avanzados en Odontología, de la Universidad Autónoma del Estado de México.

Financiamiento: no se recibió ningún financiamiento para su desarrollo.

Correspondencia:

Dra. en C.S. Edith Lara-Carrillo

E-mail: laracaedith@hotmail.com

Evolución de vidrios bioactivos: del hueso dañado a la regeneración ósea personalizada.

Evolution of bioactive glasses: from damaged bone to personalized bone regeneration.

Gregorio González Martínez*

RESUMEN

La cirugía maxilofacial enfrenta desafíos significativos en la reconstrucción de defectos óseos complejos, requiriendo biomateriales eficaces que superen las limitaciones de los injertos tradicionales. En este contexto, los vidrios bioactivos (VB), introducidos por Hench con el Bioglass 45S5, representaron un hito por su capacidad de formar una unión directa con tejido óseo mediante la inducción de hidroxiapatita. Sin embargo, la primera generación de VB sintetizada por fusión presenta limitaciones como baja porosidad, control restringido y dificultad para la carga de fármacos. Los estudios llevaron al desarrollo de vidrios bioactivos mesoporosos (VBM) mediante una ruta de elaboración sol-gel, marcando una transición hacia la tercera generación de biomateriales. Esto permitió la creación de materiales con alta porosidad y gran área superficial, acelerando la bioactividad y, fundamentalmente, posibilitando la carga y liberación controlada de fármacos, factores de crecimiento e iones terapéuticos. El dopaje con iones como Sr, Zn, Cu, Ag y B confiere propiedades adicionales como osteoestimulación, angiogénesis y efectos antibacterianos o inmunomoduladores; los avances en la impresión 3D han permitido el diseño de andamios de VBM con arquitectura porosa personalizada, biomiméticos a la estructura ósea, mejorando la interacción celular, la vascularización y la osteointegración. Aunque persisten desafíos en las propiedades mecánicas y la traslación clínica, estos materiales son prometedores para la regeneración de grandes defectos óseos y la posibilidad de reparación de tejidos blandos. Este artículo es una revisión de literatura publicada en bases de datos como PubMed, Google Scholar y SciELO.

Palabras clave: regeneración ósea, sustitutos óseos, vidrios bioactivos, bioactivos mesoporosos.

ABSTRACT

Maxillofacial surgery faces significant challenges in reconstructing complex bone defects, requiring effective biomaterials that overcome the limitations of traditional grafts. In this context, bioactive glasses (VB), introduced by Hench with Bioglass 45S5, represented a milestone due to their ability to form a direct bond with bone tissue through the induction of hydroxyapatite. However, the first generation of fusion-synthesized VBs presented limitations such as low porosity, restricted control, and difficulty in drug loading. Studies led to the development of mesoporous bioactive glasses (BBMs) using a sol-gel process, marking a transition to the third generation of biomaterials. This enabled the creation of materials with high porosity and large surface area, accelerating bioactivity and fundamentally enabling the loading and controlled release of drugs, growth factors, and therapeutic ions. Doping with ions such as Sr, Zn, Cu, Ag, and B confers additional properties such as osteostimulation, angiogenesis, and antibacterial or immunomodulatory effects. Advances in 3D printing have enabled the design of VBM scaffolds with customized porous architectures that are biomimetic to bone structure, improving cell interaction, vascularization, and osseointegration. Although challenges remain regarding mechanical properties and clinical translation, these materials show promise for regeneration of large bone defects and the potential for soft tissue repair. This article is a literature review of articles published in databases such as PubMed, Google Scholar, and SciELO.

Keywords: bone regeneration, bone substitutes, bioactive glasses, mesoporous bioactives.

* Cirujano dentista. Práctica privada. ORCID: 0009-0006-3435-7392

Recibido: 03 de diciembre de 2025. Aceptado: 08 de julio de 2026.

Citar como: González MG. Evolución de vidrios bioactivos: del hueso dañado a la regeneración ósea personalizada. Rev ADM. 2026; 83 (4): 216-223. <https://dx.doi.org/10.35366/124045>



Abreviaturas:

Ha = hidroxiapatita
 VB = vidrios bioactivos
 VBB = vidrios bioactivos de borato
 VBBS = vidrios bioactivos de borosilicato
 VBM = vidrios bioactivos mesoporosos

INTRODUCCIÓN

La cirugía maxilofacial enfrenta importantes desafíos en la reconstrucción de defectos óseos causados por patologías tumorales y traumatismos; debido a esto, surge la necesidad de encontrar biomateriales eficaces que favorezcan la regeneración ósea y que funcionen en dichas reconstrucciones. En este contexto, los defectos óseos en la región maxilofacial afectan de manera importante la estética y función; al mismo tiempo, el tejido blando que recubre al hueso se ve afectado, requiriendo intervención para restaurar dichos defectos. En algunos casos, los autoinjertos, aloinjertos y xenoinjertos pueden verse limitados debido a las posibles complicaciones, como cirugía adicional, transmisión de enfermedades o la infección de las áreas intervenidas.¹

Ante este panorama, surge la idea de crear un material que ayude a dicha sustitución: los vidrios bioactivos (VB). Éstos comenzaron inicialmente en el área odontológica para la regeneración de dentina, membranas periodontales y cementos óseos; sin embargo, la demanda creciente para la realización de reconstrucción de grandes defectos óseos hizo que continuara su estudio y mejoría para dicho fin.^{2,3}

Los VB son biomateriales capaces de interactuar con el huésped produciendo osteogénesis, angiogénesis, propiedades antibacterianas⁴ y, lo más importante, su biocompatibilidad, ya que reduce la posibilidad de rechazo al interactuar con el huésped.²

Dado que la mayoría de los defectos son causados por trauma y/o patologías, se comenzó a estudiar la posibilidad de la administración de fármacos y factores de crecimiento para lograr un efecto terapéutico, surgiendo así el término vidrios bioactivos mesoporosos (VBM). Los VBM, debido a su estructura en forma de red, son capaces de almacenar y transportar diversas sustancias, sumando a esto la posibilidad de regeneración de tejidos blandos como la piel y el músculo esquelético y cardíaco.^{3,4}

El primer registro de dichos biomateriales se da en 1969, cuando el Dr. Larry Hench, después de dos años de investigación en la Universidad de Florida, descubre el VB 45S5, con nombre comercial BIOGLASS®. Debido al alto rechazo de los injertos previamente realizados por profesionales de la salud de la época, propuso un material capaz de estimular la formación de hidroxiapatita (HA),

uno de los componentes del hueso, para que pudiera integrarse al organismo sin provocar rechazo. De esta forma nace un vidrio de tipo sódico-cálcico, con una composición química de 45% de SiO₂, 24.5% de Na₂O, 24.5% de CaO y 6% de P₂O₅. Casi 10 años después se fabricó el primer dispositivo de uso humano con BIOGLASS®, siendo un implante osicular. El segundo fue un implante de mantenimiento de cresta endósea, con el fin de dar estabilidad a las tablas óseas posterior a una exodoncia.⁵

Con el paso de los años, los estudios y avances acerca de los VB permitieron el desarrollo de tres generaciones. La primera generación es el ya mencionado 45S5, hecho por fusión; la segunda generación es a base de sol-gel, en la que se obtenían macroporos gracias a un surfactante; los llamados bioactivos multifuncionales o inteligentes ya contemplan el término andamio para el desarrollo celular, y en la tercera generación los VBM ya contemplan las tecnologías de impresión 3D y la capacidad para la liberación de fármacos.^{5,6}

La importancia de conocer y usar los VB y VBM, combinados con la tecnología actual, puede ser prometedor, ya que tienen amplios usos en medicina regenerativa, traumatología y ortopedia para rehabilitación de grandes defectos óseos.² Por ello, en este artículo revisaremos el uso que se les ha dado, así como el futuro prometedor en la regeneración de grandes defectos óseos mediante la integración de nuevas tecnologías.

VIDRIOS BIOACTIVOS DE PRIMERA GENERACIÓN

Un vidrio bioactivo es capaz de interactuar con el huésped generando una capa de hidroxiapatita (HA) Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂, uno de los principales componentes presentes en el hueso. Esto produce una unión firme con los tejidos tanto duros como blandos, obteniendo dos propiedades importantes, la biocompatibilidad y la capacidad de reabsorberse. Por el contrario, un material que no es capaz de interactuar lo llamaremos bioinerte; al no ser capaz de interacción, produce rechazo, tal como ocurre con los materiales sintéticos o metálicos que se usaban en épocas pasadas.^{2,3,7} Dentro de estos mismos materiales se han desarrollado composiciones biocerámicas como el fosfato de calcio, la hidroxiapatita y los vitrocerámicos compuestos.⁸

En dos estudios realizados por Oonishi y asociados y Wheeler y su equipo en colaboración con el Dr. Hench,⁵ clasifican a los VB en clase A, siendo osteoconductores y osteoproductores provocadas por disolución de Si, Ca, P y Na, provocando respuestas a nivel intra- y extracelular,

y los de clase B, que sólo son osteoconductores, sólo producen migración ósea.

En una comparación entre el BIOGLASS® y un VB realizada por Sepulveda y su equipo en 2001⁹ mencionan cierto grado de toxicidad por el cambio de pH, causando una liberación de iones Na^+ y Ca^{2+} e influyendo de manera negativa en la formación de HA y, por lo tanto, causando uniones desfavorables como deficiencias mecánicas, siendo una desventaja para la época; sin embargo, en estudios realizados a principio de la década de los años 70, la producción de los VB se realizaba por fusión o vía sol-gel, logrando producir diversos tamaños y formas, como fibras y recubrimientos de distintos tamaños que pueden actuar como plantillas. Sobre éstas puede existir un crecimiento celular debido a la presencia de porosidades, teniendo un área mayor de contacto y, por lo tanto, una mejoría en sus propiedades mecánicas, dando origen a la creación de los primeros andamios, en los cuales se obtiene un mayor desarrollo celular y bioactividad.^{2,6}

En un estudio citado por Rahaman y colaboradores⁷ y por Hench⁵ se clasifica al VB 45S5 como un osteoconductor y osteoinductor, ya que favorece el crecimiento dentro del mismo VB, incluyendo su interfaz, debido a la liberación de Na^+ y Ca^{2+} principalmente, provocando adhesión y proliferación de MLO-A5 celular para la formación de hueso. Esto cuestiona la presencia de Si, ya que en VB de borato se produce de igual manera una osteogénesis con ausencia de Si, creando una nueva ventana de estudio: los vidrios a base de borato. Crush y colaboradores¹⁰ y Bi y asociados¹¹ mencionan la importancia del Si para el desarrollo óseo, ya que éste desempeña un papel crucial al obtener oxígeno y nutrientes necesarios para el desarrollo celular adecuado, creando condiciones hipóxicas y provocando la liberación del factor de crecimiento endotelial.

Debido a los cambios térmicos durante la fabricación, se obtenían diferentes grados de bioactividad, resistencia y módulo elástico, lo que producía una mayor cantidad de SiO_2 que, al superar el 60% de peso, repercutió directamente en la bioactividad. Esto dificultaba la liberación de iones de Na y Ca, lo que provoca una formación deficiente de HA y, por consiguiente, se presentan fallas mecánicas, ya sea fragilidad o mayor dureza, provocando estrés sobre el VB, lo que repercutió directamente en la pérdida ósea; sin embargo, esto no fue tan malo, ya que se le dio uso odontológico para la regeneración en dentina.^{2,3,5,12}

Una de las limitaciones que ofrece el VB 45S5 es su densidad, lo que repercutió en la porosidad y afecta la angiogénesis, osteoinducción y osteoproducción,

provocando una conversión de HA incompleta en defectos muy extensos,⁷ lo que obliga al desarrollo de nuevas formas de elaboración, los VBM, que tienen ciertas ventajas gracias a que mejoran sus propiedades físico-mecánicas.

VIDRIOS BIOACTIVOS MESOPOROSOS DE SEGUNDA E INICIOS DE LA TERCERA GENERACIÓN Y COMIENZO DEL DOPAJE

A inicios de la década de 1990, los Drs. Li, Clark y Hench encontraron la forma de elaborar un VB mediante el procesamiento sol-gel, obteniendo un material con mejoras físico-mecánicas, con grandes áreas con poros de tamaño nanométrico.¹³ A diferencia de la elaboración por sinterización, este método produce una porosidad y área superficial más elevada, obteniendo una bioactividad y degradabilidad mayor; el resultado es un vidrio bioactivo mesoporoso (VBM).¹⁴ Debido a estas propiedades, surgió la idea de usarlos con fármacos o factores de crecimiento, encontrando otro campo de estudio con el dopaje de los VB, dando pauta a varias funcionalidades, por ejemplo, utilizar su superficie porosa para la carga de partículas y la creación activa de andamiajes celulares.⁴

Una ventaja es la capacidad de manipulación del tamaño del poro mediante surfactantes como el bromuro de hexadeciltrimetilamonio, variando su concentración. Wang y Chen, citados en Deshmukh K y colaboradores,¹⁴ mencionan que mediante agregados los VBM pueden tener el doble de poros que los VB,⁸ mostrando capacidad para la carga, almacenamiento y liberación de fármacos en estudios *in vitro*; sin embargo, los VBM o MBG (*Mesoporous Bioactive Glasses*) son la tercera generación de los vidrios bioactivos introducidos en 2004 por el equipo de Zhao y Yan,¹⁵ que integraron óxido de calcio y fósforo dentro de la estructura de sílice mesoporosa ordenada, los cuales poseen un área superficial inmensa que acelera de forma significativa la regeneración ósea; sus propiedades antimicrobianas se deben a que permiten almacenar medicamentos en sus poros.

Entre los años 2000-2001, Vallet-Regi y su colega propusieron el uso de los VBM para la liberación de fármacos, aprovechando el tamaño que llega a ser de 5 a 10 nm y que en este caso suelen ser ordenados con una geometría hexagonal, lo que aporta tridimensionalidad, favoreciendo el desarrollo celular. También mencionan una superficie de 1,000 m² por cada gramo, obteniendo un poro con capacidad de 1 cm³ por cada gramo, mostrando así la capacidad para transportar sustancias. De

igual manera, una de las características que se mencionan es la respuesta, al desarrollarse la capa de HA en tres a siete días en VB y 4 horas en VBM,^{6,8} siendo una ventaja para el uso en injertos y/o andamiajes óseos, mejorando las propiedades osteogénicas, angiogénicas y bactericidas. Gracias a la capacidad de carga y liberación,⁴ pueden obtenerse mejoras en propiedades como las mencionadas previamente debido al dopaje con óxidos.

Yan y sus colegas fueron los primeros en notar la capacidad de los VBM para la absorción y liberación de sustancias.¹⁵ En 1994, Vrouwenvelder y asociados¹⁶ fueron los primeros en dopar con hierro, titanio, flúor y boro, en donde el titanio mostró una bioactividad superior, mostrando una actividad osteoblástica. En 2010, Acevedo y colaboradores realizaron un estudio agregando Zn y Mg a los VBM; estos iones propician un entorno con bajos niveles de O_2 , activando genes proangiogénicos y antiangiogénicos.¹⁷

Vallet-Regi y su colega mencionan los beneficios del dopaje para la obtención de beneficios como hemostasia (Ta), respuestas antiinflamatorias (Zn, Pd, Pt), antitumorales, antiangiogénica preventiva del cáncer (Se, Te) y las ya conocidas angiogénica (B, Si, P, Mg, Ca, Mn, Co, Cu), bactericida (V, Mn, Cu, Zn, Ga, Se, Ag, Te, Ce) y osteogénica (Li, B, F, Si, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, Ga, Zr, Nb);⁸ algunos llegan incluso a tener más de una acción, obteniendo versatilidad y beneficio; otros aún se encuentran en estudios *in vitro* e *in vivo* para comprobar su actividad biológica sin que perjudique las propiedades iniciales de los VB. Hoppe y su equipo¹⁸ mencionan principalmente al vanadio, cobalto y magnesio, sugiriendo un papel fisiológico en el metabolismo óseo debido a la señalización para el desarrollo de la angiogénesis y mineralización del tejido óseo. Maeno y colaboradores, citado por Hoppe y su equipo,¹⁸ mencionan la importancia de las concentraciones de Ca, considerando 2-4 mmol a 6-8 mmol como adecuadas para los procesos fisiológicos de los osteoblastos, aunque concentraciones mayores de 10 mmol son tóxicas. Un punto a considerar es la concentración de este ion, presente a nivel extracelular, el cual influye directamente sobre los osteoblastos debido a los factores de crecimiento similar a la insulina.¹⁸

Hoppe y su equipo mencionan al Si, Sr, Zn, Cu, Mg y B.¹⁸ El sílice se asocia a procesos de calcificación ósea y disminuye la resorción ósea. El Sr en estudios *in vivo* en ratas muestra aumento en la resistencia en la formación del callo óseo, produciendo proliferación de osteoblastos e inhibición osteoclástica; también es capaz de estimular vesículas extracelulares óseas, promoviendo la restauración en la homeostasis celular de la misma médula, activando el sistema RANK.⁴ El Zn provoca activación de la

ATPasa y tiene propiedades antiinflamatorias, inhibiendo la resorción ósea y promoviendo la formación de una capa de fosfato de calcio, lo que mejora la adhesión de los VBM; sin embargo, esto produce una degradación más lenta, lo cual puede resultar tóxico para el organismo, inhibiendo la proliferación celular. El Cu en el campo de la ingeniería tisular y biomateriales tiene interacción con el vidrio bioactivo (VB). Beneficios:

1. *Agente angiogénico.* La angiogénesis es crucial en la regeneración ósea, ya que los nuevos vasos aportan el oxígeno y los nutrientes necesarios para que el hueso sane.
2. *Inhibición de osteoclastos.* Al usar concentraciones de cobre superiores a 106 mmol, se frena su actividad *in vitro*, lo que ayuda a mantener la densidad de la matriz ósea en formación.
3. *Disminución de la degradación del VB.* El cobre estabiliza la estructura del vidrio bioactivo, controlando su velocidad de disolución.
4. *Efecto antibacteriano.* El ion de cobre destruye las membranas celulares y el DNA de patógenos como *Staphylococcus epidermidis*, común en las infecciones asociadas a implantes médicos, previniendo así el rechazo por infección.

El boro acelera la estimulación química del vidrio. Esto facilita la precipitación de una capa de hidroxiapatita en la superficie del material al entrar en contacto con los fluidos corporales, clave para la unión con el hueso. Los iones de Ag proporcionan efectos antibacterianos en concentraciones de 0.5 a 0.20 mg/mL; son capaces de inhibir *E. coli*, *Pseudomonas*, *Staphylococcus aureus*, presentando alta bioactividad acelular debido a la generación de capa de HA.^{18,19}

Como se mencionó anteriormente, los VB a base de sílice poseen limitaciones, entre ellas la dificultad para producir andamios y fibras tridimensionales. Es por ello que los vidrios bioactivos de borato (VBB) se volvieron objeto de estudio,^{10,20} gracias a su mayor degradabilidad que puede ser manipulada, modificando parcialmente la cantidad de SiO_2 por B_2O_3 , obteniendo un vidrio bioactivo de borosilicato (VBBS), o bien, con la sustitución completa, obteniendo un vidrio bioactivo de borato (VBB). Gracias a esto puede ser dopado con algunos iones como Zn, Cu, F, Mn Sr, ya que se pueden liberar de acuerdo con la degradabilidad.⁷

Un punto importante es el proceso inflamatorio al que se somete la zona intervenida ya que, al no ser controlada, puede provocar la destrucción o fracaso del

andamio colocado. Estudiando las actividades inmunomoduladoras que poseen los VB,⁴ se ha observado que el agregado de boro presenta beneficios en el metabolismo óseo en conjunto con la vitamina D, presentando efectos antiinflamatorios y antioxidantes.²¹ Una de las preocupaciones es la toxicidad del boro. En 2022 Ege y colaboradores y en 2025 Zhu y su equipo señalaron que el vidrio bioactivo, aparte de sus propiedades biocompatibles, biodegradables e inmunomoduladoras, tiene propiedades osteogénicas para ser usado en ortopedia y en odontología; además, el VB también presenta capacidad angiogénica y antibacteriana.^{4,20}

TERCERA GENERACIÓN, ANDAMIAJE E IMPRESIÓN 3D

La problemática de los defectos óseos de tamaño considerable ha llevado al desarrollo de andamiajes para el desarrollo celular. Éstos deben cumplir con tres componentes: 1) células capaces de formar una matriz extracelular funcional, 2) moléculas capaces de inducir la formación y 3) un andamio tridimensional en donde puedan desarrollarse dichos procesos fisiológicos.²²

Los VBM poseen un poro entre 2 a 50 nm; este tamaño imposibilita el andamio celular, por lo que se comenzó a imitar la estructura del hueso para desarrollar una macroporosidad sin perder sus propiedades y obtener los mayores beneficios posibles,^{4,6} modificando la composición y bioactividad. Se desarrollaron así diferentes tipos, entre los que destacan los andamios en espuma, imitando un poro al del hueso esponjoso capaz de liberar un fármaco con un tamaño de 100 nm,²³ mostrando buena biocompatibilidad celular *in vitro* con buena adhesión a células óseas. Se comenzó a usar como plataforma, ya que fue capaz de liberar gentamicina y dexametasona, pudiendo llevar el fármaco a la zona deseada;^{4,24} no obstante, la resistencia mecánica es demasiado baja, siendo una de las desventajas. En un estudio publicado en 2015 por Zhao y su equipo, citado en Bairo y colaboradores,⁶ agregaron un grupo tiol (SH) y amino (NH), manteniendo los macroporos de 300-500 nm y mesoporos de 4 nm, estimulando la adhesión y la proliferación de células mesenquimales. Los VBM, al ser funcionalizados químicamente, adquieren especificidad biológica, evitan el rechazo inmune y optimizan la regeneración ósea.

Retomando la idea propuesta por Simske y su equipo en 1997,²⁵ justificaron el uso de materiales porosos para la correcta integración ósea, basando su idea en la porosidad de los espacios medulares del hueso esponjoso para proyectar la biotecnología 3D en la producción de andamiajes celulares; éstos son estructuras tridimensionales capaces

de proporcionar un entorno para la formación de la matriz extracelular, proporcionando un soporte mecánico y, sobre todo, con capacidad de remodelarse a medida que se produzca la regeneración.¹ Simske y su equipo clasificaron el tamaño de los poros como mínimos y máximos (1-100 micras) de un material para la correcta fijación celular, ubicando tres niveles de porosidad: primer nivel < 100 micras, segundo nivel 100-500 micras y tercero > 500 micras. Tomando en cuenta un factor importante: la vascularización para el desarrollo celular adecuado debe tener una distancia entre 150 y 200 µm;⁶ de ahí la importancia de la tecnología 3D para el diseño del tamaño del poro. Esta tecnología lleva aproximadamente 30 años de desarrollo.⁴

Wu y su equipo²⁶ informaron sobre una modificación en la realización de un VBM debido a la combinación de una técnica 3D con una sinterización de sol-gel, sin embargo, continúa con una alta fragilidad debido a la sinterización. En este mismo artículo se propone un nuevo método a base de impresión 3D, preparando Si-Ca-P en proporción 80-15-5 diluido en alcohol polivinílico, mostrando una adecuada resistencia a la compresión, así como buena capacidad de mineralización y administración de fármacos.

Esto llevó a los científicos a explorar técnicas más específicas para desarrollar andamios a base de VB, los cuales pueden ser diseñados de acuerdo con la zona, usando la tecnología CAD-CAM e impresión 3D. Se puede realizar un andamio con ciertas características como disposición, tamaño y distribución de los poros.^{6,27}

Gracias a la ingeniería de tejidos y técnicas de impresión 3D, el enfoque ha cambiado en los últimos años, dando origen a la bioimpresión, que incorpora factores de crecimiento y células, logrando un tejido biomimético,¹ sobre todo en defectos con un tamaño considerable. Se debe tomar en cuenta que cualquier región ósea afectada tendrá una repercusión negativa en el tejido blando que lo cubre, siendo un factor a considerar en la reparación de éste.⁴

Los biomateriales que se usen deben poseer ciertas características además de las ya conocidas, como propiedades reológicas, mantenimiento de la forma para evitar colapso y, de las más importantes, no ser tóxico para permitir un adecuado desarrollo celular.²⁸ Entre los materiales propuestos por diversos autores se encuentran el alginato, quitosano, colágeno tipo I y ácido hialurónico; la mayoría de estos materiales presenta buena biocompatibilidad así como buena tasa de degradación, no obstante, las propiedades mecánicas *in vivo* siguen siendo deficientes. Zhu y colaboradores mencionan el agregado de grafeno para mejorar las propiedades mecánicas, lo que mejora

la resistencia a la compresión y permite evitar la posible fractura del andamio, con buenos resultados en estudios *in vivo*.⁴ Esta rigidez posee importancia, debido a que la adhesión, proliferación y migración celular van de la mano con la rigidez del andamio.²²

De igual manera, debemos entender que la existencia de poros modifica la resistencia a la compresión, que ronda desde los 0.2 hasta 150 MPa; la orientación de los poros posee mayor fuerza que los no orientados; además, debemos fijarnos en la dirección de los poros más que en la dureza del material para su uso en zonas que requieran carga.²⁹

Otra característica importante es el módulo elástico, debido a cierto defectos que se encontrarán a cargas continuas; por ejemplo, el hueso cortical posee una fuerza de compresión que va desde 167-213 MPa, tracción de 107-170 MPa, flexión 103-238 MPa y torsión de 65-71 MPa, mientras que el hueso esponjoso posee una fuerza de compresión de 1.5-9.3 MPa.³⁰ Se han realizado diversos estudios evaluando modelos animales en huesos sometidos a carga.

Como ya mencionamos, las propiedades angiogénicas se pueden ampliar con el uso de los VB, al ser aplicados en la regeneración de tejidos en la cicatrización de heridas.^{19,31} El daño musculoesquelético de gran importancia puede provocar afectaciones en el habla, deglución, gesticulación, movimiento de extremidades, entre otras. Winston y su equipo demostraron el uso de VB a base de Si y Bo, produciendo una reparación gracias a la angiogénesis *in vivo* en ratas;³² en el 2023, Sun y asociados³³ demostraron reparación de músculo cardíaco mediante el uso de VB, promoviendo angiogénesis y secreción de factor de crecimiento endotelial VEGF; incluso reportaron la fabricación de válvulas cardíacas mediante la bioimpresión 3D del tejido cardíaco vascularizado.

DISCUSIÓN

La evolución de los biomateriales para la regeneración ósea ha sido un viaje notable, desde los primeros injertos rudimentarios hasta las sofisticadas plataformas multifuncionales que hoy persiguen la ingeniería de tejidos. Los vidrios bioactivos (VB), introducidos por Hench hace más de cinco décadas, representaron un hito al demostrar una capacidad sin precedentes para establecer un enlace directo con el tejido óseo vivo.⁵ Sin embargo, como se ha revisado, las limitaciones inherentes a su estructura densa y la restricción en la modulación de su bioactividad y funcionalidades adicionales, como la liberación de fármacos,

impusieron barreras significativas para su aplicación en defectos óseos complejos o infectados.^{5,7}

La síntesis mediante la ruta sol-gel ha sido el catalizador para la emergencia de los vidrios bioactivos mesoporosos (VBM), marcando una transición crítica de una primera generación de biomateriales de «reemplazo» a una tercera generación orientada a la «regeneración activa».^{6,8} La introducción controlada de mesoporos no sólo ha magnificado la superficie específica y la velocidad de bioactividad, acelerando la formación de la crucial capa de hidroxiapatita, sino que, fundamentalmente, ha transformado estos materiales en excelentes vehículos para la administración de agentes terapéuticos.⁴ Como se evidencia en la literatura,¹⁷ esta capacidad de cargar y liberar de forma controlada antibióticos, factores de crecimiento o fármacos osteoinductivos directamente en el sitio del defecto es una ventaja distintiva que eleva su potencial clínico por encima de sus predecesores densos.

Los avances en la fabricación, particularmente la impresión 3D, han desbloqueado nuevas dimensiones en el diseño de andamios con VBM.²⁸ La capacidad de crear arquitecturas porosas interconectadas a macroescala, junto con la mesoporosidad intrínseca de los vidrios, permite la replicación biomimética de la jerarquía estructural del hueso. Esto no sólo facilita la *ingrowth* celular y la vascularización, sino que también permite la personalización geométrica del implante para adaptarse a defectos específicos del paciente, un pilar fundamental de la medicina regenerativa.⁶

La integración de VBM con iones traza bioactivos o con propiedades antimicrobianas (como Sr, Zn, Cu, Ag) representa otra dirección prometedora, confiriendo al material funcionalidades adicionales que van más allá de la mera osteoconducción.^{6,17}

A pesar de los avances significativos, el camino hacia la aplicación clínica generalizada de los VBM impresos en 3D, especialmente en regiones de carga como la craneofacial o vertebral, aún enfrenta desafíos. Las propiedades mecánicas, si bien mejoradas con nuevas formulaciones y diseños de andamios, a menudo no igualan la resistencia del hueso cortical nativo para todas las aplicaciones. Además, la validación clínica a gran escala y la superación de obstáculos regulatorios son pasos cruciales para la traslación de esta tecnología del laboratorio a la cabeza del paciente.⁸ El futuro se inclina hacia el desarrollo de biomateriales «inteligentes» que puedan responder a estímulos biológicos o que integren capacidades de monitoreo, promoviendo una regeneración ósea más eficiente y controlada.³⁴

CONCLUSIÓN

La investigación en biomateriales para la regeneración ósea ha experimentado una transformación profunda con la llegada de los vidrios bioactivos mesoporosos y la impresión 3D. Estos materiales representan una evolución fundamental respecto a los vidrios bioactivos de primera generación, no sólo por su superior bioactividad y control de la degradación, sino, crucialmente, por su excepcional capacidad como plataformas para la liberación controlada de agentes terapéuticos. La combinación de la síntesis sol-gel y las tecnologías de impresión 3D ha pavimentado el camino para el diseño de andamios óseos personalizados, multifuncionales y con arquitecturas biomiméticas, capaces de guiar activamente el proceso regenerativo. Si bien persisten desafíos en la optimización de propiedades mecánicas y la traslación clínica, los vidrios bioactivos mesoporosos se posicionan firmemente como un pilar en el futuro de la medicina regenerativa y la ingeniería de tejidos óseos y blandos, prometiendo soluciones más eficaces y personalizadas para la compleja reparación de defectos óseos.

REFERENCIAS

1. Yazdanpanah Z, Johnston JD, Cooper DML, Chen X. 3D Bioprinted scaffolds for bone tissue engineering: state-of-the-art and emerging technologies. *Front Bioeng Biotechnol.* 2022; 10: 824156.
2. Skallevoid HE, Rokaya D, Khurshid Z, Zafar MS. bioactive glass applications in dentistry. *Int J Mol Sci.* 2019; 20 (23): 5960.
3. Gupta S, Majumdar S, Krishnamurthy S. Bioactive glass: a multifunctional delivery system. *J Control Release.* 2021; 335: 481-497.
4. Zhu Y, Zhang X, Chang C, Deng S, Chan HF. Bioactive glass in tissue regeneration: unveiling recent advances in regenerative strategies and applications. *Adv Mater.* 2025; 37 (2): e2312964.
5. Hench LL. The story of bioglass. *J Mater Sci Mater Med.* 2006; 17 (11): 967-978.
6. Baino F, Fiorilli S, Vitale-Brovarone C. Bioactive glass-based materials with hierarchical porosity for medical applications: Review of recent advances. *Acta Biomater.* 2016; 42: 18-32.
7. Rahaman MN, Day DE, Bal BS, Fu Q, Jung SB, Bonewald LF et al. Bioactive glass in tissue engineering. *Acta Biomater.* 2011; 7 (6): 2355-2373.
8. Vallet-Regi M, Salinas AJ. Mesoporous bioactive glasses for regenerative medicine. *Mater Today Bio.* 2021; 11: 100121.
9. Sepulveda P, Jones JR, Hench LL. *In vitro* dissolution of melt-derived 45S5 and sol-gel derived 58S bioactive glasses. *J Biomed Mater Res.* 2002; 61 (2): 301-311.
10. Crush J, Hussain A, Seah KTM, Khan WS. Bioactive glass: methods for assessing angiogenesis and osteogenesis. *Front Cell Dev Biol.* 2021; 9: 643781.
11. Bi L, Jung S, Day D, Neidig K, Dusevich V, Eick D et al. Evaluation of bone regeneration, angiogenesis, and hydroxyapatite conversion in critical-sized rat calvarial defects implanted with bioactive glass scaffolds. *J Biomed Mater Res A.* 2012; 100A (12): 3267-3275.
12. Hench LL, Jones JR. Bioactive glasses: frontiers and challenges. *Front Bioeng Biotechnol.* 2015; 3: 194.
13. Li R, Clark AE, Hench LL. An investigation of bioactive glass powders by sol-gel processing. *J Appl Biomater.* 1991; 2 (4): 231-239. Available in: <https://doi.org/10.1002/jab.770020403>
14. Deshmukh K, Kovárik T, Kreněk T, Docheva D, Stich T, Pola J. Recent advances and future perspectives of sol-gel derived porous bioactive glasses: a review. *RSC Adv.* 2020; 10 (56): 33782-33835.
15. Yan X, Yu C, Zhou X, Tang J, Zhao D. Highly ordered mesoporous bioactive glasses with superior in vitro bone-forming bioactivities. *Angew Chem Int Ed Engl.* 2004; 43 (44): 5980-5984. doi: 10.1002/anie.200460598.
16. Vroouwenvelder WC, Groot CG, de Groot K. Better histology and biochemistry for osteoblasts cultured on titanium-doped bioactive glass: bioglass 45S5 compared with iron-, titanium-, fluorine- and boron-containing bioactive glasses. *Biomaterials.* 1994; 15 (2): 97-106. doi: 10.1016/0142-9612(94)90257-7.
17. Acevedo MA, Miguez J, Ortiz M. Efecto de la incorporación de Zn y Mg en el comportamiento de vidrios bioactivos modificados en entornos hipóxicos. *Revista Iberoamericana de Biomateriales.* 2010; 14 (2): 45-53.
18. Hoppe A, Güldal NS, Boccaccini AR. A review of the biological response to ionic dissolution products from bioactive glasses and glass-ceramics. *Biomaterials.* 2011; 32 (11): 2757-2774.
19. Valerio P, Pereira MM, Goes AM, Leite MF. Effects of extracellular calcium concentration on the glutamate release by bioactive glass (BG60S) preincubated osteoblasts. *Biomed Mater.* 2009; 4 (4): 045011.
20. Ege D, Zheng K, Boccaccini AR. Borate bioactive glasses (BBG): bone regeneration, wound healing applications, and future directions. *ACS Appl Bio Mater.* 2022; 5 (8): 3608-3622.
21. Devirian TA, Volpe SL. The physiological effects of dietary boron. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 2003; 43 (2): 219-231.
22. Lee SS, Du X, Kim I, Ferguson SJ. Scaffolds for bone-tissue engineering. *Matter.* 2022; 5 (9): 2722-2759.
23. Yun HS, Kim SE, Hyun YT, Heo SJ, Shin JW. Hierarchically mesoporous-macroporous bioactive glasses scaffolds for bone tissue regeneration. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater.* 2008; 87 (2): 374-380.
24. Wu C, Chang J. Mesoporous bioactive glasses: structure characteristics, drug/growth factor delivery and bone regeneration application. *Interface Focus.* 2012; 2 (3): 292-306.
25. Simske SJ, Ayers RA, Bateman TA. Porous materials for bone engineering. *MSF* 1997; 250: 151-182.
26. Wu C, Luo Y, Cuniberti G, Xiao Y, Gelinsky M. Three-dimensional printing of hierarchical and tough mesoporous bioactive glass scaffolds with a controllable pore architecture, excellent mechanical strength and mineralization ability. *Acta Biomater.* 2011; 7 (6): 2644-2650.
27. Webb PA. A review of rapid prototyping (RP) techniques in the medical and biomedical sector. *J Med Eng Technol.* 2000; 24 (4): 149-153.
28. Du M, Chen B, Meng Q, Liu S, Zheng X, Zhang C et al. 3D bioprinting of BMSC-laden methacrylamide gelatin scaffolds with CBD-BMP2-collagen microfibers. *Biofabrication.* 2015; 7 (4): 044104.
29. Fu Q, Saiz E, Rahaman MN, Tomsia AP. Bioactive glass scaffolds for bone tissue engineering: state of the art and future perspectives. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl.* 2011; 31 (7): 1245-1256.
30. Caeiro JR, González P, Guede D. Biomechanics and bone (& II): trials in different hierarchical levels of bone and alternative tools for the determination of bone strength. *Rev Osteoporos Metab Miner.* 2013; 5 (2): 99-108.
31. Will J, Gerhardt LC, Boccaccini AR. Bioactive glass-based scaffolds for bone tissue engineering. *Adv Biochem Eng Biotechnol.* 2012; 126: 195-226.

32. Winston DD, Li T, Lei B. Bioactive nanoglass regulating the myogenic differentiation and skeletal muscle regeneration. *Regen Biomater.* 2023; 10: rbad059.
33. Sun L, Wang Y, Xu D, Zhao Y. Emerging technologies for cardiac tissue engineering and artificial hearts. *Smart Med.* 2023; 2 (1): e20220040.
34. Xing Y, Qiu L, Liu D, Dai S, Sheu CL. The role of smart polymeric biomaterials in bone regeneration: a review. *Front Bioeng Biotechnol.* 2023; 11: 1240861.

Conflicto de intereses: el autor declara no tener ningún conflicto de intereses en relación con la investigación presentada en este artículo.

Aspectos éticos: el autor certifica que el presente manuscrito es un trabajo original e inédito. Se ase-

gura que se han empleado las normas en formato Vancouver para referenciar de forma completa todas las fuentes, ideas y datos de terceros, evitando el plagio. Asimismo, se declara que los datos y resultados reportados son veraces y obtenidos de forma lícita, sin haber incurrido en la fabricación o falsificación de la información.

Financiamiento: no se obtuvo financiamiento de ninguna institución.

Correspondencia:

Gregorio González Martínez

E-mail: gregglzmtz@live.com

Influencia de Greene Vardiman Black y Michael Buonocore en la odontología de mínima intervención.

Influence of Greene Vardiman Black and Michael Buonocore on minimal intervention dentistry.

Eduardo Lanata,* José Ángel Sifuentes Sifuentes‡

RESUMEN

Black y Buonocore fueron dos figuras muy importantes en el desarrollo de la odontología. El primero dictó normas y principios que duraron más de siete décadas; en su libro *A Work on Operative Dentistry* de 1908 ya alertaba que: «Llegará el día en que practiquemos odontología preventiva, en lugar de odontología reparadora». El segundo autor fue, hace más de setenta años, el creador de la técnica de grabado ácido al esmalte, que dio inicio a la adhesión, lo que posibilitó cambios muy importantes en la operatoria dental, los materiales dentales, la prótesis y, en particular, en la odontología preventiva. Todo ello permitió en la actualidad arribar a la mínima intervención. En el artículo se analizan estos cambios, los cuales lamentablemente aún no son tomados en cuenta por muchos docentes y odontólogos en el mundo.

Palabras clave: odontología de mínima intervención, mínima invasión, diagnóstico de caries, control de *biofilm*, adhesión.

ABSTRACT

Black and Buonocore were two pivotal figures in the development of dentistry. The former established standards and principles that endured for over seven decades; in his 1908 book *A Work on Operative Dentistry* he already warned: «The day will come when we will practice preventive dentistry instead of restorative dentistry». Over seventy years ago, the latter pioneered the acid-etching technique for tooth enamel, which laid the foundation for dental adhesion. This breakthrough enabled significant advancements in operative dentistry, dental materials, prosthodontics, and, most notably, preventive dentistry—ultimately leading to today's approach of minimal intervention. This article analyzes these shifts, which, unfortunately, are still overlooked by many educators and dentists worldwide.

Keywords: minimal intervention dentistry, non-operative dentistry, caries diagnosis, biofilm control, adhesion.

INTRODUCCIÓN

Han pasado más de 100 años desde que G. V. Black publicó su libro *A Work on Operative Dentistry*,¹ el cual marcó un hito en la odontología; sus conceptos permanecieron vigentes durante aproximadamente setenta años y fueron los que se enseñaron en todo el mundo. Pese a estar perimidos, actualmente hay algunos docentes y odontólogos que los siguen utilizando. En su libro, Black alertaba: «Llegará el día en que practiquemos odontología preventiva, en lugar de odontología reparadora».¹

Recientemente se cumplieron setenta años en que Michael Buonocore publicó sus investigaciones sobre la técnica de grabado ácido al esmalte. El objetivo del autor era la prevención de las lesiones cariosas en los dientes posteriores; señalaba la importante fuerza de unión a las estructuras del diente que se logra al grabar el esmalte con ácido fosfórico, eliminando la necesidad de realizar retenciones en la cavidad para que el material —en ese momento resinas acrílicas— no se desprendiera y posibilitando también el sellado de fosas y fisuras.² Esta publicación constituyó un descubrimien-

* Exprofesor titular extraordinario y Doctor en Odontología (PhD) de la Facultad de Odontología de la Universidad de Buenos Aires. Argentina. ORCID: 0009-0009-9451-3205

‡ Exprofesor del Postgrado de Prótesis Bucal Fija y Removible de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Profesor de la Asociación Dental Mexicana. Expresidente del *International College of Dentists* (ICD) Sección México. *Chairman* de la *Pierre Fauchard Academy*, México. ORCID: 0009-0009-4066-8308

Recibido: 18 de mayo de 2026. Aceptado: 21 de junio de 2026.

Citar como: Lanata E, Sifuentes SJÁ. Influencia de Greene Vardiman Black y Michael Buonocore en la odontología de mínima intervención. Rev ADM. 2026; 83 (4): 224-233. <https://dx.doi.org/10.35366/124046>



to científico muy importante y un suceso significativo en la odontología.

¿Que proponía este autor para ser investigado y desarrollado en el futuro? Diferentes estrategias para obtener la unión entre los materiales de obturación y la estructura del diente. Al respecto informaba: se están explorando varias posibilidades, que incluyen: a) el desarrollo de nuevos materiales a base de resinas con propiedades adhesivas, b) la modificación de los materiales actuales para hacerlos adhesivos, c) el uso de recubrimientos como material de interfaz adhesiva entre el diente y la restauración y d) la alteración de la superficie del diente mediante tratamiento químico.²

¿Por qué necesitamos adhesión entre los composites y el diente (esmalte, dentina, cemento dentario)? Por varias razones: a) para evitar el desprendimiento de la restauración, manteniendo la unión entre el tejido dentario y el material, b) para integrar la restauración con el diente para devolverle sus propiedades mecánicas, distribuyendo las tensiones a lo largo de las interfaces, c) para evitar la filtración marginal y d) cerrar los túbulos dentinarios, sellando la interfaz adhesivo-diente, y e) para disminuir el riesgo de sensibilidad postoperatoria, la tinción marginal y procesos cariosos asociados a restauraciones y sellantes.^{3,4}

Aunque no existe un consenso universal del valor ideal de la fuerza de unión, se ha propuesto como objetivo razonable un valor de 20 MPa o ligeramente superior.⁵

El interrogante que se genera es: ¿resistirá el adhesivo las tensiones generadas por esa contracción? La respuesta la da Sakaguchi y su equipo⁶ al establecer que la tensión generada por la contracción volumétrica es de hasta 13 Mpa; en consecuencia, si el profesional maneja otras variables, que se discutirán luego, la contracción de polimerización de las resinas a la dentina no afectará la unión dentina-adhesivo si esta es igual o mayor a 20 MPa.

TIPOS DE SISTEMAS ADHESIVOS

Desde que Rafael Bowen⁷ descubrió el BIS-GMA en 1962, se han desarrollado diferentes adhesivos con distintas maneras de aplicación. Estos se pueden clasificar en diferentes tipos o sistemas:

1. Adhesivo de tres pasos: grabar el esmalte y la dentina por 15 segundos; lavar, secar, colocar un *primer* o imprimador y luego un adhesivo, denominada técnica de grabado total.
2. Adhesivo de dos pasos: grabar el esmalte y la dentina; lavar y secar, y luego colocar un *primer* o imprimador y adhesivos incorporados en un sólo envase.
3. Adhesivos de autograbado de un sólo paso, en los cuales el sistema adhesivo puede presentarse comercialmente en uno o dos envases.
4. Adhesivos universales (se aplican en un solo paso; también su presentación puede ser en uno o dos envases). Los adhesivos universales pueden aplicarse utilizando las técnicas de grabado independiente, autograbado y grabado selectivo; en este último caso, se graba exclusivamente el esmalte con ácido fosfórico. Los sustratos dentarios a los cuales se aplican son esmalte, dentina o cemento radicular, y se utilizan en materiales poliméricos de inserción plástica o rígida, cerámicos con y sin fase vítrea y aleaciones de metales nobles y no nobles. Por esta diversidad de técnicas de aplicación se les denomina «universales».⁵

Setenta años después de la publicación de Buonocore, la adhesión del composite a esmalte y dentina es un hecho científicamente comprobado. Los diferentes tipos de adhesivos, su evolución y las variables que influyen en la adhesión, el empleo de clorhexidina, las técnicas de inserción del composite, la necesidad de lograr una fotopolimerización adecuada y, si es necesario, el agregado de partículas por medio del aire abrasivo, permiten obtener una unión efectiva del composite al diente. Desde hace más de una década, los productos ofrecidos por los fabricantes de sistemas adhesivos cumplen con los objetivos deseados. Sin embargo, es necesario aún simplificar su técnica de aplicación.⁵

Numerosos autores y conferencistas clasifican y hablan de adhesivos por generaciones; cuando se llegó a la cuarta, quinta, sexta y séptima generación, ya pocos odontólogos sabían qué tipo de adhesivo utilizaban y a qué generación pertenecía, y a los docentes les resultaba muy complicado explicar las diferencias entre generaciones. Cabe preguntarnos: ¿dentro de una década, denominaremos adhesivos de 20^a generación, años más tarde 32^a generación, etcétera? Consideramos que esta opción de denominarlos por generaciones debe descartarse.⁵

Es muy difícil comparar la eficacia de los adhesivos. Scherrer y colaboradores⁸ compararon la adhesión obtenida con seis adhesivos; analizaron los resultados de más de 6,000 trabajos publicados entre 1998 y 2009, de los cuales seleccionaron 147. Como resultado, se obtuvo una diversidad alta en los datos obtenidos, independientemente del test utilizado (macro- o microcizallamiento) y del tipo de adhesivo empleado; sin duda los resultados de adhesión a dentina dependen del test que se utilice.

Consideramos que se deben seguir estrictamente y paso a paso las instrucciones del fabricante del sistema adhesivo, es decir, respetar el protocolo de colocación.

Como conclusión: hace más de diez años, los valores de adhesión de los sistemas adhesivos lograron suficiente fuerza de unión al diente para lograr los objetivos que mencionamos al inicio de esta publicación; agregar nuevos componentes encarece los productos sólo por ser novedosos. Se deben desarrollar productos más simples de colocar, idealmente de un sólo paso y sin tiempo de espera para lograr el fotopolimerizado. Esto evitará que los profesionales cometan errores por no respetar los pasos de la técnica y confundan envases, simplificando su tarea; como consecuencia, se reducirán los costos de la restauración.⁵

Evidentemente, Black y Buonocore marcaron rumbos y alertaron sobre los cambios que eran necesarios.

Millones de odontólogos de todo el mundo trataron y tratan la caries mediante la extracción del órgano dentario con un fórceps o empleando una fresa; la primera opción exige posteriormente la realización de una prótesis o un implante; la segunda requiere efectuar una restauración y posteriormente retratamientos; ambas opciones insumen muchas horas de consulta odontológica y tienen costos elevados para el paciente. La primera es mutilante y la segunda tiene como consecuencia una importante destrucción de los tejidos duros que incluso puede llegar a afectar la vitalidad pulpar. Lamentablemente este es un paradigma de muy antigua data en la odontología, que debe ser cambiado.

Desde que Black describió sus brillantes conceptos, adecuados para su época, se realizaron cavidades que obligaban a realizar desgastes que implican la pérdida de una cantidad importante de tejidos duros del diente. Hasta aproximadamente la década de los ochenta, estos criterios fueron reproducidos con escasas modificaciones por muchos autores (Black, Sturdevant, Ritacco, Parula, Zabolinsky, Barrancos Money, etcétera), a pesar de que requerían un excesivo desgaste. Estos diseños cavitarios llevaban extensiones por todos los surcos; los márgenes de la cavidad llegaban a zonas de autoclisis o de fácil cepillado. La realización de formas de resistencia, la extensión preventiva y las formas de retención daban como resultado el desgaste innecesario de importantes porciones de esmalte, dentina y/o cemento.

Estos criterios debieron ser modificados, una vez que se comprendieron los factores de riesgo de la caries dental y cómo lograr modificarlos; además, el desarrollo de la técnica de grabado ácido al esmalte y los sistemas adhesivos a esmalte, dentina y cemento posibilitan integrar

el material de restauración al diente y evitar la filtración marginal. Como consecuencia de la adhesión, se modificaron las cavidades, dando paso a las preparaciones, muy diferentes a los conceptos vigentes hasta los años setenta. Las preparaciones no tienen forma definida, entendiendo por esto que no tienen una forma dictada por el diseño preconizado por el autor de un libro o un docente universitario de pre- o postgrado.^{9,10}

MÍNIMA INTERVENCIÓN O MÍNIMA INVASIÓN

A principios de 1990, la investigación había demostrado que el manejo de las lesiones cariosas debía alejarse del enfoque quirúrgico tradicional y pasar a un enfoque «biológico». La investigación apuntaba a un enfoque completamente nuevo para el manejo de la lesión cariosa. Fue Mount¹¹ quien describió la necesidad del «tratamiento mínimo» de la caries dental. Dawson y Makinson^{12,13} publicaron una mejor descripción de este nuevo enfoque, y fueron los primeros en utilizar el término «odontología de mínima intervención».

El criterio más moderno en operatoria dental se refiere a la mínima intervención, que se refiere a disminuir en la medida de lo posible el daño al paciente y a sus tejidos. Este principio debe ser aplicado a toda la odontología y también a la medicina. La odontología actual es y debe ser diferente; también los odontólogos deben ser diferentes, con conceptos muy distintos a los que se practican.¹⁴

La mínima invasión permite reducir el riesgo de caries, realizar preparaciones y cavidades con la mayor economía posible de tejidos duros, así como prevenir daños al esmalte, la dentina, el cemento, la pulpa y los tejidos periodontales. Conservar la vitalidad pulpar es otro paradigma que cambió sustancialmente. Se debe tomar conciencia de que la odontología debe ser primero preventiva y luego mínimamente invasiva.^{9,14}

Se realiza máxima invasión cuando se elimina correctamente, en forma selectiva, la lesión cariosa, pues hay una tendencia generalizada a retirar una mayor cantidad de tejido del necesario; de esta manera se cree lograr la eliminación total de los microorganismos. No obstante, actuando de esta manera se retira tejido sano, lo que es incorrecto, pues no está infectado; además, no está comprobado que con esta técnica desaparezcan los microorganismos presentes en el barro dentinario.^{9,15} En cambio, hay suficiente evidencia científica de que la técnica de grabado ácido es capaz de eliminar los microorganismos presentes en una profundidad que oscila, de acuerdo con los estudios, hasta en 5-50 micrómetros.¹⁵

La mínima intervención también es aplicable cuando se realizan restauraciones en dientes tratados endodóncicamente, sin la necesidad de colocar elementos intrarradiculares de retención macromecánica. Algunos creen de forma equivocada que los postes «refuerzan» la estructura del diente o cuando se indican frentes estéticos. También se realiza mínima invasión cuando se confeccionan incrustaciones estéticas en vez de incrustaciones metálicas, o incrustaciones y no coronas, o cuando se hacen postes de fibra de vidrio o reconstrucción del muñón con fibras en vez de pernos muñones, o blanqueamientos ante pérdida, o alteraciones del color de los órganos dentarios en vez de coronas o frentes estéticos, o cuando se efectúan coronas libres de metal en lugar de coronas metalo-cerámicas, dado que estas últimas requieren mayor desgaste. Es decir, la mínima invasión se realiza siempre que ahorramos tejidos dentarios sanos.

Esto aplica también cuando se repara una restauración en vez de optar por sustituirla por otra obturación, es decir, detener el círculo re-restaurar y volver a restaurar, con el objetivo de mantener estructuras dentarias sanas, las cuales siempre se desgastan cuando se elimina la restauración previa. De esta forma también se contribuye a mantener otro principio fundamental: la protección dentino-pulpar.

La mínima invasión implica una nueva enseñanza de la odontología y en particular de la operatoria dental. Significa repensarla y reevaluarla, así como nuevos estudios, conceptos y entrenamiento por parte del profesional, para poner en práctica esta nueva manera de adhesión al tratamiento por parte del paciente, en particular a la higiene oral, eliminando y controlando el *biofilm* microbiano; éste debe seguir las recomendaciones que el profesional juzgue necesarias para el mantenimiento de la salud y también, una vez realizada las restauraciones, deberá acudir a las citas de mantenimiento.¹⁶ Es de mucha importancia contar con una conducta activa del paciente, pues él es corresponsable tanto del éxito como del fracaso del tratamiento.^{14,16}

Las aplicaciones de flúor o el ACP-CCP, con el objetivo de lograr la remineralización, los enjuagues bucales con aceites esenciales, clorhexidina u otros, el correcto empleo del cepillo dental, palillos y/o cepillos interdentarios, en tiempo y en forma correcta, constituyen una parte esencial de la odontología.

Se debe prestar atención a la forma en que el paciente toma el cepillo dental y el grado de presión que ejerce sobre los dientes, pues esto puede provocar pérdidas de sustancia dental (abrasiones); modificando este aspecto

se puede detener total o parcialmente el desgaste de los tejidos duros. El empleo de placas miorelajantes o de protección también constituye un aspecto esencial a tener en cuenta por el odontólogo; cuando se detecten patologías o parafunciones, que contribuyen también a la pérdida del esmalte e incluso de la dentina por abrasión; recordando siempre que estas pérdidas de tejidos dentarios tienen etiología multifactorial.⁹

DIAGNÓSTICO Y DETECCIÓN TEMPRANOS

Partiendo de que la desmineralización es uno de los indicadores del inicio de la caries dental y que el primer signo es la lesión blanca, los odontólogos deben estar atentos y utilizar todos los medios necesarios para realizar el diagnóstico y tratamiento temprano de la lesión antes de que sea detectada por la observación macroscópica del daño a los tejidos duros, es decir, cuando ya esté cavitada.

Cuando se observan lesiones blancas, el proceso desmineralización ha superado al de remineralización (des-re). En este caso, el valor del pH salival es inferior a 5,5. Dado que este proceso es reversible, se deben implementar todas las maniobras necesarias para detenerlo de inmediato y, en lo posible, revertirlo; luego, se debe monitorear para poder confirmar cuándo la remineralización ha iniciado la reparación, esto es, realizar una intervención sin invasión.

El empleo de magnificación como lupas o microscopios asegura una mayor posibilidad de realizar un diagnóstico temprano de lesiones incipientes y permite mejorar la precisión de las maniobras de preparación y restauración dentaria, así como el control del ajuste de restauraciones plásticas, en especial las rígidas.⁹

EMPLEO DE EXPLORADOR

Existe un elevado grado de variabilidad en el diagnóstico de lesiones de caries entre los diferentes profesionales e incluso entre distintas lecturas radiográficas realizadas por un mismo profesional.¹⁷

Diversos autores cuestionan el empleo del explorador tradicional, de punta aguda.¹⁸ Este tipo de explorador se utiliza para detectar la presencia o ausencia de lesión cariosa en un determinado sitio; no obstante, como una costumbre de larga data, se utiliza ejerciendo mucha presión. Desde 1966 se determinó que las lesiones blancas pueden ser remineralizadas,¹⁹ por lo que el empleo del explorador debe ser abolido ante la sospecha de una lesión blanca, debido a que esta maniobra puede producir la cavitación del esmalte superficial, acelerando el

desarrollo de una lesión cariosa abierta que, al no poder ser remineralizada, requerirá tratamiento quirúrgico.

Sólo debe ser utilizado para remover el *biofilm* de la zona; luego secar con aire, observar y determinar la presencia de cambio de color y textura; este procedimiento permite realizar un diagnóstico correcto.

Para determinar la existencia o no de rugosidades, se debe emplear el instrumento pasándolo sin presión.²⁰⁻²³

Numerosos estudios determinaron que usar el explorador de esta manera, en ausencia de métodos o instrumentos más sofisticados, no disminuye la habilidad del clínico para diagnosticar correctamente una lesión cariosa.^{17,24-31} Una investigación³² determinó que, mediante el empleo de un explorador, sólo el 42% de lesiones cariosas en fisuras fueron diagnosticada correctamente. Otros estudios determinaron numerosos falsos negativos usando este instrumento.^{19-23,27,33-41}

No se debe utilizar para el diagnóstico de la caries dental; sólo es útil para evaluar el ajuste de una restauración plástica o rígida, la falta o exceso de un material de restauración y/o su lisura superficial.¹²

Por lo tanto, para colaborar en el diagnóstico, sólo se debe emplear un instrumento con punta redonda denominado explorador OMS 11.5.

Cabe recalcar que el diagnóstico de la caries dental en superficies proximales por medio de radiografías tiene poco valor. Las radiografías sólo permiten determinar la presencia de una lesión, no su grado de profundidad; por tanto, intentar diagnosticar essta última por medio de radiografías puede llevar a graves errores y provocar al desgaste innecesario de tejidos dentarios sanos.⁴²⁻⁴⁵

La radiografía sólo permite visualizar en forma aproximada la profundidad de la lesión,^{17,46,47} lo que puede inducir a importantes errores de diagnóstico y de tratamiento (por ejemplo, la necesidad o no de realizar un tratamiento de conductos). También la calidad y el grado de contraste de una placa radiográfica influyen mucho en la certeza del diagnóstico.

Cuando radiográficamente se observa una lesión en la mitad externa del esmalte, existe sólo un 10% de probabilidad de que ésta esté realmente cavitada, y sólo un 40% cuando la lesión se observa en la mitad interna del esmalte.⁴⁸

Las radiografías realizadas por medio de tomógrafos, como el 3D Acuitomo (Morita-Japón), permiten un diagnóstico más certero.⁴⁹

Los métodos diagnósticos de lesiones cariosas con láser, como el Diagnodent, Diagnopen de Kavo, la fluorescencia cuantitativa inducida por luz y otros sistemas disponibles en el mercado, utilizan fluorescencia para

detectar la desmineralización en fases tempranas y lesiones ocultas. Estos métodos no invasivos emiten luz láser para medir metabolitos bacterianos a partir números que indican la severidad de la lesión cariosa y el tratamiento a seguir, ya sea remineralización o tratamiento quirúrgico; estos métodos son altamente precisos y seguros en la detección de lesiones iniciales.⁵⁰⁻⁵⁴

TRATAMIENTOS A SEGUIR ANTE UNA LESIÓN

El manejo de los factores de riesgo de la caries, establecidos por Featherstone,⁵⁵ define un nuevo paradigma en la odontología actual. Los criterios para reducir los factores nocivos y aumentar los que protejan la salud dental, y realizar el tratamiento temprano de las lesiones, forman parte de una nueva filosofía.

La decisión acerca de cómo y cuándo desgastar y restaurar distintas zonas del diente aún no está bien definida. Se han hecho distintas propuestas al respecto;⁴⁸ algunos autores consideran que, en lesiones proximales, la decisión entre cortar o no debe basarse en si éstas se encuentran cavitadas o no.^{42,48} Estos autores aconsejan restaurar sólo cuando radiográficamente se observan lesiones que claramente han sobrepasado el límite amelodentinario.

La odontología de mínima intervención involucra el empleo de métodos quirúrgicos y no quirúrgicos.¹⁴ Estos últimos están ubicados dentro de lo que se denomina intervención sin invasión. El ejercicio de una operatoria dental moderna requiere tener en cuenta los principios de mínima invasión y mínima intervención. Estos conceptos no sólo implican la realización de preparaciones o cavidades más pequeñas; es una filosofía, y por consiguiente un cambio de mentalidad. Este principio debe ser aplicado a todo tipo de intervención que implique el desgaste de tejidos duros, e incluye la evaluación del riesgo de que la enfermedad se presente, su detección y el tratamiento temprano.⁵⁶ También se aplica particularmente en la prótesis, así como en los desgastes que se realicen para confeccionar coronas, puentes, pernos muñones o postes, teniendo en cuenta la conservación de la mayor cantidad de tejidos duros y la vitalidad pulpar.

En su acepción más amplia, la mínima invasión se inicia desde que el paciente llega a la consulta e involucra tanto al profesional como al paciente; el primero debe conocer y aplicar los métodos preventivos que correspondan antes, durante y después del tratamiento; el segundo (el paciente), guiado por el odontólogo, debe cambiar los hábitos que son nocivos para su salud (alimenticios, mala higiene dental, ingesta de azúcares, etcétera) y adherirse al tratamiento.

El diente está sometido continuamente a un proceso de desmineralización y remineralización (*des-re*). Considerando que la caries es de origen multifactorial, es prioritario prevenirla y evitar su desarrollo y extensión. Una vez establecida, pero sin llegar a estar cavitada, y teniendo en cuenta que su avance es lento (dado que toma de 2 a 4 años para progresar en el esmalte),⁵⁷ se deben implementar todos los recursos a nuestro alcance para detener y revertir la desmineralización, aplicando barnices de flúor, fosfato de calcio amorfo (ACP), fosfolípido de caseína (CCP) y nanohidroxiapatita, además de controlar la ingesta de azúcares fermentables y mejorar la higiene oral para prevenir la formación del *biofilm* microbiano.

EDUCACIÓN PARA LA SALUD

Es indispensable educar y evaluar constantemente al paciente sobre las técnicas de higiene oral; esto incluye la frecuencia, el tiempo requerido y el modo adecuado de realizarla, así como los elementos que debe emplear cada paciente.

Cabe preguntarse, ¿cuánto tiempo le asigno a cada paciente para enseñarle y controlar su higiene oral? Basta con ver películas en las que aparecen actores utilizando cepillo de dientes; ello muestra claramente que muchas personas no saben cepillarse los dientes.

Las técnicas de higiene oral deben abarcar a todos los pacientes; en muchas ocasiones se requiere modificar su conducta, asumiendo que tienen suficiente destreza para poder realizar una adecuada higiene oral.⁵⁸ Estas recomendaciones también deben incluir el asesoramiento dietético,^{58,59} dado que la sacarosa es un importante factor en el desarrollo de la caries.

AGENTES QUÍMICOS PARA CONTROL DEL BIOFILM

El *biofilm* oral es una comunidad estructurada que consta de una amplia gama de microorganismos incrustados en una matriz autoorganizada de polisacáridos extracelulares. El control del *biofilm* oral implica grandes gastos a nivel mundial; el *biofilm* maduro tiende a necesitar concentraciones más altas de agentes antimicrobianos para ser erradicado.⁶⁰⁻⁶²

Los agentes químicos, así como coadyuvantes del control mecánico (cepillado), son esenciales para prevenir y reducir el *biofilm* dental. La clorhexidina (0.12-0.2%) es el estándar de oro por su alta sustantividad. Otros agentes incluyen aceites esenciales, triclosán, cloruro de cetilpiridinio y fluoruros usados en enjuagues o pastas dentales.

1. Aceites esenciales (timol, eucaliptol, mentol): modifican la pared bacteriana y son efectivos en el control de la gingivitis.
2. Cloruro de cetilpiridinio: compuesto de amonio cuaternario, con acción antiséptica moderada.
3. Triclosán: agente antibacteriano de amplio espectro, a menudo combinado con copolímeros para aumentar su retención. Se recomienda usar bajo supervisión profesional.⁶³
4. Fluoruros: se ha demostrado que la fluorapatita es más resistente a la desmineralización producida por los ácidos bacterianos; esto se debe a que el Ph crítico es de 4.5 y que el flúor disminuye la formación de ácidos, por lo que controla las lesiones cariosas iniciales. Su empleo en el agua no sólo beneficia a los niños, sino a toda la población. Puede ser utilizado en dentífricos, en forma sistémica o tópica y en barnices.
5. Clorhexidina: actúa inhibiendo el *biofilm*, evitando o retardando la adherencia a la película adquirida e impidiendo la agregación de las bacterias a la superficie del esmalte. Se emplea como coadyuvante para el control de la infección cariogénica en enjuagues, geles o barnices.^{58,64} Varios estudios han demostrado el descenso de lesiones cariosas y una reducción significativa de microorganismos en lesiones de raíz mediante la aplicación de barnices de clorhexidina al 1%, como por ejemplo el Cervitec (Vivadent, Schaan, Liechtenstein), o el Periobactec Prof (Naf, Argentina).^{65,66}

REMINERALIZACIÓN CON ACP-CCP

El proceso de desmineralización consiste en una serie de reacciones químicas complejas; inicialmente el daño es causado por los ácidos orgánicos, principalmente el ácido láctico, ácido acético; otros, producidos por algunas bacterias, presentes en menor cantidad y con menor capacidad de deterioro, incluyen el ácido fórmico, ácido propiónico y el ácido butírico, producto del metabolismo de una dieta rica en carbohidratos. Los efectos de la desmineralización de la hidroxiapatita suceden primero a nivel ultraestructural y, a medida que avanza, serán visibles como una lesión blanca —anteriormente llamada «mancha blanca»—, que es el primer signo de la enfermedad.⁶⁷

El ACP-CCP (fosfopéptido de caseína y fosfato de calcio amorfo) es un agente remineralizador de reciente desarrollo, proveniente de la caseína de la leche, el cual se emplea en la prevención y fundamentalmente en la remineralización de lesiones de caries. El mecanismo

anticariogénico del ACP-CCP consiste en favorecer la biodisponibilidad del calcio y fosfato necesarios para la remineralización, localizándose en la placa dental. La ventaja de este complejo es que encierra en una mezcla el calcio y el fosfato, dentro de una estructura de péptidos (fragmentos de proteína) de la caseína. Al producirse la desmineralización y bajar el pH, se produce la desnaturalización del péptido, lo que abre la mezcla, que es como una burbuja, permitiendo la liberación de una alta concentración de calcio y fosfato.^{59,68,69}

El uso de gomas de mascar con ACP-CCP o xylitol y flúor ha demostrado también tener efecto remineralizador y anticariogénico.

SELLADORES DE FOSAS Y FISURAS

Después de que Buonocore había probado diferentes materiales, el desarrollo de la resina BIS-GMA fue el gran detonante para que los selladores dentales obtuvieran resultados exitosos para ayudar a prevenir la caries, principalmente en las fosas y fisuras de las superficies oclusales de los dientes posteriores.⁷⁰ Estas áreas son significativamente más susceptibles a las lesiones cariosas que las superficies lisas. Esta vulnerabilidad se debe a su compleja morfología, que dificulta la limpieza eficaz y favorece la acumulación de *biofilm*.⁷¹ Además, el esmalte en estas áreas recibe menos protección de los fluoruros tópicos en comparación con las superficies lisas, lo que aumenta el riesgo de caries.⁷²

El empleo de selladores de fosas y fisuras como agente preventivo de lesiones es reconocido en todo el mundo y en numerosos trabajos científicos; su uso ha sido también avalado por la Asociación Dental de Estados Unidos.

Está demostrado que, tras su aplicación, los microorganismos que pueden quedar atrapados en el fondo y/o paredes del surco pierden su viabilidad y su número se reduce.⁷³ Incluso las lesiones iniciales en esmalte pueden llegar a revertirse.⁷⁴ En cambio, su empleo en el sellado de lesiones en dentina es objeto de discusión. Actualmente se han empezado a usar selladores de fosas y fisuras con aditivos antimicrobianos y remineralizantes, con la finalidad de prevenir la caries dental en infantes.⁷⁵

TRATAMIENTO Y PREVENCIÓN DE LA CARIES

La caries es la enfermedad más prevalente a nivel mundial, asociada, entre otros factores, a desórdenes de nutrición en países industrializados. Si no se trata, puede llevar a la destrucción paulatina del esmalte, la dentina y el

cemento, y puede ocasionar lesión en la pulpa, llevando incluso a la posterior pérdida del diente.⁷⁶

Su prevención y tratamiento debe estar enfocado en: 1) prevenir su desarrollo; 2) instalada ya la caries, realizar la prevención de su avance o revertirlo y, 3) luego de restaurar el diente afectado, intensificar el programa preventivo.

Se deben tomar las acciones necesarias para interferir en la pérdida mineral en cualquier etapa de la enfermedad, ya sea tratamientos quirúrgicos y no quirúrgicos, invasivos, no invasivos o microinvasivos.⁷⁷ Esto requiere no sólo de la intervención del profesional, sino también de la colaboración y adhesión del paciente al tratamiento.

El concepto de prevenir y reparar restauraciones debe prevalecer sobre el de restaurar y re-restaurar. Es necesario contar con la colaboración del paciente en el mantenimiento de la salud bucal durante y después del tratamiento. El odontólogo actual debe estar proclive a los cambios que la ciencia y el desarrollo de nuevos materiales, aparatos e instrumentos indiquen para mejorar el tratamiento de las lesiones, sean por causas infecciosas o no infecciosas.

La modificación de los factores de riesgo, la aplicación de selladores de fosas y fisuras como barrera para el desarrollo de la caries, el empleo de flúor para aumentar la resistencia del diente al ataque de los ácidos y/o como remineralizador de lesiones incipientes, la utilización de enjuagues con aceites esenciales, barnices, geles de clorhexidina como agentes antimicrobianos, los cambios en la dieta, el control de la técnica y el tiempo de cepillado, así como el empleo de pastas dentífricas con flúor son recursos esenciales para la prevención y el tratamiento de la caries.

El manejo de la enfermedad y la experiencia en las lesiones cariosas, además del conocimiento del riesgo de cada paciente y del mantenimiento de las restauraciones, debe ser una rutina diaria para todos los odontólogos; asimismo, se deben tener en cuenta estas recomendaciones y aplicarlas de acuerdo a las necesidades individuales de cada paciente.⁷⁸

Durante los siglos XIX y XX, las terapias que se seguían ante la presencia de la caries consistían en extraer o en fresar y restaurar (*drill and fill*); el primer procedimiento significa la pérdida del diente, con todo lo que ello implica; el segundo provoca un importante estrés tanto para el paciente como para el profesional, que incluyen la anestesia, el fresado y la posterior restauración. Desde hace de más de 100 años se han realizado millones y millones de restauraciones con amalgama e incluso con otros materiales; las cifras son muy significativas. El tratamiento requiere anestesia, es invasivo y muy

probablemente requerirá realizar, al cabo de unos años, una nueva restauración, lo que implica el aumento del tamaño de la cavidad (re-restaurar). Esto debe cambiarse por un enfoque de prevención la enfermedad: es y debe ser una meta, que ha sido postergada innecesariamente, sin causa que la justifique.

CONCLUSIONES

Estudios sistemáticos indican que el conocimiento de los profesionales sobre la mínima intervención es aceptable, pero que las actitudes y la puesta en práctica necesitan ser mejoradas. Concientizar sobre la forma en que los odontólogos tratan la caries dental es primordial. El objetivo final es cambiar la forma de realizar la odontología a nivel mundial.⁷⁹⁻⁸¹

G. V. Black y Michael Buonocore representan dos pilares fundamentales en la evolución de la odontología, marcando la transición desde un enfoque puramente quirúrgico hacia la mínima intervención basada en la preservación de los tejidos y la adhesión; en otras palabras, pasamos de la «extensión por prevención» (Black) a la «adhesión por preservación» (Buonocore). Estos principios han permitido que la odontología contemporánea se centre en la prevención, la remineralización del esmalte desmineralizado y el uso de selladores de fosas y fisuras en lugar de la eliminación sistemática del tejido sano. Black aportó el orden, el diagnóstico y la estructura de la operatoria dental, mientras que Buonocore proporcionó la tecnología adhesiva que hizo posible no eliminar estructura dental.

REFERENCIAS

- Black GV. A work on operative dentistry. Chicago: Medico-Dental Publishing Company; 1908.
- Buonocore MG. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res*. 1955; 34 (6): 849-853.
- Lanata, E. Operatoria dental, 2ª edición. Editorial Alfaomega. Buenos Aires, 2011.
- Rawls H. Resin based composites. En: Shen C, Rawls R, Esquivel-Upshaw JF. Phillips' science of dental materials. Elsevier. 2022 b, pp 87-114.
- Maldonado DA, Sifuentes SJA, Lanata EJ. Adhesión de las resinas compuestas a esmalte y dentina. ¿Siete décadas después, logramos el sistema adhesivo ideal? *Rev ADM*. 2025; 82 (3): 145-152.
- Sakaguchi R, Ferracane J, Powers PJ. Restorative materials: resin composite and polymers. In: Sakaguchi R, Ferracane J, Powers J. Craig's restorative dental materials. Elsevier. 2019, pp 135-170.
- Bowen RL. Properties of a silica-reinforced polymer for dental restorations. *J Am Dent Assoc*. 1963; 66: 57-64.
- Scherrer SS, Cesar PF, Swain MV. Direct comparison of the bond strength results of the different test methods: a critical literature review. *Dent Mater*. 2010; 26 (2): e78-93.
- Julio-Lanata E, Gudiño-Fernández S. Hacia donde debe ir la operatoria dental: la mínima invasión. Parte 1. Revisión bibliográfica. *Rev Cient Odontol*. 2014; 10 (2): 33-38.
- Lanata EJ. Operatoria dental- estética y adhesión. Editorial Grupo Guía, Buenos Aires. 2003.
- Mount CJ. Minimal treatment of the carious lesion. *Int Dent J*. 1991; 41: 55-59.
- Dawson AS, Makinson OF. Dental treatment and dental health. Part 1. A review of studies in support of a philosophy of minimum intervention dentistry. *Aust Dent J*. 1992; 37: 126-132.
- Dawson AS, Makinson OF. Dental treatment and dental health. Part 2. An alternative philosophy and some new treatment modalities in operative dentistry. *Aust Dent J*. 1992; 37 (3): 205-210.
- Stockleben C. Heal ozone- a revolution in dentistry. In: Lynch E. Ozone: the revolution in dentistry. Quintessence Pub, England. 2004.
- Feedman G, Goldstep, F. Ozone and remineralization therapy. Minimally invasive treatment of dental decay. In: Lynch E. Ozone: the revolution in dentistry. Quintessence Pub, England. 2004.
- Bustamante A. El éxito del tratamiento periodontal. *Rev Asoc Odontol Argent*. 1999; 87 (1): 5-10.
- Henostroza HG, Arana SA, Bernabé OE et al. Diagnóstico de caries dental. Editorial Universidad Cayetano Heredia. Lima 2005.
- Stookey G. Should a dental explorer be used to probe suspected carious lesions? *J Am Dent Assoc*. 2005; 136 (11): 1527-1531.
- Backet DO. Post-eruptive changes in dental enamel. *J Dent Res*. 1966; 45 (3): 503-511. Available in: <https://doi.org/10.1177/00220345660450031101>
- Mjor IA. Frequency of secondary caries at various anatomical locations. *Oper Dent*. 1985; 10 (3): 88-92.
- Mjor IA. The location of clinically diagnosed secondary caries. *Quintessence Int*. 1998; 29 (5): 313-317.
- Mjor IA. Clinical diagnosis of recurrent caries. *J Am Dent Assoc*. 2005; 136 (10): 1426-1433.
- Mjor IA. To probe or not to probe. *JADA*. 2006; 136 (3): 288.
- Ekstrand K, Qvist V, Thylstrup A. Light microscope study of the effect of probing in occlusal surfaces. *Caries Res*. 1987; 21 (4): 368-374.
- Ekstrand KR, Kuzmina I, Bjørndal L, Thylstrup A. Relationship between external and histologic features of progressive stages of caries in the occlusal fossa. *Caries Res*. 1995; 29 (4): 243-250.
- Ekstrand KR, Ricketts DN, Kidd EA. Reproducibility and accuracy of three methods for assessment of demineralization depth of the occlusal surface: an in vitro examination. *Caries Res*. 1997; 31 (3): 224-231.
- Ekstrand KR, Ricketts DN, Kidd EA, Qvist V, Schou S. Detection, diagnosing, monitoring and logical treatment of occlusal caries in relation to lesion activity and severity: an in vivo examination with histological validation. *Caries Res*. 1998; 32 (4): 247-254.
- Ekstrand KR, Ricketts DN, Kidd EA. Occlusal caries: pathology, diagnosis and logical management. *Dent Update*. 2001; 28 (8): 380-387.
- Nyvad B, Machiulskiene V, Baelum V. Reliability of a new caries diagnostic system differentiating between active and inactive caries lesions. *Caries Res*. 1999; 33 (4): 252-260.
- Nyvad B, Machiulskiene V, Baelum V. Construct and predictive validity of clinical caries diagnostic criteria assessing lesion activity. *J Dent Res*. 2003; 82: 117-122.
- Nyvad B, Fejerskov O. Assessing the stage of caries lesion activity on the basis of clinical and microbiological examination. *Community Dent Oral Epidemiol*. 1997; 25 (1): 69-75.
- Lussi A. Validity of diagnostic and treatment decisions of fissure caries. *Caries Res*. 1991; 25: 296-303.

33. Kidd EA. The diagnosis and management of the 'early' carious lesion in permanent teeth. *Dent Update*. 1984; 11 (2): 69-70, 72-4, 76-8.
34. Verdonchot EH, Bronkhorst EM, Burgersdijk RC, König KG, Schaecken MJ, Truin GJ. Performance of some diagnostic systems in examinations for small occlusal carious lesions. *Caries Res*. 1992; 26 (1): 59-64.
35. Wenzel A, Verdonchot EH, Truin GJ, König KG. Accuracy of visual inspection, fiber-optic transillumination, and various radiographic image modalities for the detection of occlusal caries in extracted non-cavitated teeth. *J Dent Res*. 1992; 71 (12): 1934-1937.
36. Disney JA, Abernathy JR, Graves RC, Mauriello SM, Bohannon HM, Zack DD. Comparative effectiveness of visual/tactile and simplified screening examinations in caries risk assessment. *Community Dent Oral Epidemiol*. 1992; 20 (6): 326-332.
37. Kidd EA, Toffenetti F, Mjor IA. Secondary caries. *Int Dent J*. 1992; 42 (3): 127-138.
38. Kidd EAM, Joyston-Bechal S, Beighton D. The use of a caries detector dye during cavity preparation: a microbiological assessment. *Br Dent J* 1993; 1774: 245-248.
39. Kidd EA, Joyston-Bechal S, Beighton D. Marginal ditching and staining as a predictor of secondary caries around amalgam restorations: a clinical and microbiological study. *J Dent Res*. 1995; 74 (5): 1206-1211.
40. Kidd EA, Ricketts DN, Pitts NB. Occlusal caries diagnosis: a changing challenge for clinicians and epidemiologists. *J Dent*. 1993; 21 (6): 323-331.
41. Dodds MW. Dilemmas in caries diagnosis; applications to current practice and need for research. *J Dent Educ*. 1993; 57 (6): 433-438.
42. Pitts NB, Rimmer PA. An in vivo comparison of radiographic and directly assessed clinical caries status of posterior approximal surfaces in primary and permanent teeth. *Caries Res*. 1992; 26 (2): 146-152.
43. Mejäre I, Malmgren B. Clinical and radiographic appearance of proximal carious lesions at the time of operative treatment in young permanent teeth. *Scand J Dent Res*. 1986; 94 (1): 19-26.
44. Bille J, Thylstrup A. Radiographic diagnosis and clinical tissue changes in relation to treatment of approximal carious lesions. *Caries Res*. 1982; 16 (1): 1-6.
45. Hien Ngo. Mínima invasión. Curso para Graduados. Buenos Aires. 2005.
46. Thylstrup A, Fejerskov O. Caries. Barcelona, España, Doyma. 1986.
47. Braun A, Graefen O, Nolden R, Frentzen M. Vergleich herkömmlich klinisch diagnostizierter Kariesstadien mit Werten der Laser-Fluoreszenz-Messung. *Dtsch Zahnärztl Z*. 2000; 55: 248-251.
48. Young DA, Featherstone JD. Digital imaging fiber-optic transillumination, F-speed radiographic film and depth of approximal lesions. *J Am Dent Assoc*. 2005; 136 (12): 1682-1687.
49. Dagun H. Presentación del Acuitomo. Hotel Sheraton, 2005.
50. Bader JD, Shugars DA. A systematic review of the performance of a laser fluorescence device for detecting caries. *J Am Dent Assoc*. 2004; 135: 1413-1426.
51. Bin-Shuwaish M, Yaman P, Dennison J, Neiva G. The correlation of DIFOTI to clinical and radiographic images in class II carious lesions. *J Am Dent Assoc*. 2008; 139 (10): 1374-1381.
52. Lanata EJ. Atlas de operatoria dental. Alfaomega (ed), Buenos Aires. 2008.
53. Burt BA, Kolker JL, Sandretto AM, Yuan Y, Sohn W, Ismail AI. Dietary patterns related to caries in a low-income adult population. *Caries Res*. 2006; 40 (6): 473-480.
54. Chu CH, Lo EC, You DS. Clinical diagnosis of fissure caries with conventional and laser-induced fluorescence techniques. *Lasers Med Sci*. 2010; 25: 355-362.
55. Featherstone JD. The caries balance: contributing factors and early detection. *J Calif Dent Assoc*. 2003; 31 (2): 129-133.
56. Hunt KC, Hickett R. The role of ozone in "minimal intervention dentistry". In: Lynch E. Ozone: the revolution in dentistry, Quintessence Pub. London 2005.
57. Shwartz M, Gröndahl HG, Pliskin JS, Boffa J. A longitudinal analysis from bite-wing radiographs of the rate of progression of approximal carious lesions through human dental enamel. *Arch Oral Biol*. 1984; 29 (7): 529-536.
58. Piovano S. Factores y nivel de riesgo de las enfermedades producidas por el biofilm de placa. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires, Facultad de Odontología; 2021. Disponible en: <https://repositorio.odontologia.uba.ar/items/show/748>
59. Sifuentes SJÁ, Lanata EJ, Friedman SM. Caries. ¿Es el azúcar el verdadero culpable? *Rev ADM*. 2024; 81 (6): 331-335. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.35366/118780>
60. Stewart PS, Costerton JW. Antibiotic resistance of bacteria in biofilms. *Lancet*. 2001; 358 (9276): 135-138.
61. Davies D. Understanding biofilm resistance to antibacterial agents. *Nat Rev Drug Discov*. 2003; 2 (2): 114-122.
62. Benoit DS, Koo H. Targeted, triggered drug delivery to tumor and biofilm microenvironments. *Nanomedicine (Lond)*. 2016; 11 (8): 873-879.
63. Serrano-Granger J, Herrera D. La placa dental como biofilm. ¿Cómo eliminarla? *RCOE*. 2005; 10 (4): 431-439.
64. Zenk JK. The ADA council on access, prevention, and interprofessional relations. *Northwest Dent*. 2016; 95 (3): 7-8.
65. Baca P, Muñoz MJ, Bravo M, Junco P, Baca AP. Effectiveness of chlorhexidine-thymol varnish for caries reduction in permanent first molars of 6-7-year-old children: 24-month clinical trial. *Community Dent Oral Epidemiol*. 2002; 30 (5): 363-368.
66. Beighton D, Lynch E, Heath MR. A microbiological study of primary root-caries lesions with different treatment needs. *J Dent Res*. 1993; 72 (3): 623-9. doi: 10.1177/00220345930720031201.
67. Lanata EJ. Mínima intervención un cambio de paradigma. El Ateneo. Buenos Aires, Cap. 8 Sifuentes, JA. 2022, p. 119.
68. Reynolds EC, Cai F, Shen P, Walker GD. Retention in plaque and remineralization of enamel lesions by various forms of calcium in a mouthrinse or sugar-free chewing gum. *J Dent Res*. 2003; 82 (3): 206-211.
69. Cross KJ, Huq NL, Palamara JE, Perich JW, Reynolds EC. Physicochemical characterization of casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate nanocomplexes. *J Biol Chem*. 2005; 280 (15): 15362-15369.
70. Carrillo SC, Michael G. Buonocore, padre de la odontología adhesiva moderna, 63 años del desarrollo de la técnica del grabado del esmalte (1955-2018). *Rev ADM*. 2018; 75: 135-142.
71. Carvalho JC. Caries process on occlusal surfaces: evolving evidence and understanding. *Caries Res*. 2014; 48 (4): 339-346.
72. Rohr M, Makinson OF, Burrow MF. Pits and fissures: morphology. *ASDC J Dent Child*. 1991; 58 (2): 97-103.
73. Handelma SL, Washburn F, Wopperer P. Two-year report of sealant effect on bacteria in dental caries. *J Am Dent Assoc*. 1976; 93 (5): 967-970.
74. Mertz-Fairhurst EJ, Curtis JW Jr, Ertle JW, Rueggeberg FA, Adair SM. Ultraconservative and cariostatic sealed restorations: results at year 10. *J Am Dent Assoc*. 1998; 129 (1): 55-66.
75. Amaechi BT. Remineralization therapies for initial caries lesions. *Curr Oral Health Rep*. 2015; 2: 95-101. Available in: <https://doi.org/10.1007/s40496-015-0048-9>
76. Lynch RJ, Ten Cate JM. The anti-caries efficacy of calcium carbonate-based fluoride toothpastes. *Int Dent J*. 2005; 55 (3 Suppl 1): 175-178.

77. Ibrahim MS, Garcia IM, Vila T et al. Multifunctional antibacterial dental sealants suppress biofilms derived from children at high risk of caries. *Biomater Sci.* 2020; 8 (12): 3472-3484.
78. Schwendicke F, Splieth C, Breschi L et al. When to intervene in the caries process? An expert Delphi consensus statement. *Clin Oral Investig.* 2019; 23 (10): 3691-3703.
79. De Moura RC, Santos PS, Matias PMDS et al. Knowledge, attitudes, and practice of dentists on minimal intervention dentistry: a systematic review and meta-analysis. *J Dent.* 2023; 132: 104484.
80. Alsheekhly B, Namdari M, Abbas MJ, Chasemi H. Knowledge of and attitude toward preventive care among iraqi dentists and senior dental students: a cross-sectional study. *Cureus.* 2024; 16 (7): e65120.
81. Perrone BR, Bottesini VC, Duarte DA. Minimal intervention dentistry: What is its clinical application and effectiveness in different continents? - A scoping review. *J Conserv Dent Endod.* 2024; 27 (2): 134-139.

Conflicto de intereses: ninguno.

Aspectos éticos: ninguno.

Financiamiento: autofinanciado.

Correspondencia:

José Ángel Sifuentes Sifuentes

E-mail: joseasifuentes@hotmail.com

Porphyromonas gingivalis y su relación con las enfermedades neurodegenerativas: una revisión exploratoria.

Porphyromonas gingivalis and its relationship with neurodegenerative diseases: a scoping review.

Frida Camila Álvarez Machado,^{*,‡} Karol Isela Peredo Gómez,^{*} Carolina Guerrero Delgado,^{*} Verónica Campos Ibarra,^{*,§} Ravichandran Manisekaran^{*,¶}

RESUMEN

Introducción: la periodontitis es una patología inflamatoria de los tejidos de soporte dental que representa un reto de salud pública en México. Los daños estructurales causados por el ecosistema microbiano se han relacionado con la presencia de bacterias como *Porphyromonas gingivalis*, que ha sido identificada como un factor de riesgo para afecciones sistémicas y deterioro cognitivo, incluidas enfermedades cerebrales como el Alzheimer y la demencia. **Objetivo:** recopilar y analizar críticamente la evidencia existente sobre la presencia de *P. gingivalis* y su impacto en el deterioro cognitivo y la neurodegeneración. **Material y métodos:** se realizó una revisión exploratoria siguiendo las directrices del protocolo PRISMA-ScR. La búsqueda se limitó a artículos científicos publicados en el periodo de 2020 a 2025. **Resultados:** de un total de 28 estudios identificados, se seleccionaron nueve que cumplieron estrictamente con los criterios de inclusión y exclusión establecidos. **Conclusiones:** aunque la evidencia sobre la relación causal entre *P. gingivalis* y las enfermedades neurodegenerativas aún no es definitiva, los hallazgos subrayan la importancia de la salud oral especialmente en adultos mayores de 60 años, como una estrategia preventiva y relevante para mitigar el riesgo, o retrasar la progresión del deterioro cognitivo.

Palabras clave: *Porphyromonas gingivalis*, periodontitis, deterioro cognitivo, enfermedad de Alzheimer.

ABSTRACT

Introduction: periodontitis is an inflammatory condition of the periodontal tissues that main a public health problem in México. Structural damage caused by the microbial ecosystem has been linked to the presence of bacteria such as *Porphyromonas gingivalis*, which has been identified as a risk factor for systemic conditions and cognitive decline, including brain diseases such as Alzheimer's and dementia. **Objective:** the present review aims to critically examine the literature evidence on the presence of *P. gingivalis* and its impact on cognitive functions, risk of dementia, and neurodegenerative diseases such as Alzheimer's. **Material and methods:** a scoping review was conducted using the PRISMA-ScR methodology. Articles published between 2020 and 2025 were included. **Results:** twenty-eight studies were evaluated, of which nine were selected after meeting exclusion criteria. **Conclusions:** the relationship between *P. gingivalis* and neurodegenerative diseases is not conclusive; however, maintaining proper oral hygiene in patients over 60 years of age can prevent the early development of neurodegenerative diseases.

Keywords: *Porphyromonas gingivalis*, periodontitis, brain disease, Alzheimer's diseases.

* Laboratorio de Investigación Interdisciplinario, Área de Nanoestructuras & Biomateriales, Escuela Nacional de Estudios Superiores Unidad León, Universidad Nacional Autónoma de México. León, Guanajuato, México.

ORCID:

‡ 0009-0001-2039-1550; § 0000-0002-8190-4751; ¶ 0000-0002-2934-0717

Recibido: 20 de abril de 2026. Aceptado: 10 de junio de 2026.

Citar como: Álvarez MFC, Peredo GKI, Guerrero DC, Campos IV, Manisekaran R. *Porphyromonas gingivalis* y su relación con las enfermedades neurodegenerativas: una revisión exploratoria. Rev ADM. 2026; 83 (4): 234-240. <https://dx.doi.org/10.35366/124047>



INTRODUCCIÓN

Las enfermedades orales, como la periodontitis y la caries, son condiciones que afectan no sólo a los tejidos duros de los dientes, sino también a las encías, periodonto y otras estructuras de la boca.^{1,2} Estas condiciones son causadas principalmente por microorganismos patógenos o comensales, como *Porphyromonas gingivalis* y *Streptococcus mutans* que, al encontrarse con factores favorables como la falta de higiene oral, genéticos o hábitos alimenticios, desencadenan reacciones inflamatorias y corrosivas con mayor crecimiento microbiano y la formación de *biofilm* bacteriano en la cavidad oral.³⁻⁶

Informes previos han documentado una alta prevalencia de *P. gingivalis* entre adultos de 41 a 62 años. Esta tendencia se correlaciona con el aumento de la incidencia de periodontitis crónica y de diversas formas de periodontitis observadas dentro de estos grupos de edad específicos.⁷ Los datos epidemiológicos de México se alinean con los informes de vigilancia nacional que destacan una mayor distribución de la enfermedad periodontal en esta población demográfica.⁸

Por otro lado, bacterias como *P. gingivalis* se han implicado en múltiples condiciones sistémicas, incluyendo enfermedades cerebrales que son trastornos del sistema nervioso central, como el Alzheimer, enfermedades cerebrovasculares, epilepsia, entre otras, las cuales pueden afectar tanto la estructura como la función del cerebro y reducir la capacidad del cuerpo para conocer, recordar, moverse, coordinarse y realizar otras acciones.^{9,10} La bacteria *P. gingivalis* se ha asociado con la presencia de factores inflamatorios que, al entrar en contacto con la sangre en áreas cercanas al cerebro y al sistema nervioso central, producen neuroinflamación y posteriormente enfermedades neurodegenerativas.¹¹

Este trabajo aborda la importancia de identificar la asociación que tiene la bacteria *P. gingivalis*, presente en muchos pacientes con enfermedad periodontal, con algunas enfermedades neurodegenerativas endémicas, como la demencia y el Alzheimer, determinando su área geográfica o grupo poblacional. Conocer la influencia que las bacterias bucales, como *P. gingivalis*, tienen en la salud sistémica y neuronal puede ayudarnos a prevenir enfermedades mediante la implementación de estrategias centradas en la higiene oral, ya que investigaciones previas indican que ambas condiciones están estrechamente relacionadas. Por lo tanto, el objetivo de este estudio es cartografiar la bibliografía existente sobre la relación que *P. gingivalis* tiene con las enfermedades neurodegenerativas, utilizando PubMed, ScienceDirect y Scopus como fuentes principales; y, a su

vez, revisar por qué las enfermedades orales pueden ser un factor predisponente en la aparición de estas enfermedades.

MATERIAL Y MÉTODOS

Esta revisión exploratoria examina la relación entre la presencia de *P. gingivalis* y la prevalencia de enfermedades neurodegenerativas, como la demencia y el Alzheimer. Se utilizó la metodología PRISMA-ScR, registrada en el *Open Science Framework* (Figura 1). La búsqueda sistemática se llevó a cabo en las bases de datos PubMed y ScienceDirect utilizando las palabras clave «salud bucodental», «enfermedad cerebral», «demencia», «*Porphyromonas gingivalis*», «Alzheimer» y «Parkinson». Se incluyeron artículos originales publicados entre enero de 2020 y marzo de 2025. Los filtros utilizados para PubMed fueron: texto completo gratuito, inglés, español, mujeres, seres humanos, hombres, mayores de 65 años. En cuanto a ScienceDirect, los filtros utilizados fueron: acceso abierto, artículos de investigación, medicina y odontología. Los datos se obtuvieron y revisaron mediante cribado y análisis temático. La pregunta de investigación se estructuró utilizando el formato PCC:

Población (P): adultos mayores de 65 años.

Concepto (C): salud bucodental y enfermedades cerebrales.

Contexto (C): influencia de la *Porphyromonas gingivalis* en el desarrollo de la demencia y el Alzheimer.

Los criterios de exclusión incluyen artículos duplicados, sin acceso al texto completo o sin resultados relevantes relacionados con el tema de investigación. El diagrama de flujo describe el proceso de selección e inclusión de los artículos estudiados. Tras eliminar los artículos duplicados, se revisaron 210 registros, de los cuales se excluyeron 182. Así, se evaluó la elegibilidad de 28 registros y se seleccionaron nueve estudios basados en los criterios.

RESULTADOS

La búsqueda inicial se llevó a cabo en dos bases de datos: PubMed y ScienceDirect. En PubMed, el término de búsqueda «*Porphyromonas gingivalis*» arrojó un total de 494 resultados. Al aplicar el filtro de los últimos cinco años, los resultados se redujeron a 359. Posteriormente, se aplicaron filtros adicionales, como texto completo gratuito, estudios en humanos, idioma (inglés y español), sexo, edad (mayores de 65 años) y otros, lo que redujo aún más el número de registros relevantes, aunque no

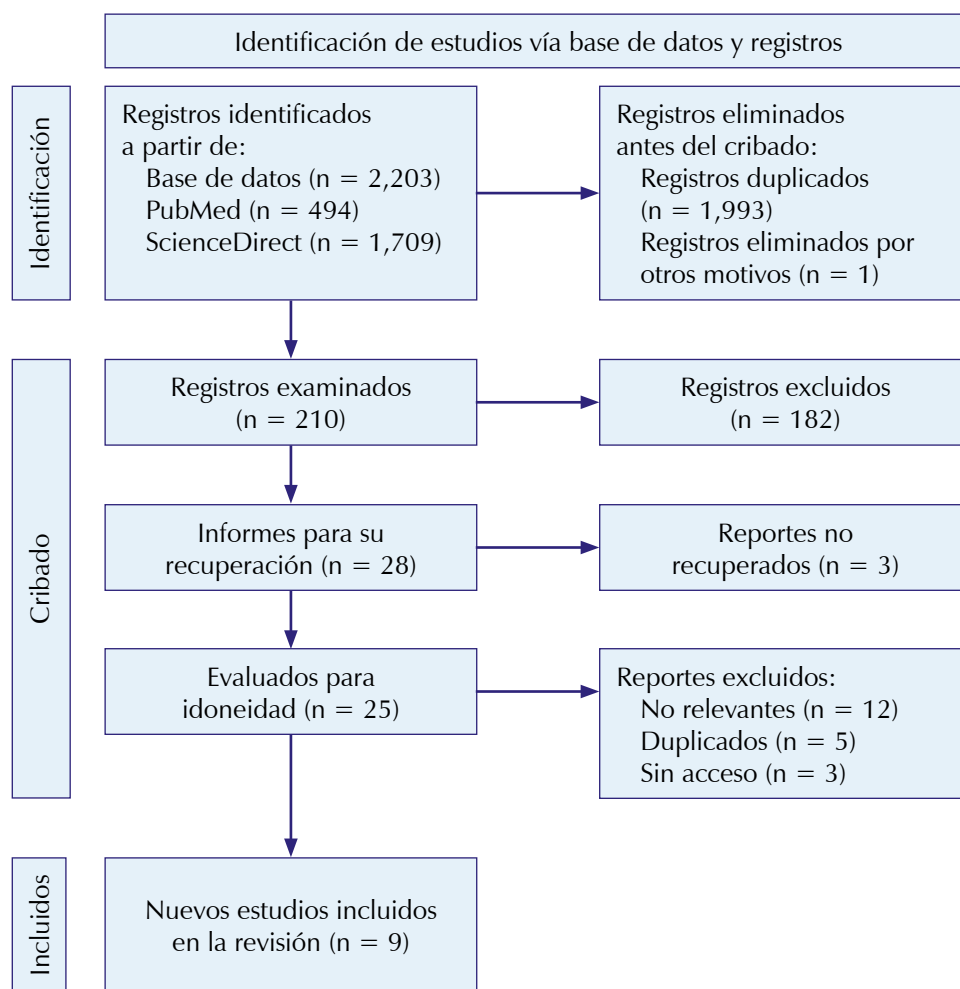


Figura 1:

Diagrama de flujo PRISMA.

se especifica el número final exacto tras esta etapa. En ScienceDirect, se obtuvieron 1,157 resultados relacionados con *P. gingivalis* y la enfermedad de Alzheimer, y 552 resultados relacionados con la enfermedad de Parkinson, lo que suma un total de 1,709 registros en esta base de datos. En total, el número de artículos identificados inicialmente fue de 2,203, antes de aplicar los criterios de exclusión y eliminar los duplicados.

Tras eliminar 1,993 registros duplicados o irrelevantes y aplicar una exclusión manual adicional (n = 1), se seleccionaron 210 artículos mediante la revisión de sus títulos y resúmenes. Como resultado, se excluyeron 182 registros por no cumplir los criterios de inclusión previamente establecidos. Posteriormente, se leyó el texto completo de 28 artículos, de los cuales se excluyeron 23 por diversas razones: 15 no eran relevantes para el objetivo del estudio, cinco eran duplicados ocultos y tres eran

inaccesibles. Por último, nueve estudios cumplieron todos los criterios de elegibilidad y se incluyeron en la revisión.

A continuación, se extrajo la información clave de los artículos incluidos para analizar los resultados (Tabla 1). Los elementos comunes extraídos de todos los artículos fueron los autores, el año de publicación, el objetivo del estudio y el tipo de estudio. Además, se buscó en el contexto del artículo si se trataba de artículos no empíricos, mientras que los estudios empíricos se presentaron con sus principales hallazgos.

DISCUSIÓN

Esta revisión exploratoria tenía como objetivo identificar la posible relación entre la presencia de patógenos periodontales, principalmente *P. gingivalis*, y enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer y el Parkinson.

Tabla 1: Estudios comparativos que relacionan la microbiota periodontal con las enfermedades neurodegenerativas.

Título	Autor (año)	Estudio	Objetivo	Contexto/conclusión	Referencias
<i>Knock-on effect of periodontitis to the pathogenesis of Alzheimer's disease?</i>	Friedrich Leblhuber et al. (2020)	Observacional descriptivo	Investigar la relación entre los patógenos periodontales y el deterioro cognitivo en pacientes con predisposición a la enfermedad de Alzheimer	El estudio reveló que la presencia de <i>Porphyromonas gingivalis</i> se asocia con un deterioro en los resultados de las pruebas cognitivas en pacientes con Alzheimer	12
<i>Exploring the connection between Porphyromonas gingivalis and neurodegenerative diseases: a pilot quantitative study on the bacterium abundance in oral cavity and the amount of antibodies in serum</i>	Raffaella Franciotti et al. (2021)	Estudio piloto cuantitativo	Cuantificar la abundancia de <i>Porphyromonas gingivalis</i> en pacientes con enfermedades neurodegenerativas	El estudio puede estar sesgado debido al reducido tamaño de la muestra, a la falta de control sobre posibles factores y al uso de un diseño que limita la capacidad de establecer relaciones causales	13
<i>Antibodies against periodontal microorganisms and cognition in older adults</i>	AT Merchant et al. (2023)	Estudio transversal	Evaluar la asociación entre los grupos derivados de 19 anticuerpos IgG contra microorganismos periodontales	Se ha observado que ciertos tipos de microorganismos están estrechamente relacionados con un menor rendimiento cognitivo en las personas mayores	14
<i>Infection burden, periodontal pathogens, and their interactive association with incident all-cause and Alzheimer's disease dementia in a large national survey</i>	May A. Beydoun et al. (2024)	Encuesta internacional	Evaluar la relación entre la carga infecciosa, los patógenos periodontales y los indicadores de enfermedad periodontal con el riesgo de padecer la enfermedad de Alzheimer y demencia	Ciertas infecciones víricas, como la hepatitis C y el virus del herpes tipo 2, están estrechamente relacionadas con un mayor riesgo de demencia	15
<i>Association between periodontitis and cognitive impairment in older adults: A cross-sectional study of the National Health and Nutrition Examination Survey</i>	Sun Q & Li M. (2025)	Revisión narrativa	Evaluar la relación entre la periodontitis y el deterioro cognitivo en las personas mayores	Este análisis pone de manifiesto una relación significativa entre la periodontitis y el deterioro cognitivo en personas mayores de 60 años, según una muestra representativa a nivel nacional	16

Continúa la Tabla 1: Estudios comparativos que relacionan la microbiota periodontal con las enfermedades neurodegenerativas.

Título	Autor (año)	Estudio	Objetivo	Contexto/conclusión	Referencias
<i>Research trends in the comorbidity between periodontitis and neurodegenerative diseases</i>	Jiale Han et al. (2025)	Revisión narrativa	Evaluar las tendencias de investigación sobre la comorbilidad entre la periodontitis y las enfermedades neurodegenerativas	Esta investigación reveló que, en los últimos años, ha aumentado el interés por la comorbilidad entre la periodontitis y las enfermedades neurodegenerativas	17
<i>Effects of pro-inflammatory cytokines induced by Porphyromonas gingivalis on cell cycle regulation in brain endothelial cells</i>	Andrea Fernanda Rodriguez et al. (2025)	Revisión narrativa	Evaluar los efectos de las citocinas proinflamatorias inducidas por <i>Porphyromonas gingivalis</i> sobre la regulación del ciclo celular en las células endoteliales cerebrales	Este estudio reveló que la presencia de <i>P. gingivalis</i> reducía el metabolismo celular e inducía la detención precoz del ciclo celular en la fase G0/G1 en las células endoteliales cerebrales (BECm). Además, se observó un aumento de la respuesta proinflamatoria, lo que podría estar relacionado con la muerte celular y la posible presencia de células endoteliales cerebrales	18
<i>Association between oral health-related quality of life and mental health among university students in Riyadh, Saudi Arabia</i>	AlBandyary H. Allameel et al. (2025)	Estudio empírico	Evaluar la relación entre la calidad de vida relacionada con la salud bucodental y la salud mental	Los resultados pusieron de manifiesto el impacto negativo que tienen los problemas bucodentales en la calidad de vida de los pacientes que padecen depresión y ansiedad, y se observó un impacto notable en su salud mental	19
<i>Impact of mouthwash-induced oral microbiome disruption on Alzheimer's disease risk: a perspective review</i>	Ayoub Boulares et al. (2025)	Estudio empírico	Evaluar el impacto de la alteración del microbioma bucal provocada por los enjuagues bucales en el riesgo de padecer la enfermedad de Alzheimer	Los resultados indicaron que, si bien el enjuague bucal puede elevar la presión arterial del paciente, no existen estudios directos que relacionen su uso con la aparición de esta enfermedad neurodegenerativa	20

Los resultados se analizaron en las siguientes secciones, a partir de los nueve artículos seleccionados.

Salud periodontal y riesgo de demencia

Varios estudios han investigado la asociación entre la enfermedad periodontal y el riesgo de desarrollar demencia.²¹⁻²⁴ Dado que existe una tendencia hacia un mayor riesgo de demencia entre los pacientes con periodontitis crónica y enfermedad de Alzheimer, se ha observado que este riesgo aumenta entre los participantes con hábitos de vida saludables, por lo que sugieren realizar más estudios para verificar si la prevención de la periodontitis crónica puede reducir el riesgo de demencia.²⁵ Por su parte, Leblhuber F y colaboradores evaluaron el RNA del líquido alveolar para determinar la presencia de patógenos periodontales en pacientes diagnosticados con demencia degenerativa primaria. Encontraron la presencia de la bacteria periodontal patógena *P. gingivalis* en pacientes con periodontitis crónica en estadios III y IV. Además, relacionaron esta bacteria con la neuroinflamación y el proceso de la demencia. Según sus resultados, la activación inmunitaria crónica y la inflamación alteran el metabolismo de las monoaminas, lo que podría estar relacionado con el desarrollo de síntomas neuropsiquiátricos como el Alzheimer.¹⁰ Además, se han encontrado microorganismos periodontales en los cerebros de personas con enfermedad de Alzheimer.²⁶ Por lo tanto, concluyen que una mala salud periodontal, reflejada en periodontitis, pérdida de dientes, bolsas periodontales profundas o pérdida de hueso alveolar, puede estar asociada con un mayor riesgo de deterioro cognitivo y el desarrollo de demencia.

Anticuerpos contra patógenos periodontales y función cognitiva

Franciotti R y colaboradores¹³ cuantificaron la abundancia de *P. gingivalis* en pacientes con enfermedades neurodegenerativas (ND), comparándola con la cantidad presente en pacientes neurológicos sin trastornos neurodegenerativos (no ND) y en pacientes sanos. Sus resultados mostraron una mayor cantidad de *P. gingivalis* en pacientes con ND que en los no ND y los pacientes sanos. Además, la correlación con la presencia de anticuerpos entre los grupos mostró grandes diferencias. Merchant AT y colaboradores¹⁴ exploraron la relación entre los anticuerpos IgG contra 19 microorganismos periodontales (representativos de los grupos periodontales propuestos por Socransky y Haffajee) y las funciones cognitivas en adultos mayores de 60 años. Entre los resultados, observaron que los anticuerpos IgG contra microorganismos periodontales se asociaban con

una menor capacidad cognitiva en adultos mayores de 60 años,¹⁵ mientras que *P. gingivalis* se ha asociado con la incidencia de demencia y la mortalidad por enfermedad de Alzheimer.²⁷ Estos estudios muestran que la presencia de anticuerpos contra patógenos periodontales podría estar asociada con un mayor riesgo de deterioro cognitivo, lo que implica que la respuesta inmunitaria a las infecciones orales podría comprometer la salud cerebral, y que la información derivada de los anticuerpos podría combinarse con factores de riesgo establecidos para mejorar la predicción de la pérdida cognitiva no diagnosticada.

Porphyromonas gingivalis y enfermedades neurodegenerativas

En estudios piloto se ha investigado la relación entre la *Porphyromonas gingivalis* y las enfermedades neurodegenerativas mediante la evaluación de la abundancia de esta bacteria en la cavidad oral y de los niveles de anticuerpos séricos y citocinas proinflamatorias.^{13,28} Los estudios han demostrado que la presencia de bacterias puede estar correlacionada con un mayor riesgo de trastornos neurodegenerativos, aunque se necesita más investigación. La salud oral siempre debe considerarse un factor clave para la salud general, especialmente en las personas mayores. Los estudios revisados en este trabajo muestran que la bacteria patógena periodontal *Porphyromonas gingivalis* puede estar relacionada con enfermedades neurodegenerativas como el Alzheimer y el Parkinson.^{25,29} La degradación crónica generada durante la enfermedad periodontal parece promover la neuroinflamación, un factor clave en el deterioro cognitivo.¹⁸ Sin embargo, la mayor parte de la evidencia es observacional, por lo que se necesitan más estudios para confirmarlo y evaluar si el tratamiento periodontal puede ayudar a prevenir o retrasar significativamente estas enfermedades. Es necesaria una atención odontológica y neurológica integral para mejorar la calidad de vida y reducir los riesgos neurodegenerativos en los pacientes.^{19,20}

CONCLUSIÓN

Aunque los artículos analizados arrojaron resultados sobre una posible relación entre los patógenos orales y las enfermedades neurodegenerativas, este tema sigue requiriendo investigaciones sólidas adicionales para desarrollar estrategias que contribuyan a promover la salud de los pacientes y a reducir los factores de riesgo de estas enfermedades. Los resultados de los artículos evaluados subrayan la importancia de mantener una buena salud oral, no sólo para prevenir las enfermedades dentales y

periodontales, sino también como una posibilidad de reducir el riesgo de desarrollar enfermedades neurodegenerativas. Reconocer las infecciones periodontales como factores de riesgo modificables ofrece nuevas oportunidades para intervenciones preventivas y terapéuticas. Sin embargo, es fundamental reconocer que la conexión entre la salud oral y la salud cerebral es compleja y multifactorial. Se necesitan más estudios para determinar las causas definitivas y diseñar estrategias de intervención eficaces. La cooperación entre odontólogos, neurólogos y otros expertos en salud será crucial para avanzar en este campo y promover la salud general de los pacientes.

REFERENCIAS

- MacHiulskiene V, Campus G, Carvalho JC, Dige I, Ekstrand KR, Jablonski-Momeni A et al. Terminology of dental caries and dental caries management: Consensus report of a workshop organized by ORCA and Cariology Research group of IADR. *Caries Res.* 2020; 54 (1): 7-14.
- Kwon TH, Lamster IB, Levin L. Current concepts in the management of periodontitis. *Int Dent J.* 2021; 71 (6): 462-476.
- Zhang JS, Chu CH, Yu OY. Oral microbiome and dental caries development. *Dentistry J.* 2022; 10 (10): 184.
- Yuzar Y, Lisnayetti L, Amelia N. The difference plaque index of brushing teeth: A combination to grade students. *J Kesehatan Masyarakat Andalas.* 2018; 12 (1): 44-48.
- Li Z, Hu Z, Li X, Lu P. Effects of enamel adhesives with different components on *Porphyromonas gingivalis* and *Streptococcus mutans*. *Chin J Tissue Eng Res.* 2024; 28 (3): 329-335.
- Mei F, Xie M, Huang X, Long Y, Lu X, Wang X et al. Role of *Streptococcus mutans* surface proteins for biofilm formation. *Pathogens.* 2020; 9 (1): 22-29.
- Qassim H, Salih Al-Taweel R. The relationship between the presence of *Prevotella intermedia* and *Porphyromonas gingivalis* and increased severity of gingivitis. *Wasit J Sci.* 2025; 4 (3): 65-76.
- Secretaría de Salud (MX), Subsecretaría de Prevención y Promoción de la Salud, Dirección General de Epidemiología, Dirección de Información Epidemiológica. Resultados del Sistema de Vigilancia Epidemiológica de Patologías Bucales (SIVEPAB) 2024. Ciudad de México: Secretaría de Salud; 2026.
- Mei F, Xie M, Huang X, Long Y, Lu X, Wang X et al. *Porphyromonas gingivalis* and its systemic impact: current status. *Pathogens.* 2020; 9 (11): 944.
- Grau AJ, Becher H, Ziegler CM, Lichy C, Buggle F, Kaiser C et al. Periodontal disease as a risk factor for ischemic stroke. *Stroke.* 2004; 35 (2): 496-501.
- Wang RPH, Ho YS, Leung WK, Goto T, Chang RCC. Systemic inflammation linking chronic periodontitis to cognitive decline. *Brain Behav Immun.* 2019; 81: 63-73.
- Leblhuber F, Huemer J, Steiner K, Gostner JM, Fuchs D. Knock-on effect of periodontitis to the pathogenesis of Alzheimer's disease? *Wien Klin Wochenschr.* 2020; 132 (17-18): 493-498.
- Franciotti R, Pignatelli P, Carrarini C, Romei FM, Mastrippolito M, Gentile A et al. Exploring the connection between *Porphyromonas gingivalis* and neurodegenerative diseases: a pilot quantitative study on the bacterium abundance in oral cavity and the amount of antibodies in serum. *Biomolecules.* 2021; 11 (6): 845.
- Merchant AT, Yi F, Vidanapathirana NP, Lohman M, Zhang J, Newman-Norlund RD et al. Antibodies against periodontal microorganisms and cognition in older adults. *JDR Clin Trans Res.* 2023; 8 (2): 148-157.
- Beydoun MA, Beydoun HA, Hedges DW, Erickson LD, Gale SD, Weiss J et al. Infection burden, periodontal pathogens, and their interactive association with incident all-cause and Alzheimer's disease dementia in a large national survey. *Alzheimers Dement.* 2024; 20 (9): 6468-6485.
- Sun Q, Li M. Association between periodontitis and cognitive impairment in older adults: A cross-sectional study of the National Health and Nutrition Examination Survey. *Clin Epidemiol Glob Health.* 2025; 33: 102020.
- Han J, Liu Y, Guo X, Gao G, Wu Q. Research trends in the comorbidity between periodontitis and neurodegenerative diseases. *Int Dent J.* 2025; 75 (2): 564-574.
- Rodríguez AF, Buitrago JS, Castillo Y, Lafaurie GI, Buitrago-Ramírez DM. Effects of pro-inflammatory cytokines induced by *Porphyromonas gingivalis* on cell cycle regulation in brain endothelial cells. *J Oral Biosci.* 2025; 67 (2): 100668.
- AlJameel ABH, AlSaleh LS, Bawazir NH, AlOmair AS, AlMalki SA. Association between oral health-related quality of life and mental health among university students in Riyadh, Saudi Arabia. *Clin Epidemiol Glob Health.* 2025; 33: 101984.
- Boulares A, Jdidi H, Bragazzi NL. Impact of mouthwash-induced oral microbiome disruption on Alzheimer's disease risk: a perspective review. *Int Dent J.* 2025; 75 (1): 45-50.
- Kim SR, Son M, Kim YR, Kang HK. Risk of dementia according to the severity of chronic periodontitis in Korea: a nationwide retrospective cohort study. *Epidemiol Health.* 2022; 44: e2022077.
- Lee CY, Chang CC, Lin CS, Yeh CC, Hu CJ, Wu CZ et al. Risk of dementia in patients with periodontitis and related protective factors: A nationwide retrospective cohort study. *J Clin Periodontol.* 2020; 47 (12): 1428-1436.
- Chen HL, Wu DR, Chen JJ, Lin WS, Chen IC, Liu JF et al. Association between periodontitis treatment and dementia in Taiwanese adults. *BMC Oral Health.* 2023; 23 (1): 969.
- Guo H, Chang S, Pi X, Hua F, Jiang H, Liu C et al. The effect of periodontitis on dementia and cognitive impairment: A meta-analysis. *Int J Environ Res Public Health.* 2021; 18 (13): 6823.
- Choi S, Kim K, Chang J, Kim SM, Kim SJ, Cho HJ et al. Association of chronic periodontitis on alzheimer's disease or vascular dementia. *J Am Geriatr Soc.* 2019; 67 (6): 1234-1239.
- Dominy SS, Lynch C, Ermini F, Benedyk M, Marczyk A, Konradi A et al. *Porphyromonas gingivalis* in Alzheimer's disease brains: Evidence for disease causation and treatment with small-molecule inhibitors. *Sci Adv.* 2019; 5 (1): eaau3333.
- Beydoun MA, Beydoun HA, Hossain S, El-Hajj ZW, Weiss J, Zonderman AB. Clinical and bacterial markers of periodontitis and their association with incident all-cause and Alzheimer's disease dementia in a large national survey. *J Alzheimers Dis.* 2020; 75 (1): 157-172.
- Ryder MI. *Porphyromonas gingivalis* and Alzheimer disease: recent findings and potential therapies. *J Periodontol.* 2020; 91 (S1): S45-S49.
- Putri C, Bachtiar E. Infection of *Porphyromonas gingivalis* in Alzheimer's disease and the suppression of immunity. *Dent Hypotheses.* 2021; 12 (4): 174-178.

Conflicto de intereses: los autores declaran que no tienen ningún conflicto de intereses.

Correspondencia:
Verónica Campos Ibarra
E-mail: vcamposi@enes.unam.mx

Uso de membranas de colágeno en odontología según la evidencia disponible en América del Norte.

Use of collagen membranes in dentistry based on available evidence in North America.

Ana Gloria Pascual Luna,* Gerardo Nava Rosales,‡ Cristóbal Landa Román§

RESUMEN

Introducción: las membranas de colágeno se han consolidado desde la década de los años ochenta con el desarrollo de la regeneración tisular guiada (RTG), técnica quirúrgica basada en la colocación de una barrera física para impedir la migración del epitelio y del tejido conectivo hacia el coágulo del defecto óseo, permitiendo la proliferación selectiva de células del ligamento periodontal con potencial de formar una nueva inserción y regeneración ósea. **Objetivo:** analizar la evidencia científica publicada entre 1960 y 2026 sobre el uso de membranas biológicas de colágeno en odontología en revistas de América del Norte, identificando su evolución, aplicaciones clínicas, biomateriales utilizados, comportamiento biológico y principales hallazgos. **Material y métodos:** se realizó una revisión retrospectiva, descriptiva, transversal y de enfoque mixto. Se incluyeron artículos científicos publicados en revistas de América del Norte sobre membranas de colágeno en odontología y se excluyeron publicaciones de otras regiones. **Resultados:** se identificaron 288 publicaciones, de las cuales 66 cumplieron los criterios de inclusión: 50 (75.8%) de Estados Unidos, 12 (18.2%) de México y 4 (6.1%) de Canadá. El 78.8% de los estudios se publicó después del año 2000, reflejando un incremento del interés científico. Predominaron los artículos originales (60.6%), seguidos por casos clínicos y series de casos (30.3%). Las membranas porcinas (18.7%) y bovinas (16.7%) fueron las más reportadas; sin embargo, el 48.4% de los estudios no especificó el origen del biomaterial. Entre los trabajos que evaluaron el desempeño clínico, se describió adecuada integración tisular, cicatrización favorable y ausencia de complicaciones inmunológicas relevantes. No se documentó rechazo inmunológico confirmado y únicamente un estudio reportó persistencia parcial del material, atribuida a sus características físicas más que a rechazo biológico. **Conclusiones:**

ABSTRACT

Introduction: collagen membranes have become established since the 1980s with the development of guided tissue regeneration (GTR), a surgical technique based on the placement of a physical barrier to prevent the migration of the epithelium and connective tissue towards the bone defect clot, allowing the selective proliferation of periodontal ligament cells with the potential to form a new attachment and bone regeneration. **Objective:** to analyze the scientific evidence published between 1960 and 2026 on the use of biological collagen membranes in dentistry in North American journals, identifying their evolution, clinical applications, biomaterials used, biological behavior, and main findings. **Material and methods:** a retrospective, descriptive, cross-sectional literature review with a mixed-methods approach was conducted. Scientific articles published in North American journals addressing the use of collagen membranes in dentistry were included, while studies published outside North America were excluded. **Results:** a total of 288 publications were identified, of which 66 met the inclusion criteria: 50 (75.8%) from the United States, 12 (18.2%) from Mexico, and 4 (6.1%) from Canada. Most studies (78.8%) were published after 2000, reflecting a marked increase in scientific interest. Original research articles accounted for 60.6% of the publications, followed by case reports and case series (30.3%). Porcine (18.7%) and bovine (16.7%) collagen membranes were the most frequently reported; however, 48.4% of the studies did not specify the biomaterial source. Among studies evaluating clinical performance, favorable tissue integration, satisfactory healing, and the absence of clinically relevant immunological complications were consistently reported. No confirmed cases of immunological rejection were identified, and only one study described partial persistence of the membrane, which was

* Residente de Periodoncia en el Centro Mexicano en Estomatología Campus Morelia. Especialista en Cirugía Bucal. ORCID: 0000-0003-3608-8617

‡ Especialista en Periodoncia. Docente de Implantología en el Centro Mexicano en Estomatología Campus Morelia. ORCID: 0009-0005-6116-2745

§ Especialista en Periodoncia, Especialista en Cirugía Bucal, Doctorado en Políticas Públicas para el Sector Salud, Maestría en Salud Pública, Cirujano Dentista. Docente Centro Mexicano en Estomatología Campus Morelia. ORCID: 0009-0000-8978-8647

Recibido: 16 de julio de 2026. Aceptado: 04 de agosto de 2026.

Citar como: Pascual LAG, Nava RG, Landa RC. Uso de membranas de colágeno en odontología según la evidencia disponible en América del Norte. Rev ADM. 2026; 83 (4): 241-247. <https://dx.doi.org/10.35366/124048>



las membranas de colágeno continúan siendo biomateriales seguros y ampliamente aceptados para regeneración periodontal y ósea guiada. No obstante, la heterogeneidad metodológica y la escasa descripción del origen y comportamiento de los biomateriales limitan la comparación entre estudios y evidencian la necesidad de investigaciones más estandarizadas.

Palabras clave: periodoncia, colágeno, heterogeneidad, revisión de la literatura.

attributed to its physical characteristics rather than biological rejection.

Conclusions: collagen membranes remain safe and widely accepted biomaterials for guided periodontal and bone regeneration. However, methodological heterogeneity and the limited reporting of membrane origin and biological behavior restrict comparisons among studies, highlighting the need for more standardized future research.

Keywords: periodontics, collagen, heterogeneity, literature review.

INTRODUCCIÓN

Desde la década de los sesenta, el colágeno comenzó a adquirir relevancia como biomaterial en medicina debido a su elevada biocompatibilidad, baja antigenicidad, biodegradabilidad y capacidad para favorecer la cicatrización y la regeneración de los tejidos.¹ Estas propiedades impulsaron el desarrollo de diversos materiales derivados del colágeno para aplicaciones quirúrgicas, inicialmente como agentes hemostáticos y posteriormente como matrices para la reparación de tejidos blandos y duros.^{1,2}

En odontología, el empleo de membranas de colágeno se consolidó a partir de mediados de la década de los ochenta con el desarrollo de la regeneración tisular guiada (RTG), técnica basada en la colocación de una barrera física que impide la migración del epitelio y del tejido conectivo hacia el defecto quirúrgico, permitiendo la proliferación selectiva de células del ligamento periodontal, cemento y hueso alveolar. Los primeros estudios experimentales demostraron que las membranas absorbibles de colágeno favorecían la regeneración periodontal al excluir selectivamente los tejidos blandos y permitir la formación de nueva inserción periodontal.²⁻⁵

Durante la década de los noventa, las membranas de colágeno comenzaron a utilizarse de manera rutinaria en el tratamiento de defectos intraóseos, lesiones de furca y procedimientos de regeneración periodontal. Su principal ventaja frente a las membranas no absorbibles fue eliminar la necesidad de una segunda intervención quirúrgica para su retiro, reduciendo la morbilidad del tratamiento. Sin embargo, también se identificaron limitaciones relacionadas con su rápida degradación, menor estabilidad mecánica y limitada capacidad para mantener el espacio regenerativo en defectos extensos.⁴⁻⁹

A partir del año 2000, las indicaciones clínicas de estas membranas se ampliaron considerablemente hacia procedimientos de regeneración ósea guiada (ROG), preservación alveolar, elevación de seno maxilar, aumento

horizontal y vertical de rebordes alveolares, reconstrucción de dehiscencias y tratamiento de defectos periimplantarios.⁸⁻¹² Paralelamente, el desarrollo de nuevos procesos de fabricación permitió obtener membranas con diferentes orígenes biológicos, grados de entrecruzamiento y tiempos de absorción, buscando mejorar su estabilidad mecánica, resistencia a la degradación enzimática, propiedades bioactivas y capacidad de integración con los tejidos.⁹⁻¹³

Actualmente, las membranas de colágeno disponibles para uso odontológico provienen principalmente de tejidos porcinos y bovinos, aunque también existen alternativas derivadas de tejidos humanos autólogos o alogénicos, así como biomateriales combinados con diferentes sustitutos óseos. Las membranas porcinas suelen elaborarse a partir de dermis o pericardio ricos en colágeno tipos I y III, mientras que las bovinas generalmente se obtienen de tendón o dermis, conservando la arquitectura fibrilar del colágeno. Las diferencias en el origen, procesamiento y composición pueden influir en su comportamiento biológico, velocidad de degradación y resultados clínicos.^{9,12-15}

La evidencia científica disponible incluye artículos originales, ensayos clínicos aleatorizados, estudios comparativos, investigaciones histológicas, estudios experimentales en animales, casos clínicos, series de casos y revisiones de la literatura. En términos generales, los estudios clínicos han comunicado una adecuada biocompatibilidad, integración tisular, ausencia de reacciones inmunológicas clínicamente relevantes y resultados favorables en la regeneración periodontal y ósea guiada. No obstante, algunos autores han descrito complicaciones como exposición temprana de la membrana, degradación prematura, colapso del espacio regenerativo o persistencia parcial de fibras de colágeno, fenómenos que generalmente se relacionan con las propiedades físicoquímicas del biomaterial y no con procesos de rechazo inmunológico.¹⁰⁻¹⁸

En la actualidad, las membranas de colágeno constituyen el estándar de referencia entre las membranas

absorbibles empleadas en odontología regenerativa debido a su excelente biocompatibilidad, facilidad de manipulación, capacidad para favorecer la angiogénesis y la cicatrización, además de eliminar la necesidad de una segunda cirugía para su extracción.^{9,12,16-20} Sin embargo, la heterogeneidad de los materiales disponibles comercialmente, sus métodos de procesamiento, las técnicas quirúrgicas empleadas y los diseños metodológicos de los estudios dificultan establecer la superioridad clínica de una membrana específica sobre otra.¹⁵⁻²⁰

Por ello, el objetivo de la presente revisión de la literatura fue analizar la evidencia científica publicada entre 1960 y 2026 sobre el uso de membranas biológicas de origen natural en odontología, particularmente en revistas de América del Norte, con el propósito de identificar la evolución de sus aplicaciones clínicas, los tipos de estudios publicados, los biomateriales utilizados, su comportamiento biológico, las principales complicaciones reportadas y las tendencias actuales de investigación.

MATERIAL Y MÉTODOS

Estudio retrospectivo, mixto, descriptivo, transversal. Unidad de observación: artículos científicos.

Criterios de inclusión: artículos científicos que hablen del uso de membranas de colágeno, publicados en revistas de Norteamérica. Criterios de exclusión: artículos fuera de Norteamérica.

RESULTADOS

La evaluación literaria se realizó con base en artículos publicados en el periodo de 1988-2026, a pesar de que

el primer artículo sobre el uso de membranas de colágeno en odontología fue publicado en 1960. Sin embargo, este artículo se publicó en Europa, por lo que fue excluido.

Se encontró un total de 288 artículos publicados en 1960-2026 que mencionan el uso de membranas de colágeno, siendo excluidos de la investigación 222 artículos al no ser publicados en América del Norte. Los artículos seleccionados se dividieron en 50 (75.8%) de Estados Unidos, 12 (18.2%) de México y 4 (6.1%) de Canadá.

Los años con mayor número de publicaciones fueron 2001, 2008, 2012, 2013, 2016 y 2018, con cuatro artículos cada uno. Además, 52 de los 66 artículos incluidos, equivalentes al 78.8 %, fueron publicados a partir del año 2000 (*Figura 1*).

Respecto a las plataformas científicas utilizadas, la distribución fue 54 (81.8%) artículos de PubMed, 9 (13.6%) de SciELO México y 3 (4.5%) de Medigraphic (*Figura 2*).

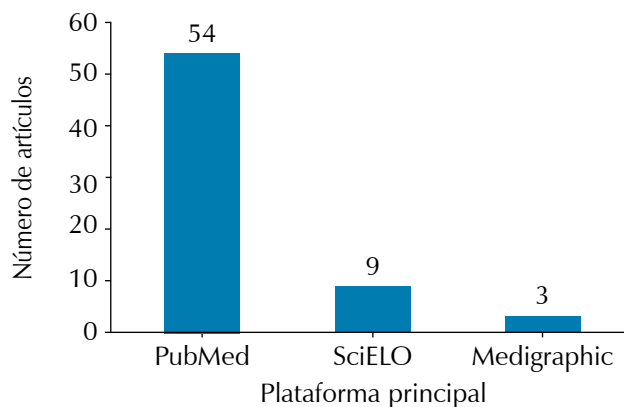


Figura 2: Número de artículos por plataforma científica principal.

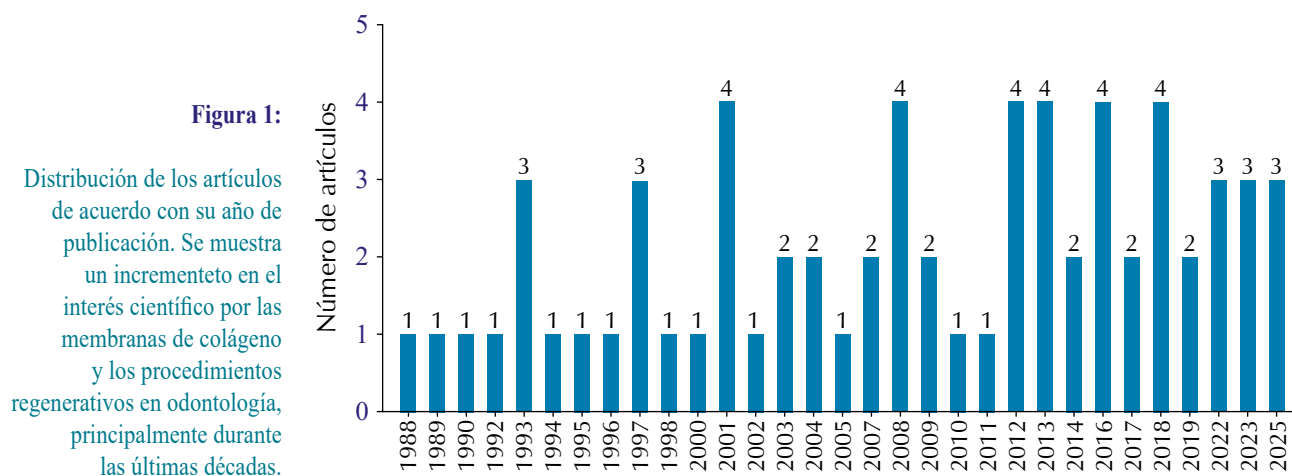


Figura 3:

Número de artículos por revista. La investigación sobre membranas de colágeno se ha publicado principalmente en revistas especializadas en periodoncia, implantología, cirugía oral y regeneración de tejidos. El predominio de revistas periodontales puede relacionarse con el uso inicial de estas membranas como barreras para favorecer la regeneración de los tejidos periodontales.

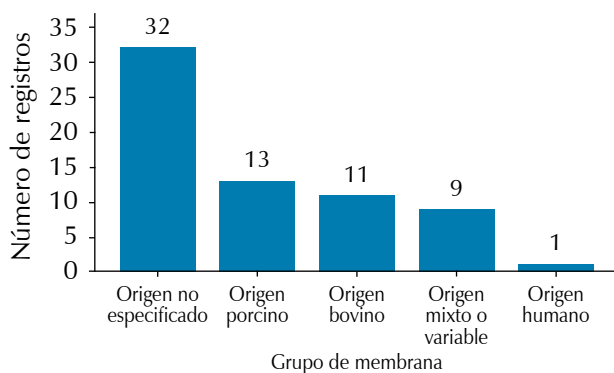
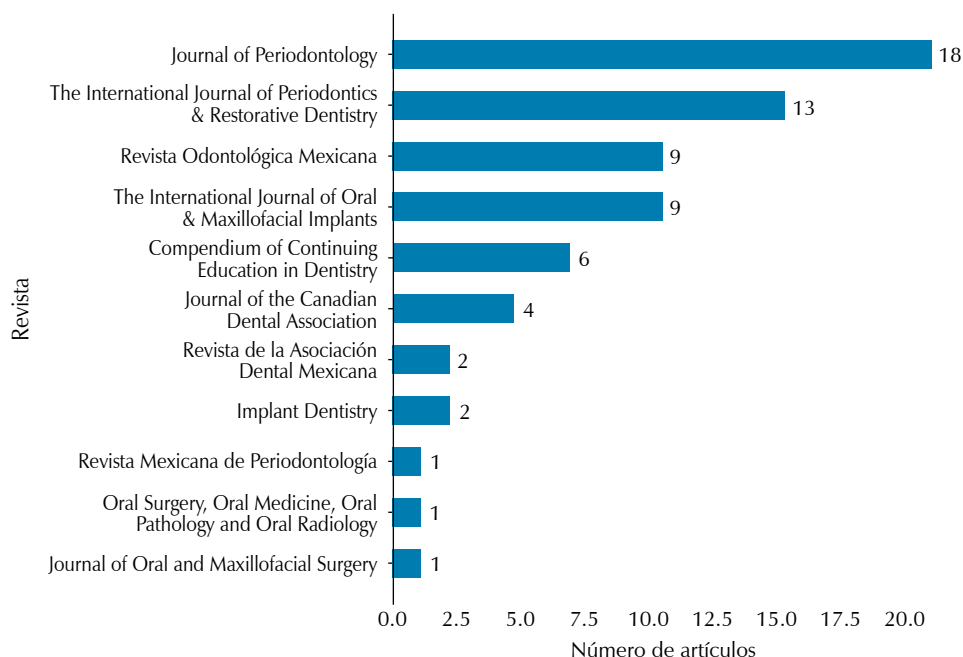


Figura 4: Distribución de las membranas según su origen. Se observa que las membranas de origen animal, principalmente porcinas y bovinas, se utilizan con frecuencia en los procedimientos regenerativos odontológicos. No obstante, la elevada cantidad de artículos que no especificaron el origen representa una limitación importante.

La revista con mayor número de publicaciones relacionadas con el tema estudiado fue *Journal of Periodontology*, con 18 (27.3%) artículos, seguida de *The International Journal of Periodontics & Restorative Dentistry*, con 13 (19.7%); posteriormente se ubicaron la Revista Odontológica Mexicana y *The International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*, con 9 (13.6%) publicaciones cada una (Figura 3).

De los artículos evaluados, 32 (48.4%) no mencionaron el origen de la membrana. Las membranas de origen porci-

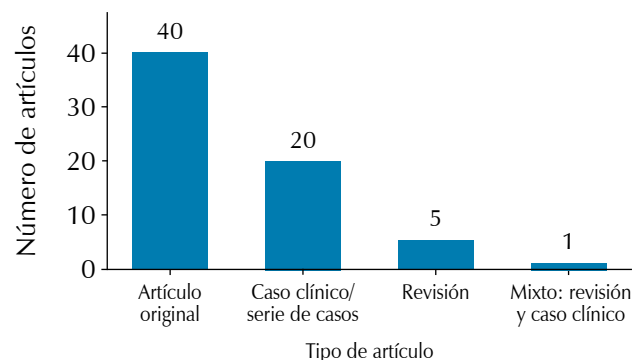


Figura 5: Distribución por tipo de artículo. El predominio de artículos originales indica que una parte importante de la literatura corresponde a investigaciones primarias.

no fueron las más frecuentes, con 13 (18.7%) registros; las membranas bovinas se identificaron en 11 (16.7%) registros, mientras que 9 (13.6%) registros describieron membranas de origen mixto o variable. Solamente un (1.5%) artículo mencionó una membrana de origen humano (Figura 4).

El diseño y nivel de evidencia de los artículos se evidenció con 40 (60.6%) artículos originales, los casos clínicos y las series de casos ocuparon el segundo lugar, con 20 (30.3%) artículos. También se identificaron 5 (7.6%) artículos de revisión, mientras que un (1.5%) artículo combinó una revisión de la literatura con la presentación de un caso clínico (Figura 5).

Parte importante de la evaluación de los artículos fue establecer el nivel de evidencia del uso de las membranas, para establecer cuántos artículos mencionan la aceptación o el rechazo de los injertos evaluados en cada caso. En 15 (22.7%) artículos se informó una aceptación favorable. Estos estudios describieron resultados como cicatrización adecuada, integración de los tejidos, estabilidad clínica, osteointegración o ausencia de complicaciones importantes. No se identificó ningún artículo que informara un rechazo confirmado. Sólo un (1.5%) estudio comunicó una alteración relacionada con la persistencia o falta de absorción del material, pero sin confirmar rechazo. Por otro lado, en 50 (75.8%) artículos la aceptación no pudo ser evaluada. Esta categoría reúne los estudios en los que la aceptación no aplicaba por el tipo de investigación, no fue evaluada o no se proporcionó información suficiente (Figura 6).

DISCUSIÓN

La presente revisión bibliográfica evidenció que la investigación sobre membranas de colágeno en odontología experimentó un crecimiento importante a partir del año 2000, concentrando el 78.8% de las publicaciones incluidas. Este comportamiento coincide con lo reportado por Ren y colaboradores,²¹ quienes señalaron que el desarrollo de la regeneración ósea guiada (ROG) favoreció el diseño de nuevas membranas absorbibles con mejores propiedades biológicas y mecánicas, ampliando sus aplicaciones clínicas en implantología, periodoncia y cirugía oral. De forma similar, Mizraji y su grupo²² describieron que la evolución de las membranas de colágeno

ha permitido incrementar la predictibilidad de los procedimientos regenerativos mediante biomateriales con mayor estabilidad estructural y mejor comportamiento biológico. Estos hallazgos explican el incremento progresivo de publicaciones observado en la presente revisión, particularmente después del año 2000.

En cuanto al origen biológico de las membranas, las de origen porcino y bovino fueron las más comunes, mientras que casi la mitad de los artículos no especificó el origen del biomaterial empleado. Este resultado coincide con la revisión de Mizraji y su equipo,²² quienes reportaron que las membranas derivadas de porcino y bovino continúan siendo las más utilizadas debido a su elevada biocompatibilidad, adecuada resistencia mecánica y comportamiento clínico predecible. Sin embargo, estos autores también señalan que existe una considerable variabilidad entre fabricantes respecto al procesamiento, grado de entrecruzamiento y velocidad de degradación, factores que dificultan comparar directamente los resultados obtenidos entre diferentes estudios. En la presente revisión, la ausencia de información sobre el origen de las membranas representa una limitación metodológica importante, ya que impide establecer asociaciones entre el biomaterial utilizado y los resultados clínicos reportados.

Respecto al diseño metodológico, predominó la publicación de artículos originales (60.6%), seguidos de casos clínicos y series de casos. Estos resultados reflejan que la mayor parte del conocimiento disponible continúa generándose mediante investigaciones primarias. No obstante, Zhou y colaboradores,²³ en una revisión sistemática con metaanálisis en red, concluyeron que existe una elevada heterogeneidad metodológica entre los estudios sobre membranas biodegradables, debido a diferencias en los biomateriales evaluados, los defectos tratados, los tiempos de seguimiento y las variables clínicas analizadas. Esta observación coincide con los resultados del presente estudio, donde la diversidad metodológica dificultó establecer comparaciones directas entre las diferentes membranas de colágeno.

Uno de los hallazgos más relevantes fue que ninguno de los artículos incluidos documentó rechazo inmunológico confirmado de las membranas de colágeno. Por el contrario, los estudios que evaluaron esta variable describieron una adecuada integración tisular, cicatrización favorable y ausencia de complicaciones inmunológicas clínicamente relevantes. Estos resultados coinciden con Ren y su grupo,²¹ quienes describen que las membranas de colágeno presentan una excelente biocompatibilidad debido a su baja antigenicidad y a su degradación fisiológica mediada por enzimas y células inflamatorias.

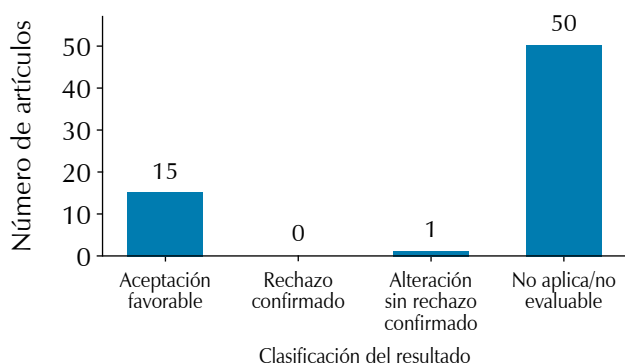


Figura 6: Nivel de aceptación y rechazo. La ausencia de rechazos confirmados no significa que el riesgo de rechazo sea inexistente. Más bien, refleja que la mayoría de los estudios no evaluó o no reportó esta variable de manera específica.

Asimismo, Mizraji y colaboradores²² concluyeron que la respuesta inflamatoria observada durante la degradación del colágeno corresponde a un proceso fisiológico de remodelación tisular y no debe interpretarse como rechazo inmunológico, siempre que no existan signos clínicos de infección o pérdida del injerto.

Aunque únicamente un estudio de la presente revisión informó persistencia parcial del material durante el seguimiento, este hallazgo no puede considerarse evidencia de rechazo del biomaterial. Zhang y su equipo,^{24,25} mediante una revisión sistemática y metaanálisis, demostraron que la velocidad de degradación de las membranas depende principalmente de su composición, espesor y grado de entrecruzamiento. Los autores observaron que las membranas entrecruzadas presentan una degradación más lenta y mayor estabilidad mecánica, mientras que las membranas no entrecruzadas muestran una absorción más rápida, sin diferencias significativas en los resultados regenerativos finales. De forma similar, Zhou y colaboradores²³ concluyeron que las diferencias clínicas entre las membranas biodegradables están relacionadas principalmente con sus propiedades físicas y no con diferencias en su biocompatibilidad.

Finalmente, los resultados obtenidos respaldan que las membranas de colágeno continúan siendo el biomaterial de referencia para la regeneración periodontal y la regeneración ósea guiada. Sin embargo, Calciolari y colaboradores²⁶ en un metaanálisis en red, señalaron que el éxito clínico de los procedimientos regenerativos depende de múltiples factores, entre ellos el biomaterial de relleno utilizado, la estabilidad del coágulo, el manejo de los tejidos blandos, el tamaño del defecto y la técnica quirúrgica, más que del tipo específico de membrana empleada. En consecuencia, aunque la evidencia científica confirma la seguridad y eficacia de las membranas de colágeno, la heterogeneidad observada entre los estudios incluidos en la presente revisión limita la posibilidad de establecer la superioridad clínica de una membrana específica sobre otra. Futuras investigaciones deberán estandarizar la descripción del origen biológico de las membranas, los métodos de procesamiento, el tiempo real de degradación y la evaluación de la respuesta inmunológica, con el propósito de generar evidencia más robusta que permita optimizar su selección clínica.

CONCLUSIONES

La evolución histórica del uso de las membranas biológicas de colágeno en odontología evidencia cómo estos biomateriales han pasado de ser barreras, utilizadas prin-

cipalmente en regeneración periodontal, a convertirse en componentes fundamentales de los procedimientos de regeneración ósea guiada e implantología contemporánea. El análisis cronológico de la literatura permitió identificar las principales líneas de investigación, así como los cambios en las indicaciones clínicas y en el desarrollo tecnológico de las membranas durante más de seis décadas.

La revisión también permitió establecer que la evidencia científica publicada en América del Norte se encuentra sustentada principalmente en investigaciones originales, lo que demuestra el interés continuo por optimizar las propiedades biológicas y mecánicas de las membranas de colágeno. Sin embargo, la información disponible continúa siendo heterogénea, tanto en la descripción de los biomateriales como en las metodologías empleadas, lo que limita la comparación objetiva entre estudios.

Uno de los principales aportes de esta investigación fue identificar importantes vacíos de información en la literatura científica. Un elevado porcentaje de los artículos revisados no especifica el origen biológico de las membranas utilizadas ni evalúa de forma sistemática variables relacionadas con la respuesta inmunológica, el rechazo, la biodegradación o el tiempo real de permanencia del biomaterial. Estas omisiones dificultan la interpretación integral de la evidencia y representan áreas prioritarias para futuras investigaciones.

Los resultados obtenidos confirman que las membranas de colágeno presentan un comportamiento biológico favorable y continúan siendo biomateriales ampliamente aceptados para procedimientos de regeneración periodontal y regeneración ósea guiada. No obstante, la ausencia de reportes de rechazo inmunológico debe interpretarse con cautela, ya que la mayoría de los estudios no evaluaron esta variable en específico, lo que no representa evidencia definitiva de su inexistencia.

REFERENCIAS

1. Nyman S, Lindhe J, Karring T, Rylander H. New attachment following surgical treatment of human periodontal disease. *J Clin Periodontol*. 1982; 9 (4): 290-296.
2. Nyman S, Gottlow J, Lindhe J, Karring T, Wennström J. New attachment formation by guided tissue regeneration. *J Periodontol Res*. 1987; 22 (3): 252-254.
3. Dahlin C, Linde A, Gottlow J, Nyman S. Healing of bone defects by guided tissue regeneration. *Plast Reconstr Surg*. 1988; 81 (5): 672-676.
4. Quteish D, Dolby AE. The use of irradiated cross-linked human collagen membrane in guided tissue regeneration. *J Clin Periodontol*. 1992; 19 (7): 476-484.
5. Garrett S. Periodontal regeneration around natural teeth. *Ann Periodontol*. 1996; 1 (1): 621-666.

6. Garrett S. Specific issues in clinical trials on the use of barrier membranes in periodontal regeneration. *Ann Periodontol*. 1997; 2 (1): 240-258.
7. Buser D, Dula K, Hess D, Hirt HP, Belser UC. Localized ridge augmentation with autografts and barrier membranes. *Periodontol* 2000. 1999; 19: 151-163.
8. Wang HL, Carroll WJ. Using absorbable collagen membranes for guided tissue regeneration, guided bone regeneration, and treatment of gingival recession. *Compend Contin Educ Dent*. 2000; 21 (5): 399-406.
9. Bunyaratavej P, Wang HL. Collagen membranes: a review. *J Periodontol*. 2001; 72 (2): 215-229.
10. Rothamel D, Benner M, Fienitz T, Happe A, Kreppel M, Nickenig HJ et al. Biodegradation pattern and tissue integration of native and cross-linked porcine collagen soft tissue augmentation matrices - an experimental study in the rat. *Head Face Med*. 2014; 10: 10.
11. Sam G, Pillai BR. Evolution of barrier membranes in periodontal regeneration- "Are the third Generation Membranes really here?". *J Clin Diagn Res*. 2014; 8 (12): ZE14-ZE17.
12. Sheikh Z, Qureshi J, Alshahrani AM, Nassar H, Ikeda Y, Glogauer M, Ganss B. Collagen based barrier membranes for periodontal guided bone regeneration applications. *Odontology*. 2017; 105 (1): 1-12.
13. Wang HL, Modarressi M, Fu JH. Utilizing collagen membranes for guided tissue regeneration-based root coverage. *Periodontol* 2000. 2012; 59 (1): 140-157.
14. Urban IA, Monje A, Lozada J, Wang HL. Principles for vertical ridge augmentation in the atrophic posterior mandible: a technical review. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2017; 37 (5): 639-645. doi: 10.11607/prd.3200.
15. Sbricoli L, Guazzo R, Annunziata M, Gobbato L, Bressan E, Natri L. Selection of collagen membranes for bone regeneration: a literature review. *Materials (Basel)*. 2020; 13 (3): 786.
16. Elgali I, Omar O, Dahlin C, Thomsen P. Guided bone regeneration: materials and biological mechanisms revisited. *Eur J Oral Sci*. 2017; 125 (5): 315-337.
17. Sbricoli L, Guazzo R, Annunziata M, Gobbato L, Bressan E, Natri L. Selection of collagen membranes for bone regeneration: a literature review. *materials (Basel)*. 2020; 13 (3): 786. doi: 10.3390/ma13030786.
18. Sculean A, Stavropoulos A, Windisch P, Keglevich T, Karring T, Gera I. Healing of human intrabony defects following regenerative periodontal therapy with a bovine-derived collagen membrane. *Clin Oral Investig*. 2004; 8 (2): 70-74.
19. Retzepi M, Donos N. Guided bone regeneration: biological principle and therapeutic applications. *Clin Oral Implants Res*. 2010; 21 (6): 567-576.
20. Bornstein MM, Bosshardt DD, Buser D. Effect of barrier membranes on bone regeneration and implant therapy: current concepts and future perspectives. *Clin Oral Implants Res*. 2019; 30 (Suppl 20): 1-15.
21. Ren Y, Fan L, Alkildani S, Liu L, Emmert S, Najman S et al. Barrier membranes for guided bone regeneration (GBR): a focus on recent advances in collagen membranes. *Int J Mol Sci*. 2022; 23 (23): 14987. doi: 10.3390/ijms232314987.
22. Mizraji G, Davidzohn A, Gursoy M, Gursoy U, Shapira L, Wilensky A. Membrane barriers for guided bone regeneration: an overview of available biomaterials. *Periodontol* 2000. 2023; 93 (1): 56-76. doi: 10.1111/prd.12502.
23. Zhou Z, Yun J, Li J, Chen Y, Duan T, Wang L et al. Comparison of the efficacy of different biodegradable membranes in guided bone/tissue regeneration: a systematic review and network meta-analysis. *Biomed Mater*. 2023; 18 (3). doi: 10.1088/1748-605X/acc99a.
24. Jiménez GJ, Berghezan S, Carames J, Dard MM, Marques DNS. Effect of cross-linked vs non-cross-linked collagen membranes on bone: a systematic review. *J Periodontol Res*. 2017; 52 (6): 955-964. doi: 10.1111/jre.12470.
25. Zhang M, Zhou Z, Yun J, Liu R, Li J, Chen Y et al. Effect of different membranes on vertical bone regeneration: a systematic review and network meta-analysis. *Biomed Res Int*. 2022; 2022: 7742687. doi: 10.1155/2022/7742687.
26. Calciolari E, Corbella S, Gkraniats N, Viganó M, Sculean A, Donos N. Efficacy of biomaterials for lateral bone augmentation performed with guided bone regeneration: a network meta-analysis. *Periodontol* 2000. 2023; 93 (1): 77-106. doi: 10.1111/prd.12531.

Conflicto de intereses: ninguno.

Aspectos éticos: ninguno.

Financiamiento: autofinanciado.

Correspondencia:

Cristóbal Landa Román

E-mail: clr_31@hotmail.com

Uso de células madre para la regeneración pulpar.

Use of stem cells for pulp regeneration.

Heidi Silvana Araujo-Freire,*[‡] María Elizabeth Moscoso-Abad*[§]

RESUMEN

Introducción: la regeneración de la pulpa dental mediante el uso de células madre busca la preservación de los órganos dentarios en boca y en algunos casos continuar con el proceso de rizogénesis, el cierre apical o al engrosamiento de las paredes internas de la raíz. Las fuentes abundantes de células madre conocidas son piel, médula ósea, retina y células de origen dental. **Objetivo:** exponer el uso de células madre para la regeneración pulpar. **Material y métodos:** se realizó una búsqueda de información relevante del uso de células madre en odontología en bases de datos como Medigraphic, SciELO, PubMed, Elsevier y libros digitales, aplicando criterios de inclusión y exclusión. **Resultados:** se obtuvieron 43 fuentes bibliográficas, evidenciando que los estudios in vivo e in vitro recomiendan el uso de células de la pulpa dental (DPSC), células madre de los dientes deciduos humanos exfoliados (SHED) y células madre de la papila apical (SCAP) para la regeneración pulpar. **Conclusión:** se concluyó que, en endodoncia para la regeneración pulpar, se recomiendan las células madre provenientes de dientes primarios o terceros molares vitales, que son una fuente abundante de DPSC, SHED y SCAP, generando un tejido de tipo conjuntivo abundante en células con alta capacidad proliferativa.

Palabras clave: células madre, regeneración, pulpa dental, endodoncia.

ABSTRACT

Introduction: regeneration of the dental pulp through the use of stem cells, awaits the preservation of the teeth and in some cases continue with the process of rhizogenesis, apical closure or make internal root tissues. The abundant sources of known stem cells are skin, bone marrow, retina and cells of dental origin. **Objective:** to expose what refers to the use of stem cells for pulp regeneration. **Material and methods:** a search for relevant information on the use of stem cells in dentistry was carried out in databases such as Medigraphic, SciELO, PubMed, Elsevier and digital books, applying inclusion and exclusion criteria. **Results:** 43 bibliographic sources were obtained, showing that in vivo and in vitro studies recommend the use of dental pulp cells (DPSC), stem cells from exfoliated human deciduous teeth (SHED) and apical papilla stem cells (SCAP) for pulp regeneration. **Conclusion:** it was concluded that, in endodontics for pulp regeneration, stem cells from vital primary teeth or third molars are recommended, which are an abundant source of DPSC, SHED and SCAP, generating a connective tissue type abundant in cells with high capacity proliferative.

Keywords: stem cells, regeneration, dental pulp, endodontics.

Abreviaturas:

CMAMM = células madre mesenquimales de la médula ósea
DPSC = células de la pulpa dental
ERM = restos de células epiteliales de Malassez
HMSC = células madre mesenquimales gingivales
MDPSC = células madre multipotentes de la papila dental
MSC = células madre mesenquimales
PDLSC = células madre del ligamento periodontal humano
SCAP = células madre de la papila apical
SHED = células madre de los dientes deciduos humanos exfoliados

* Facultad de Odontología de la Universidad Católica de Cuenca. Ecuador.

[‡] Estudiante.

[§] Especialista en Endodoncia. Docente.

Recibido: 30 de marzo de 2021. Aceptado: 08 de julio de 2026.

Citar como: Araujo-Freire HS, Moscoso-Abad ME. Uso de células madre para la regeneración pulpar. Rev ADM. 2026; 83 (4): 248-254.
<https://dx.doi.org/10.35366/124049>

INTRODUCCIÓN

La destrucción dental se puede efectuar por varios factores, incluyendo traumatismos y caries. La Organización Mundial de la Salud define la caries como el trastorno de salud bucodental más frecuente a nivel mundial. Se caracteriza por desencadenar afecciones dentales que involucran una microbiota abundante y mixta, dentro de



la cual predomina la presencia de bacilos Gram negativos, cocos Gram negativos y cocos Gram positivos.^{1,2}

La invasión microbiana en la pulpa dental provoca su afección parcial o completa, desencadenando una patología pulpar; esta enfermedad, por su progreso y expansión, afecta además a los tejidos periapicales, lo que conlleva evitar que algunos órganos dentarios terminen su formación, teniendo una rizogénesis incompleta.³ La pulpa dental, al ser un tejido altamente vascularizado a pesar de estar rodeado por un compuesto dental duro, no está exenta de ser afectada; si no se aplica un tratamiento oportuno, esto podría provocar su deterioro hasta llevar a una necrosis pulpar.⁴

Los tratamientos convencionales usados en el área endodóntica se aplican después de la valoración clínica y el diagnóstico correcto; en general, se han clasificado en retratamiento endodóntico, pulpotomía y pulpectomía (según el estado pulpar, se subclasifica a su vez en biopulpectomía y necropulpectomía).⁵ Sin embargo, actualmente se ha implementado la ingeniería de tejidos para investigar varias alternativas para la reparación pulpar en piezas dentales permanentes con potencial regenerativo, donde se incluye una nueva sección en endodoncia para la reparación pulpar.

La medicina regenerativa está estrechamente relacionada con la ingeniería de tejidos y se refiere a la capacidad de autocuración del cuerpo humano, al usar la combinación de sus propias células para su recuperación; de aquí se deriva la endodoncia regenerativa, que comprende la intervención biológica con un enfoque basado en el uso de células madre para el reemplazo de los tejidos dentales que se encuentren dañados, incluyendo el complejo pulpodentinario, lográndose de esta forma restituir los tejidos dentales dañados. Algunos de los beneficios que brinda esta innovación en odontología es la estimulación para reparar porciones radiculares, favoreciendo el crecimiento longitudinal y el estrechamiento del foramen apical, así como el proceso de rizogénesis que se pudo ver afectado por los motivos antes mencionados.^{6,7}

Las células madre especializadas son capaces de regenerar tejido dañado; su importancia radica en que incluso ayudan a sustituir aquellas células atrofiadas o muertas.⁸ En odontología, estas células aportan al desarrollo de la dentición que, por sus características adiposas y angiogénicas, son capaces de generar sangre funcional y dar paso a la regeneración pulpar.⁹

El objetivo de esta revisión de la literatura es exponer el uso de células madre para la regeneración pulpar. Se toman en cuenta las características principales, origen y aplicación de las células madre en odontología.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó una búsqueda bibliográfica basada en información relevante respecto al uso de células madre en odontología, mediante diversas bases de datos como SciELO, PubMed, Elsevier, Medigraphic y Google Books. Para la búsqueda manual, se emplearon palabras clave mediante la plataforma DeCS, usando términos como «células madre», «regeneración», «pulpa dental» y «endodoncia»; se analizaron los resúmenes de cada artículo para verificar que aporten información para el tema en desarrollo. Se excluyeron fuentes de información con datos sin sustento científico, datos incompletos y aquellas que presentaban incoherencias en su redacción. Tomando en cuenta estos criterios de inclusión y exclusión, se obtuvo un total de 43 fuentes bibliográficas.

RESULTADOS

Las 43 fuentes bibliográficas consultadas aportan información importante referente a las alternativas de tratamiento de los tejidos orales y la innovación más actual en el área endodóntica. Las células madre más apropiadas para la regeneración pulpar, de acuerdo con la evidencia científica, son las células de la pulpa dental (DPSC), las células madre de los dientes deciduos humanos exfoliados (SHED) y las células madre de la papila apical (SCAP).

La pulpa dental

La pulpa dental brinda la vitalidad requerida a los órganos dentarios, originada del tejido conjuntivo compuesto por fibroblastos, odontoblastos, fibras reticulares, nerviosas, colágenas y elásticas, macrófagos, así como gran cantidad de vasos sanguíneos que aportan a la revascularización de la dentina adyacente; además, la pulpa es una fuente rica en células madre mesenquimales, con alto potencial criopreservante y conservativo.¹⁰

Endodoncia regenerativa

Las células, andamios y factores de crecimiento son los tres componentes fundamentales de la ingeniería de tejidos para dar paso a la endodoncia regenerativa. En este artículo se hace énfasis en las células madre empleadas en la regeneración pulpar y que favorece los órganos dentales tratados.

Debido a la implementación de técnicas moleculares y celulares avanzadas, se ha propuesto el nombre de «reparación endodóntica guiada». Sin embargo, se continúa

usando acertadamente el término «endodoncia regenerativa», debido a que el proceso incluye la regeneración completa de los tejidos perdidos, con sus constituyentes, morfología, función y marcadores moleculares.¹¹

Después de varios estudios, la endodoncia regenerativa ha llegado a tener un valor importante en la investigación científica y en algunas aplicaciones clínicas, involucrando procesos fisiológicos y sucesos que monitorean la normalidad, estructura y comportamiento biológico de los tejidos, específicamente de la pulpa dental. Además, esta área se encarga del proceso de aislamiento de las células madre para su posterior aplicación minuciosa, evitando así cualquier problema que se podría presentar con respecto a la aceptación o rechazo inmunológico por la idiosincrasia de cada paciente.^{12,13}

Por otra parte, en lo referente a los estímulos se puede mencionar que, en dosis relativamente bajas en el área afectada, en etapas tempranas, se producirán de forma espontánea respuestas regenerativas; en cambio, si estos estímulos son más intensos, se inhibirá la regeneración. Es muy interesante conocer que, frente a niveles bajos de inflamación de la pulpa dental, las respuestas de reparación se pueden aprovechar como un regenerador de una barrera física de tejido dental.¹⁴

Células madre

Las células madre influyen en la regeneración pulpar de forma que aportan a la restauración de los tejidos dañados mediante la generación y convergencia con un tejido calcificado y especializado que corresponda a componentes y características similares a los de la pulpa dental.¹⁵

Para la regeneración de tejidos dentales, se podrían utilizar diversos tipos de células epiteliales y mesenquimales, aunque en varios estudios se nota que las de tipo mesenquimal son las prevalentes. De igual manera, se han estudiado las células epiteliales odontogénicas provenientes de la lámina dental activa durante el periodo posnatal, siendo estas posibles fuentes ocultas pero abundantes de células madre epiteliales odontogénicas. Por esta razón, las células madre odontogénicas fueron tomadas en el área de bioingeniería para su posterior aplicación en la creación de órganos dentales inespecíficos, en periodos largos de tiempo. Recientemente se ha demostrado que las células epiteliales y mesenquimales de cultivo primario contienen una población de células madre primitivas, las cuales refieren marcadores para los dos tipos.¹⁶

La obtención de células madre se realiza mediante un procedimiento directo de aspiración, procesamiento, centrifugado y cultivo celular. Una fuente abundante de

células madre empleada en odontología son los tejidos del organismo vivo, donde se incluyen la piel, la médula ósea, la retina y células de origen dental.

Clasificación de las células madre

Las células madre tienen la capacidad de autorrenovarse y son capaces de producir otro tipo de células especializadas. Se pueden clasificar dependiendo del origen y por el nivel y potencial de diferenciación (Tabla 1).¹⁷

Ventajas en odontología

El trasplante de células madre odontogénicas es un concepto prometedor en la terapia regenerativa dental en conjunto con la ingeniería de tejidos, el cual permite restaurar la pérdida parcial de la función dental.¹⁸ De hecho, los tejidos faciales y orales son una fuente potencial de células madre con interés clínico en odontología; los profesionales deben tener en cuenta la posibilidad de adquirir células madre durante los tratamientos dentales de dientes deciduos, terceros molares, encías, etcétera.¹⁹

De los artículos revisados, las células madre de origen oral pertenecen al tipo de células madre mesenquimales. Se clasifican, según su origen, en adultas, y según su nivel y potencial de diferenciación, en pluripotenciales.

Además, existen varios tipos de células madre empleadas en odontología, las cuales se dividen según la región específica de origen, siendo la clasificación más conocida y empleada actualmente. En la Tabla 2 se menciona la abreviatura característica de cada tipo de células madre según su autor correspondiente.

Las células empleadas con mayor frecuencia en odontología son las células de la pulpa dental (DPSC), de las cuales Kim y asociados realizaron un estudio in vivo en un incisivo animal perteneciente a una rata, demostrando que estas células formaron dentina globular y tejido similar

Tabla 1: Clasificación general de las células madre.

Por el origen
Embrionarias
Adultas
Por el nivel y potencial de diferenciación
Multipotenciales
Unipotenciales
Totipotenciales
Pluripotenciales

Tabla 2: Estudios *in vivo* e *in vitro* según la clasificación de las células madre de uso y aplicación odontológica.

Autor	Tipo de estudio	Abreviatura celular	Nombre completo de las células madre	Capacidad
Kim K et al ²⁰	<i>In vivo</i>	DPSC	Células madre de la pulpa dental	Producir material similar a dentina y alta capacidad proliferativa para regenerar tejido similar a la pulpa dental
Kunimatsu R et al ²¹	<i>In vitro</i>	SHED	Células madre de los dientes deciduos humanos exfoliados	Pueden generar pulpa, dentina y tejido óseo especializado. Tienen buena capacidad proliferativa
Sonoyama et al ²²	<i>In vivo</i>	SCAP	Células madre de la papila apical	Son precursoras de genes y proteínas de la dentina radicular, pulpa dental y formación de nódulos mineralizados para reparar y calcificar tejidos duros
Hong H et al ²³	<i>In vivo/ in vitro</i>	DFSC	Células madre del folículo dental	Atenuación de inflamación pulpar. Desencadenan células similares a los odontoblastos. Proporcionan la reparación de la pulpa dental inflamada
Sano K et al ²⁴	<i>In vitro</i> e <i>in vivo</i>	PDLSC	Células madre del ligamento periodontal	Potencial de diferenciarse y aportan en la formación de nuevo cemento y hueso
Brizuela C et al ²⁵	<i>In vitro</i>	GMSC	Células madre mesenquimales gingivales	Inducen la formación de fibroblastos. Capaces de diferenciarse en osteocitos, condrocitos y adipocitos
Ponnaiyan D y Jegadeesan V ²⁶	<i>In vitro</i>	CMAMM	Células madre mesenquimales de la médula ósea	Buena supervivencia tras ser implantadas en otros tejidos, pero menor proliferación que las DPSC
Najafi S et al ²⁷	<i>In vivo</i>	SGSC	Células madre derivadas de glándulas salivales	Regeneración de glándulas salivales. Bajo potencial proliferativo
Ceccarelli G et al ²⁹	<i>In vitro</i>	PSC	Células madre derivadas del periostio	Regeneración de tejidos periodontales, actividad proliferativa, linaje osteoblástico

a la pulpa.²⁰ Mientras que Kunimatsu y colaboradores realizaron una selección *in vitro*, mediante el aislamiento de SHED y DPSC; analizaron la capacidad proliferativa, observando alto potencial proliferativo y una expresión significativamente mayor de crecimiento de fibroblastos en SHED; por estas capacidades, concluyeron que es una fuente de células útil para su aplicación en tratamientos de regeneración dentino-pulpar.²¹

En el estudio *in vivo* realizado por Sonoyama y su equipo introdujeron exosomas de SCAP derivados de terceros molares impactados de pacientes jóvenes; estas células fueron aplicadas en fragmentos de raíz de premolares clínicamente sanos, extraídos por motivos de ortodoncia. Estos fragmentos fueron introducidos por vía subcutánea en la espalda de ratones inmunodeficientes para su preservación; 12 semanas después, se extrajeron los fragmentos para su análisis histológico y se pudo de-

terminar que estas células eran precursoras de genes y de tejidos parecidos a la dentina radicular y la pulpa dental.²²

Cabe destacar además el estudio *in vivo* de Hong y asociados, donde evaluaron mediante tinción los efectos de las DPSC (*Dental Pulp Stem Cells*) sobre la pulpa dental inflamada perteneciente a ratas, obteniendo células similares a odontoblastos alrededor del sitio lesionado, lo que propició la reparación de la pulpa dental inflamada.²³

Sano y colaboradores realizaron un estudio *in vivo* e *in vitro*; primero aislaron las células madre del ligamento periodontal humano (PDLSC), para posteriormente trasplantarlas en algunos defectos periodontales de furca en primeros molares superiores de ratas con el objetivo de obtener características y potencial de regeneración del tejido periodontal; en consecuencia, descubrieron que se mejoró la formación de hueso y cemento nuevo después de 4-8 semanas del procedimiento.²⁴

Brizuela y su equipo efectuaron un análisis de proliferación celular MTT con muestras de tejido conjuntivo gingival de donantes sanos. Demostraron que las células madre mesenquimales gingivales (GMSC) tienen un alto potencial proliferativo, mostrando morfología fibroblastoide, además de diferenciación entre osteocitos, condrocitos y adipocitos.²⁵

Ponnaiyan y Jegadeesan aislaron dos tipos de células DPSC y células madre mesenquimales de la médula ósea (CMAMM) mediante un análisis *in vitro* para la comparación de su potencial clonogénico, características de crecimiento, multipotencia y expresión de marcadores de células madre, concluyendo que las células madre mesenquimales de la médula ósea tienen menor capacidad proliferativa que las DPSC.²⁶

Najafi y asociados utilizaron células madre de glándulas salivales de 21 ratas Sprague-Dawley, que se dividieron en tres grupos al azar. Dos semanas después del trasplante se observó el potencial y eficacia de las células madre mesenquimales (MSC), con beneficios terapéuticos en el tratamiento de glándulas salivales atrofiadas y necróticas.^{27,28}

Ceccarelli y colaboradores, en un estudio *in vitro*, aislaron células periósticas de pacientes de diferentes edades, demostrando que las DPSC, independientemente del origen y edad del paciente, son células madre con características de actividad proliferativa que adoptan un tipo de células del linaje osteoblástico. Para complementar esta afirmación, después de realizar un metaanálisis de estudios *in vivo* e *in vitro*, determinaron que las células mesenquimales, entre ellas las células madre derivadas del periostio, son empleadas en la regeneración de tejidos periodontales.^{29,30}

Aplicación de las células madre para regeneración pulpar

La regeneración pulpar mediante el uso de células madre tiene como principal objetivo la preservación de los órganos dentarios en boca. Esta terapia regenerativa consiste en eliminar la pulpa dental cuando son mínimas proporciones que se encuentran con necrosis o sin capacidad de funcionalidad, con el fin de preservar sólo la pulpa que tenga capacidad regenerativa y colocar células madre para, de esta manera, lograr continuar con el proceso de rizogénesis, el cierre apical (en algunos casos) y la formación de tejidos adyacentes.^{31,32} La aplicación de células mesenquimales es la principal opción por su capacidad de autorrenovación y de diferenciación, dependiendo del tejido que lo requiera. Se ha reportado

con gran impacto el uso de células madre de la pulpa dental (DPSC) y células madre de los dientes deciduos humanos exfoliados (SHED).^{33,34}

Para lograr la regeneración efectiva de tejidos es recomendable extraer las células madre de órganos similares a los que pretenden ser tratados. Coa Serrano realizó un estudio en 24 pacientes sanos a los que extrajo células madre *in vivo* de terceros molares superiores y las aplicó en los premolares inferiores que tenían extracción indicada. Al finalizar su estudio, la investigadora encontró la regeneración del tejido pulpar y dentinario, por lo que se puede afirmar que existe mayor efectividad de la terapia pulpar cuando las células madre son de origen dental.³⁵

Por otra parte, una opción de preparación y aplicación de las células madre para la regeneración pulpar es el estudio *in vitro* realizado por y asociados. Estos autores usaron una construcción 3D de células madre de la pulpa dental DPSC en forma de lámina y, mediante un procedimiento *in vivo*, las colocaron en el conducto radicular de fragmentos de incisivos superiores; posteriormente se insertaron los fragmentos de raíz por vía subcutánea en ratones inmunodeficientes, con lo cual se logró la formación de tejidos similares a la pulpa con vasos sanguíneos ricos, sin necesidad de andamios ni factores de crecimiento.³⁶

Además, es importante reconocer que mediante la revascularización pulpar se podría promover la regeneración de los tejidos dentales, dando paso a una posible revitalización, permitiendo que el diente continúe su desarrollo; un ejemplo de esto es el proceso de rizogénesis.³⁷ El tejido obtenido en la regeneración pulpar debería brindar características de funcionalidad, estabilidad y aceptabilidad del organismo para obtener el éxito de la terapia regenerativa mediante el uso de células madre.³⁸

DISCUSIÓN

Existen varios estudios que aprueban el uso de células madre para la regeneración pulpar, pero no siempre coinciden en el tipo de célula madre a utilizar. Iniciando con el estudio de Barzuna y su colega, quienes demostraron el potencial de regeneración, diferenciación y capacidad de respuesta de las células madre, logrando la formación radicular de un diente observado radiográficamente.³⁹ Por otro lado, Tsunematsu y colaboradores usaron las células epiteliales odontogénicas humanas de los restos epiteliales de Malassez (ERM) trasplantadas a ratones inmunodeprimidos y comprobaron que esta población celular tiene una capacidad de diferenciación para producir calcificaciones y gran actividad de mineralización;¹⁶ sin embargo, no existe mayor evidencia científica relacionada con esta

temática. Mientras que, según Widbiller y asociados, la tasa de supervivencia de las SCAP se ve afectada por la clorhexidina, con efectos de toxicidad.⁴⁰ De tal forma que se podría poner en discusión el uso de este tipo de células, ya que su resultado puede ser modificable.

Por su parte, Chen H y su equipo usaron un grupo de células madre multipotentes de la papila dental (MDPSC) de ratones, observando la formación de un grupo de células desconocidas con marcadores moleculares definidos para el tratamiento de pulpitis y necrosis pulpar.⁴¹

Mientras que Kushnereva y asociados evaluaron los marcadores de dos tipos de células madre mesenquimales, demostrando que existía igualdad de capacidad regenerativa entre SHED y DPSC obtenidas de un solo donador, pero de diferente tejido. Como resultado, tanto los dientes primarios retenidos en adultos como la pulpa dental adulta de terceros molares son una fuente alternativa muy rica en células madre, para su posterior uso en la regeneración de tejidos dentales.⁴²

CONCLUSIÓN

Gracias a su potencial de diferenciación, las células madre en ingeniería tisular aportan directamente al área de endodoncia para la regeneración pulpar. Se recomiendan las células madre provenientes de órganos dentales primarios o terceros molares vitales, al ser una fuente abundante de DPSC, SHED y SCAP; tras su frecuente aplicación, se genera un tejido de tipo conjuntivo abundante en células con alta capacidad proliferativa. Con el transcurso del tiempo, esta terapia regenerativa ha logrado avances en la conservación de los órganos dentales debido a que, además de regenerar tejido similar al pulpar, también contribuye a la elaboración de tejido dentinario, óseo y odontoblástico, además de ayudar a completar el proceso de la rizogénesis o apexificación. Se espera que en aportes científicos próximos se logre una diferenciación más apropiada para la elaboración de un órgano dentario específico en seres humanos en un periodo de tiempo corto.

REFERENCIAS

- Organización Mundial de la Salud. Salud bucodental [Internet]. Ginebra: Organización Mundial de la Salud; 2020. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/oral-health>
- Mendiburu Zavala CEPS, Arce Cen DJ, Medina-Peralta S, Carrillo Mendiburu J. Prevalencia de enfermedades pulpaes o periapicales como factores de riesgo de la uveítis secundaria. *Rev Odont Mex*. 2016; 20 (1): 22-28.
- Castro N, Álvarez D, Lima M. Caracterización de patologías pulpaes de pacientes atendidos en el área de endodoncia de una clínica docente de Cuenca-Ecuador. *Reportaendo*. 2020; 7 (1): 3-9.
- Flores X, Ayón E. Efecto comparativo del método de fractura mecánica y el método de corte en la viabilidad de las células de la pulpa dental humana a las 24 horas postexodoncia. *Rev Esp Cir Oral Maxilofac*. 2019; 41 (4): 189-193.
- Hargreaves KM, Berman LH, editores. Cohen. Vías de la pulpa. 11a ed. Barcelona: Elsevier; 2016.
- Roldán S, Vargas C, Mejía M, Zapata J, Moncada M. Ingeniería de tejidos y aplicaciones. Medellín: Fondo Editorial; 2016. p. 9-13.
- Canalda C, Brau E. Endodoncia: técnicas clínicas y bases científicas. 4a ed. Barcelona: Elsevier; 2019.
- García Y, González R, Rangel F, Torres V. Células madre como tratamiento regenerativo. *Rev Salud VIVE*. 2019; 2 (6): 134-143.
- Guadarrama O, Guadarrama L, Robles N. Aplicaciones odontológicas de las células madre pulpaes de dientes temporales y permanentes: revisión de estudios *in vivo*. *Rev ADM*. 2018; 75 (3): 127-134.
- Mortada I, Mortada R, Al Bazzal M. Dental pulp stem cells and neurogenesis. *Adv Exp Med Biol*. 2018; 1083: 63-75.
- Diogenes A, Ruparel NB, Shiloah Y, Hargreaves KM. Regenerative endodontics. *J Am Dent Assoc*. 2016; 147 (5): 372-380.
- Smith AJ, Cooper PR. Regenerative endodontics: burning questions. *J Endod*. 2017; 43 (9 Suppl): S1-S6.
- Dhillon H, Kaushik M, Sharma R. Regenerative endodontics—creating new horizons. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2016; 104 (4): 676-685.
- Cooper PR, Chicca IJ, Holder MJ, Milward MR. Inflammation and regeneration in the dentin-pulp complex: net gain or net loss? *J Endod*. 2017; 43 (9 Suppl): S87-S94.
- Alvarez D, Vélez E, Bastidas M, Zmener O. Materiales de protección de la pulpa dental expuesta. *Canal Abierto Rev Soc Endod Chile*. 2017; (35): 34-44.
- Tsunematsu T, Fujiwara N, Yoshida M, Takayama Y, Kujiraoka S, Qi G et al. Human odontogenic epithelial cells derived from epithelial rests of Malassez possess stem cell properties. *Lab Invest*. 2016; 96 (10): 1063-1075.
- Villa L, Flores F, Santibáñez L. Células madre de la pulpa dental (DPSC): prospectivas terapéuticas en enfermedades crónicas degenerativas. *Salud Jalisco*. 2017; 4 (3): 168-177.
- Ahmed GM, Abouauf EA, AbuBakr N, Dorfer CE, El-Sayed KF. Tissue engineering approaches for enamel, dentin, and pulp regeneration: an update. *Stem Cells Int*. 2020; 2020: 5734539.
- Gomes A, Maghaireh H, Mangano F. Stem cells in dentistry: types of intra- and extraoral tissue-derived stem cells and clinical applications. *Stem Cells Int*. 2018; 2018: 1-14.
- Kim K, Yassen GH, Ehrlich Y, Spolnik K, Platt JA, Windsor LJ. The effects of radicular dentine treated with double antibiotic paste and ethylenediaminetetraacetic acid on the attachment and proliferation of dental pulp stem cells. *Dent Traumatol*. 2015; 31 (5): 374-379.
- Kunimatsu R, Nakajima K, Awada T, Tsuka Y, Abe T, Ando K et al. Comparative characterization of stem cells from human exfoliated deciduous teeth, dental pulp, and bone marrow-derived mesenchymal stem cells. *Biochem Biophys Res Commun*. 2018; 501 (1): 1-6.
- Sonoyama W, Liu Y, Yamaza T, Tuan RS, Wang S, Shi S, et al. Characterization of the apical papilla and its residing stem cells from human immature permanent teeth: a pilot study, *Journal of Endodontics*. 2008; 34(2): 166-171.
- Hong H, Chen X, Li K, Wang N, Li M, Yang B et al. Dental follicle stem cells rescue the regenerative capacity of inflamed rat dental pulp through a paracrine pathway. *Stem Cell Res Ther*. 2020; 11: 333.

24. Sano K, Usui M, Moritani Y, Nakazawa K, Hanatani T, Kondo H et al. Co-cultured spheroids of human periodontal ligament mesenchymal stem cells and vascular endothelial cells enhance periodontal tissue regeneration. *Av Periodon Implantol.* 2020; 32 (2): 59-71.
25. Brizuela C, SaintJean N, Garchitorena N, Rodríguez I, Inostroza C. MatrigelBD, a biocompatible scaffold that improves gingival mesenchymal stem cell proliferation. *Int J Morphol.* 2016; 34 (2): 692-698.
26. Ponnaiyan D, Jegadeesan V. Comparison of phenotype and differentiation marker gene expression profiles in human dental pulp and bone marrow mesenchymal stem cells. *Eur J Dent.* 2014; 8 (3): 307-313.
27. Najafi S, Nosrati H, Faraji Z, Mohamadnia A, Shirian S, Mortazavi S et al. Reconstruction of necrotic submandibular salivary gland using mesenchymal stem cells. *Heliyon.* 2020; 6 (10): e05238.
28. Ocampo J, Olate S, Haidar Z, Vásquez B. Hiposialia y xerostomía post irradiación: terapias innovadoras en el campo biomolecular. *Int J Morphol.* 2019; 37 (4): 1564-1571.
29. Ceccarelli G, Graziano A, Benedetti L, Imbriani M, Romano F, Ferrarotti F et al. Osteogenic potential of human oral-periosteal cells isolated from different oral origin: an *in vitro* study. *J Cell Physiol.* 2016; 231 (3): 607-612.
30. Intriago R, Álvarez J. Elaboración de un biodiente: enfoque actual y desafíos. *Univ Odontol.* 2018; 37: 1-9.
31. Kulakov AA, Goldshtein DV, Krechina EK, Bukharova TB, Volkov AV, Gadzhiev AN. Regeneration of dental pulp tissue using autologous mesenchymal stem cells and platelet-rich plasma. *Stomatologiya (Mosk).* 2017; 96 (6): 12-17.
32. Orti V, Collart-Dutilleul PY, Piglionico S, Pall O, Ivan F. Pulp regeneration concepts for nonvital teeth: from tissue engineering to clinical approaches. *Int J Mol Sci.* 2018; 19 (6): 1-75.
33. Cea Sanhueza M, Sánchez Sanhueza G. Células madre mesenquimales orales: estado del arte en odontología. *Av Odontoestomatol.* 2016; 32 (2): 97-105.
34. Li Q, Zhang S, Sui Y, Fu X, Li Y, Wei S. Sequential stimulation with different concentrations of BMP4 promotes the differentiation of human embryonic stem cells into dental epithelium with potential for tooth formation. *BMC Cell Biol.* 2019; 10: 276.
35. Coa Serrano PG. Eficacia regenerativa del recubrimiento pulpar directo con células madre sobre la pulpa dental humana. *Rev Cient Investig Andina.* 2017; 17 (1): 254-265.
36. Itoh Y, Sasaki J, Hashimoto M, Katata C, Hayashi M. Pulp Regeneration by 3-dimensional Dental Pulp Stem Cell Constructs. *J Dent Res.* 2018; 97 (10): 1137-1143.
37. Martínez V. Regeneración en elementos dentarios permanentes inmaduros no vitales. *UNCuyo.* 2016; 1 (1): 29-31.
38. Retana-Lobo C. Dental pulp regeneration: insights from biological processes. *Odovtos.* 2018; 20 (1): 10-16.
39. Barzuna Ulloa M, González Alfaro C. Revascularización en un molar inferior, con un tercio de formación radicular. *Odontología Vital.* 2019; (30): 87-97.
40. Widbiller M, Althumairy R, Diogenes A. Direct and indirect effect of chlorhexidine on survival of stem cells from the apical papilla and its neutralization. *J Endod.* 2019; 45 (2): 156-160.
41. Chen H, Fu H, Wu X, Duan Y, Zhang S, Hu H et al. Regeneration of pulpo-dentinal-like complex by a group of unique multipotent CD24a+ stem cells. *Sci Adv.* 2020; 6 (15): eaay1514.
42. Kushnerev E, Shawcross SG, Hillarby MC, Yates JM. High-plasticity mesenchymal stem cells isolated from adult-retained primary teeth and autogenous adult tooth pulp--A potential source for regenerative therapies? *Arch Oral Biol.* 2016; 62: 43-48.

Conflicto de intereses: no se manifiestan conflicto de intereses.

Aspectos éticos: no implica aspecto éticos ni bioéticos.

Financiamiento: autofinanciado.

Correspondencia:

Heidi Silvana Araujo-Freire

E-mail: heidiarauj@gmail.com

Tratamiento regenerativo de un defecto óseo vertical de una pared mediante la técnica de pared con injerto gingival libre y derivado de matriz del esmalte.

Regenerative treatment of a one-wall vertical bone defect using the wall technique with free gingival graft and enamel matrix derivative.

Gina Fernanda Luna Jiménez,^{*,‡} Ely García de León Buenfil,^{*,§}
Francisco Javier De León Vigil^{*,¶}

RESUMEN

Introducción: la periodontitis avanzada puede conducir a defectos óseos verticales de una pared, cuyo abordaje representa un reto clínico significativo debido a la dificultad para estabilizar el coágulo y favorecer la regeneración tisular. **Presentación del caso:** se describe el manejo de un defecto infraóseo de una pared mediante la técnica de «pared» con injerto de tejido conectivo subepitelial y derivado de matriz del esmalte (EMD, por sus siglas en inglés), en una paciente con factores sistémicos de riesgo. Se realizó un procedimiento quirúrgico que transformó el defecto no contenido en uno contenible, facilitando la regeneración periodontal funcional. La evolución clínica evidenció la necesidad de un enfoque interdisciplinario, integrando tratamiento endodóncico ante la persistencia de fistula vestibular tras la cirugía. **Conclusión:** la combinación de técnica de pared e injerto de tejido conectivo con EMD permite la regeneración en situaciones de pronóstico reservado, enfatizando la importancia del abordaje interdisciplinario y de la selección adecuada de la técnica en defectos complejos.

Palabras clave: defecto de una pared, derivado de matriz del esmalte, técnica de pared, orto-perio, endo-perio, cirugía periodontal.

ABSTRACT

Introduction: advanced periodontitis can lead to one-wall vertical bone defects, which pose a significant clinical challenge due to difficulties in stabilizing the clot and achieving tissue regeneration. **Case presentation:** this report describes the management of a one-wall infrabony defect using the «wall» technique with subepithelial connective tissue graft and enamel matrix derivative (EMD) in a patient with systemic risk factors. A surgical procedure was performed to transform the non-contained defect into a contained one, facilitating functional periodontal regeneration. The clinical course highlighted the need for an interdisciplinary approach, with endodontic treatment integrated due to persistent vestibular fistula following surgery. **Conclusion:** the combination of the wall technique and connective tissue graft with EMD enables regeneration in challenging cases, underscoring the relevance of interdisciplinary treatment planning and proper technique selection for complex defects.

Keywords: one-wall defect, enamel matrix derivative, wall technique, ortho-perio, endo-perio, periodontal surgery.

* Cirujano dentista, especialista en Periodoncia. Facultad de Odontología, Universidad Autónoma de Baja California. México.

‡ ORCID: 0009-0004-9698-1903

§ ORCID: 0009-0001-9530-5602

¶ Maestro en Gestión de Servicios de Salud. ORCID: 0009-0006-5536-2342

Recibido: 24 de noviembre de 2025. Aceptado: 08 de julio de 2026.

Citar como: Luna JGF, García de León BE, De León VFJ. Tratamiento regenerativo de un defecto óseo vertical de una pared mediante la técnica de pared con injerto gingival libre y derivado de matriz del esmalte. Rev ADM. 2026; 83 (4): 255-260. <https://dx.doi.org/10.35366/124050>



Abreviaturas:

CTG = tejido conectivo subepitelial

EDTA = ácido etilendiaminotetraacético

EMD = *Enamel Matrix Derivative* (derivado de la matriz del esmalte)

PGA = ácido poliglicólico

INTRODUCCIÓN

La periodontitis es una enfermedad inflamatoria crónica de origen infeccioso que conduce a la destrucción progresiva de los tejidos de soporte dentario, entre ellos el hueso alveolar, el ligamento periodontal y el cemento radicular. La valoración de la magnitud y severidad de esta pérdida ósea exige una exploración clínica cuidadosa, apoyada en estudios radiográficos. La pérdida ósea vertical o intraósea se distingue por presentarse de forma localizada y, a diferencia del patrón horizontal, suele ofrecer un mejor pronóstico para el abordaje mediante técnicas regenerativas. Estos defectos, al estar parcialmente contenidos por paredes óseas remanentes, generan un entorno favorable para la estabilización del coágulo y la posterior regeneración periodontal; no obstante, cuando únicamente persiste una pared ósea, las posibilidades de éxito se reducen y el manejo clínico resulta más desafiante.¹

La regeneración periodontal, definida por la American Academy of Periodontology, consiste en la restitución de los tejidos perdidos a causa de la periodontitis, incluyendo cemento radicular, fibras del ligamento periodontal y hueso alveolar. Sin embargo, no todos los defectos son igualmente susceptibles de regeneración; los defectos verticales de múltiples paredes muestran mejor pronóstico, mientras que los de una pared representan un desafío clínico debido a la dificultad para lograr la estabilidad del coágulo y la repoblación celular.²

Con el objetivo de superar estas limitaciones, se han desarrollado técnicas quirúrgicas innovadoras que buscan crear condiciones favorables para la regeneración. Entre ellas, la wall technique, descrita por el Dr. Zucchelli y colaboradores, propone el uso de un injerto de tejido conectivo como «pared» para convertir defectos no contenibles en defectos contenibles, facilitando así la estabilización del coágulo y la regeneración periodontal.³

Paralelamente, el uso del derivado de la matriz del esmalte (EMD, por sus siglas en inglés, Emdogain®) ha mostrado resultados predecibles en la obtención de nuevo cemento, fibras periodontales funcionales y formación de hueso alveolar. Tras más de 20 años de investigación, se reconoce al EMD como un mediador biológico clave en la regeneración periodontal, con múltiples estudios clínicos y experimentales que respaldan su eficacia.⁴

Reportes de caso y series clínicas han documentado que la combinación de injertos de tejido conectivo con EMD puede mejorar no sólo la estabilidad de los tejidos y la ganancia de inserción clínica, sino también la estética y la preservación a largo plazo de los dientes comprometidos.¹

DESCRIPCIÓN DEL CASO

Mujer de 51 años, que acudió a la especialidad en Periodoncia de la Universidad Autónoma de Baja California por motivo de movilidad en el órgano dentario 11. En la anamnesis refirió antecedentes de diabetes mellitus tipo 2 e hipertensión arterial, bajo tratamiento con metformina, insulina y losartán.

En la exploración clínica se observó diastema, pústula vestibular, extrusión del órgano dentario, movilidad grado II y profundidad al sondeo de hasta 8 mm en cara mesial, con sangrado y supuración al sondaje en cara medial vestibular. Radiográficamente se evidenció reabsorción ósea vertical mesial equivalente a la mitad de la raíz, así como presencia de cálculo dental (*Figura 1*).

Se realizó raspado y alisado radicular. En la revaloración a las cuatro semanas se observó desaparición de la pústula (*Figura 2*), pero persistencia de una pérdida de inserción clínica de 7 mm, por lo que se decidió realizar regeneración tisular guiada utilizando la técnica descrita por Zucchelli, denominada «pared de tejido conectivo subepitelial para el tratamiento de defectos infraóseos»,⁵ combinada con derivados de matriz del esmalte (Emdogain®, Straumann®). Previamente, se efectuó ajuste oclusal.

Bajo anestesia local, se practicaron incisiones horizontales de espesor parcial en la base de las papilas palatinas, correspondientes al defecto infraóseo, y en papilas interdentes adyacentes, biseladas hasta alcanzar el hueso palatino. Posteriormente, la elevación continuó a espesor total para exponer completamente el defecto óseo. El tejido supracrestal se separó del hueso palatino mediante incisión horizontal de espesor parcial y se desplazó hacia vestibular, lo que permitió movilidad del colgajo vestibular. Este se elevó siguiendo un diseño de colgajo de avance coronal, con papilas quirúrgicas submarginales de espesor parcial y elevación total del tejido supracrestal desde palatino, procurando evitar traumatismos (*Figura 3*).

Se eliminó el tejido de granulación, se realizó alisado radicular y acondicionamiento de las superficies con ácido etilendiaminotetraacético al 24% durante 2 minutos, seguido de irrigación con solución salina. Se aplicó gel de EMD en raíces y paredes óseas (*Figura 4*). A continuación, se obtuvo un injerto de tejido conectivo subepitelial (CTG) del

Figura 1:

Foto inicial y radiografía original.



Figura 2: Revaloración a las cuatro semanas.

paladar, con dimensiones suficientes para cubrir de papila a papila, desde la unión amelocementaria hasta el hueso vestibular, con un grosor de aproximadamente 1 mm.

El CTG fue suturado coronalmente a las papilas anatómicas y apicalmente al periostio vestibular mediante suturas interrumpidas con ácido poliglicólico (PGA) 5-0 (*Figura 5*). Las papilas quirúrgicas fueron unidas a las papilas anatómicas desepitelizadas con suturas suspensorias de nylon 5-0, logrando adaptación firme del colgajo y desplazamiento coronal del tejido supracrestal. El mismo tejido se desplazó hacia palatino bajo el punto de contacto y se fijó con una sutura de colchonero horizontal interna que unió los colgajos vestibular y palatino.

El cierre primario se completó en palatino con suturas simples interrumpidas (*Figura 6*). Adicionalmente, se colocó férula de fibra de vidrio por palatino, de canino a canino, para estabilizar.

A las tres semanas se retiraron las suturas, observándose estabilidad del injerto. A las siete semanas, debido a persistencia de la pústula, se indicó tratamiento endodóncico en el órgano dentario 11. Se dio seguimiento a los 4 y 5 meses. (*Figuras 7 y 8*).

DISCUSIÓN

El presente caso clínico aborda el tratamiento de un defecto infraóseo de una pared mediante la técnica de pared con injerto de tejido conectivo (CTG) en combinación con derivado de matriz del esmalte (EMD). La decisión terapéutica se fundamentó en la dificultad inherente a los defectos no contenidos, donde la predictibilidad de la regeneración es limitada debido a la falta de soporte óseo y a la dificultad para estabilizar el coágulo.

Según la revisión sistemática de Nibali y colaboradores, los defectos profundos y estrechos muestran mayor potencial de ganancia ósea radiográfica y de inserción clínica, mientras que los defectos amplios y de una pared, como el reportado en este caso, representan un desafío mayor por su pobre capacidad de contención.⁶ En consecuencia, la elección de una técnica quirúrgica que transforme un defecto no contenido en uno contenible resulta clave. La técnica de pared descrita por Zucchelli,⁵ empleando un injerto de tejido conectivo como «pared biológica», responde precisamente a esta necesidad, creando un entorno favorable para la estabilización del coágulo y el reclutamiento celular, lo que incrementa las probabilidades de regeneración incluso en defectos de peor pronóstico.³

El EMD ha demostrado de forma consistente promover la formación de nuevo cemento, fibras periodontales y hueso alveolar.⁴ Aunque Nibali y colaboradores señalan que la morfología del defecto es el factor determinante, el uso de EMD ofrece un beneficio adicional en términos de biocompatibilidad y predictibilidad clínica.⁶ Sin embargo, los estudios clínicos de Sculean y su equipo han mostrado que el EMD aplicado en defectos intraóseos profundos tratados quirúrgicamente ofrece ganancias clínicas de inserción y reducción de la profundidad sondeable superiores al desbridamiento a colgajo abierto, con resultados comparables a los obtenidos mediante



Figura 3: Incisiones de acceso.

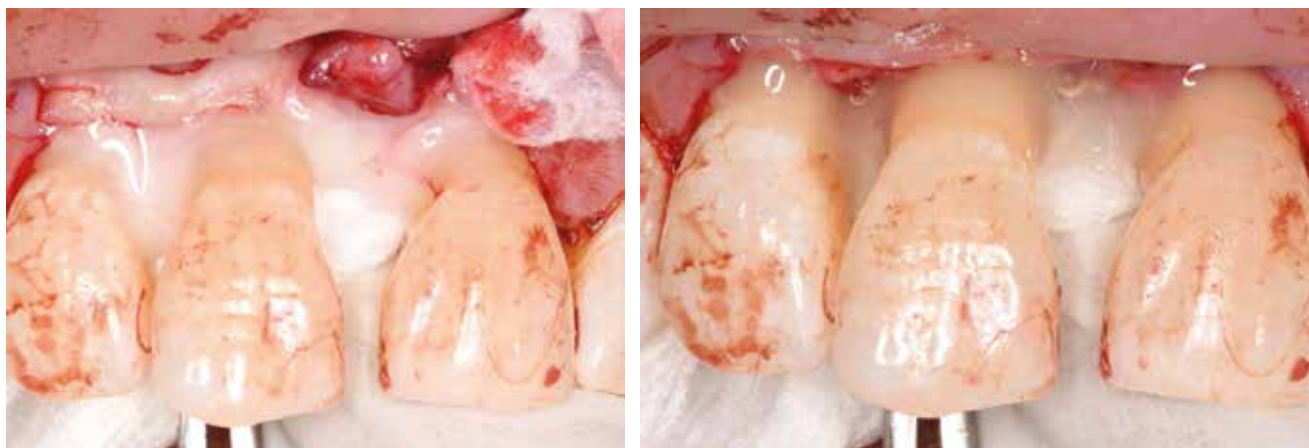


Figura 4: PrefGel® y Emdogain®.



Figura 5: Sutura del injerto de tejido conectivo con sutura de ácido poliglicólico 5-0 en colchonero horizontal.

regeneración tisular guiada, pero con menor riesgo de complicaciones como exposición de membrana. Otro aspecto relevante es la evidencia de que EMD presenta propiedades antiinflamatorias y angiogénicas que pueden favorecer la cicatrización temprana y mejorar la calidad del tejido blando perioperatorio.⁷

El presente caso clínico guarda estrecha relación con los principios biológicos y quirúrgicos descritos por Agossa y Bravard, quienes reportaron resultados alentadores al combinar injertos de tejido conectivo con amelogénicas y sustitutos óseos en defectos infraóseos profundos asociados a recesión gingival. En su serie de 12 casos, tras un año de seguimiento, los autores documentaron una ganancia promedio de inserción clínica de 5.1 ± 1.8 mm y una reducción significativa de la profundidad de sondaje (4.9 ± 1.6 mm), acompañadas de una ligera mejoría en la



Figura 6: Postoperatorio inmediato.

recesión bucal y sin cambios relevantes en la posición de la papila interdental. Estos hallazgos respaldan la premisa de que el injerto de tejido conectivo no sólo provee soporte mecánico para estabilizar el coágulo y el biomaterial, sino que además contribuye a prevenir el colapso de los tejidos blandos, favoreciendo así la estabilidad clínica y estética a mediano plazo.⁸

Un aspecto clave en la evolución de la paciente fue la persistencia de una fístula vestibular tras la cirugía, lo que evidenció la participación de un componente endodóncico. Alquthami y asociados señalan que las lesiones endoperiodontales constituyen un reto diagnóstico y terapéutico, dado que la infección puede propagarse entre pulpa y periodonto a través del foramen apical, conductos laterales o incluso los túbulos dentinarios. Estos autores destacan que, en casos de lesiones primarias con afectación secundaria, la inflamación pulpar no tratada perpetúa el cuadro periodontal.⁹ En este contexto, la decisión de complementar la terapia regenerativa con tratamiento endodóncico en el órgano dentario 11 fue esencial para controlar la infección y asegurar la cicatrización.

La experiencia clínica aquí descrita también coincide con el reporte de Fahmy y su equipo, quienes trataron un molar con periodontitis agresiva y una lesión endoperio combinada mediante endodoncia, desbridamiento periodontal y regeneración con EMD. A pesar del mal pronóstico inicial, el diente mostró una ganancia clínica de inserción y regeneración ósea radiográfica estable tras 24 meses de seguimiento.¹⁰ Este hallazgo demuestra que la integración de endodoncia y regeneración periodontal puede modificar sustancialmente el pronóstico de dientes severamente comprometidos.

En nuestra paciente, la persistencia de una pústula tras la cirugía regenerativa subrayó la necesidad de incorporar el tratamiento endodóncico al abordaje inicial. La deci-

sión de intervenir endodónticamente no sólo permitió eliminar el foco infeccioso persistente, sino que también creó condiciones más favorables para la consolidación de los resultados periodontales. Así, el caso aquí descrito, al igual que el reportado por Fahmy y su equipo,¹⁰ confirma que los dientes en situaciones clínicas críticas no deben descartarse de inmediato, ya que un enfoque interdisciplinario bien planificado puede garantizar tanto la preservación dentaria como la estabilidad clínica a largo plazo.

CONCLUSIONES

El tratamiento regenerativo de un defecto infraóseo de una pared representa uno de los mayores retos clínicos en periodoncia. La combinación de la técnica de pared con injerto de tejido conectivo y la aplicación de EMD permitió crear un entorno más favorable para la regeneración, aun en condiciones anatómicas adversas. La evolución clínica subrayó la importancia de un enfoque interdisciplinario, ya que la necesidad de terapia endo-



Figura 7: Cuatro meses postoperatorio.



Figura 8:

Radiografía a los cinco meses.

dóntica posterior puso de manifiesto la complejidad de las lesiones con componente combinado. Este caso demuestra que, mediante la integración de técnicas quirúrgicas innovadoras y un abordaje conjunto de periodoncia y endodoncia, es posible conservar dientes con pronóstico inicialmente reservado y lograr resultados clínicos y funcionales satisfactorios a largo plazo.

REFERENCIAS

1. Ortega-Concepción D, González Febles J, Peña-Cardelles JF, Cano-Durán JA, Figuero E. Is periodontal regeneration effective in a long-term maintenance of teeth with advanced periodontitis? A case report. *Cient Dent*. 2017; 14 (Supl 2): 4-10.
2. Froum S, Lemler J, Horowitz R, Davidson B. The use of enamel matrix derivative in the treatment of periodontal osseous defects: a clinical decision tree based on biologic principles of regeneration. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2001; 21 (5): 437-449.
3. Zucchelli G, Mazzotti C, Tirone F, Mele M, Bellone P, Mounssif I. The connective tissue graft wall technique and enamel matrix derivative to improve root coverage and clinical attachment levels in Miller Class IV gingival recession. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2014; 34 (5): 601-609.
4. Miron RJ, Sculean A, Cochran DL, Froum S, Zucchelli G, Nemcovsky C et al. 20 years of enamel matrix derivative: the past, the present and the future. *J Clin Periodontol*. 2016; 43 (8): 668-683.
5. Zucchelli G, Mounssif I, Marzadori M, Mazzotti C, Felice P, Stefanini M. Connective tissue graft wall technique and enamel matrix derivative for the treatment of infrabony defects: case reports. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2017; 37 (5): 673-681.
6. Nibali L, Sultan D, Arena C, Pelekos G, Lin GH, Tonetti M. Periodontal infrabony defects: Systematic review of healing by defect morphology following regenerative surgery. *J Clin Periodontol*. 2021; 48 (1): 101-114.
7. Sculean A, Windisch P, Dori F, Keglevich T, Molnár B, Gera I. Emdogain in regenerative periodontal therapy. A review of the literature. *Fogorvosi Szemle*. 2007; 100 (5): 220-232.
8. Agossa K, Bravard M. Combination therapy with connective tissue graft, amelogenins, and bone substitutes for treatment of deep intrabony defects associated with gingival recession: 1-year follow-up of 12 cases. *Int J Periodontics Restorative Dent*. 2022; 42 (3): 321-329.
9. Alquthami H, Tordik P, Fouad AF. Endo-perio lesions: diagnosis and clinical considerations. *Clin Dent Rev*. 2020; 4: 9.
10. Fahmy MD, Luepke PG, Ibrahim MS, Guentsch A. Treatment of a periodontic-endodontic lesion in a patient with aggressive periodontitis. *Case Rep Dent*. 2016; 2016: 7080781.

Conflicto de intereses: no hay conflicto de intereses de los autores.

Correspondencia:

Gina Fernanda Luna Jiménez

E-mail: gina.luna@uabc.edu.mx



Febratic®

Ibuprofeno

Excelencia
que se *prescribe*

Alivio seguro, potente y eficaz
de la inflamación y el dolor¹

Por ser **cápsula de gelatina blanda** ofrece:²



Fácil deglución



No deja
sabor residual



Rápida absorción

Febratic® | 600 mg | 10 y 30 cáps.¹


ODONTOLOGÍA
SIEGFRIED RHEIN


**SIEGFRIED
RHEIN**

Reg. No. 019M2023 SSA IV. © Marca Registrada. Material exclusivo para el profesional de la salud. Aviso de Publicidad No. 2622012002C00164

Referencias: 1.- Información para prescribir amplia FEBRATIC® (F.F Cápsula) Ibuprofeno. 2.- Benza, H. I., & Munyendo, W. L. L. (2011). A review of progress and challenges in soft gelatin capsules formulations for oral administration. International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research, 10(1), 20-24. Recuperado de <https://globalresearchonline.net/journalcontents/volume10issue1/article-004.pdf>