

REPÚBLICA DOMINICANA
UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD
ESCUELA DE ODONTOLOGÍA



**"COMPORTAMIENTO MARGINAL Y SELLADO EN INCRUSTACIONES
CERÁMICAS Y DE RESINA EN MOLARES PERMANENTES: REVISIÓN
DE LA LITERATURA"**

TRABAJO FINAL PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE DOCTOR EN ODONTOLOGÍA

Sustentante

Isabel Angélica Feliz Morban 17-0961

Docente Especializado

Dra. Yumaysla Mariano

Docente Titular

Dra. Helen Josefina Rivera Estaba

Los conceptos expuestos en la presente investigación son de la exclusiva responsabilidad de los autores.
--

Santo Domingo, DN.
13 de noviembre del 2025

Resumen

El presente trabajo investigativo tuvo como objetivo evaluar la microfiltración y adaptación marginal en incrustaciones de cerámica y de resina en molares permanentes de adultos, mediante una revisión bibliográfica de artículos científicos publicados en los últimos 10 años en bases de datos como PubMed, ScienceDirect, Web of Science, Cochrane y LILACS. Se seleccionaron estudios in vitro, clínicos prospectivos y revisiones sistemáticas bajo criterios de inclusión específicos relacionados con la interfaz diente-restauración. La microfiltración marginal constituye uno de los principales factores de fracaso en restauraciones indirectas, pudiendo generar caries secundaria, sensibilidad postoperatoria y pérdida prematura de la restauración. Aunque ambos materiales son ampliamente utilizados, existe controversia sobre cuál ofrece mejor sellado marginal a largo plazo. Por lo tanto, es fundamental que los profesionales odontólogos comprendan las diferencias en el comportamiento marginal de estos materiales y los protocolos óptimos de preparación y cementación para maximizar la longevidad de las restauraciones.

Palabras clave: microfiltración marginal, incrustaciones cerámicas, resina compuesta, adaptación marginal, CAD/CAM.

Abstract

This research aimed to evaluate microleakage and marginal adaptation in ceramic and resin inlays on adult permanent molars through a literature review of scientific articles published in the last 10 years in databases such as PubMed, ScienceDirect, Web of Science, Cochrane, and LILACS. In vitro studies, prospective clinical trials, and systematic reviews were selected based on specific inclusion criteria related to the tooth-restoration interface. Marginal microleakage is one of the main factors contributing to the failure of indirect restorations, potentially leading to secondary caries, postoperative sensitivity, and premature restoration loss. Although both materials are widely used, there is controversy regarding which offers better long-term marginal sealing. Therefore, it is essential that dental professionals understand the differences in the marginal behavior of these materials and the optimal preparation and cementation protocols to maximize the longevity of restorations.

Keywords: marginal microleakage, ceramic inlays, composite resin, marginal adaptation, CAD/CAM.

Agradecimientos y dedicatoria

Primero, a Dios, por ser mi guía, mi fortaleza y mi fuente inagotable de sabiduría.

Gracias por iluminar mi camino, por darme la paciencia y la constancia necesarias para alcanzar esta meta, y por acompañarme en cada paso de este proceso con amor y esperanza.

Dedico este trabajo de tesis de grado a mis amados padres, Jesús Antonio y Lucía Isabel, por ser mi mayor ejemplo de amor, esfuerzo y perseverancia.

Gracias por sus sacrificios, por su apoyo incondicional y por enseñarme a nunca rendirme ante las dificultades.

Este logro también es de ustedes, porque su amor y sus enseñanzas han sido el pilar sobre el cual construí este sueño.

Agradezco profundamente a las doctoras Yumaysla Mariano y Helen Josefina Rivera Estaba, por su orientación, dedicación y compromiso con mi formación profesional.

Su guía ha sido fundamental para el desarrollo de este trabajo y para mi crecimiento académico y personal.

Al doctor Mohamad Alattar, quien ha sido como un tío para mí dentro de la universidad, gracias por su apoyo, sus consejos, su comprensión y por brindarme siempre palabras de aliento y orientación.

Su presencia ha sido un ejemplo de profesionalismo, humanidad y cercanía, dejando una huella significativa en mi formación.

A mis docentes de clínica, por su paciencia, entrega y por compartir con generosidad sus conocimientos y experiencias.

Gracias por inspirarme a ser mejor cada día y por contribuir de manera tan valiosa a mi formación como futura odontóloga.

A mi novio, Alex, y a sus padres, por su amor, comprensión y apoyo incondicional durante todo este proceso.

Gracias por acompañarme con cariño, por su constante motivación y por brindarme un apoyo tan genuino que se convirtió en una gran fortaleza para mí.

Su presencia y sus palabras de ánimo hicieron este camino mucho más llevadero y lleno de alegría.

A mis familiares, por su cariño, comprensión y apoyo constante.

A mis amigos y compañeros, por su compañía, motivación y por hacer de este camino una experiencia inolvidable.

Y finalmente, a mí misma, por la fe, la disciplina y la determinación que me permitieron alcanzar este sueño, convirtiéndolo en una realidad llena de orgullo, gratitud y aprendizaje.

Índice

Resumen.....	2
Abstract.....	3
Agradecimientos y dedicatoria	4
Índice.....	6
1. Introducción	7
2. Planteamiento del problema.....	8
2.1 Interrogantes de investigación	11
3. Objetivos.....	12
3.1 Objetivo General.....	12
3.2 Objetivos Específicos.....	12
4. Marco teórico	13
4.1 Antecedentes históricos	13
4.2 Marco conceptual.....	16
4.2.1 Restauraciones Indirectas en Odontología.....	16
4.2.2 Incrustaciones Dentales (Inlays y Onlays).....	17
4.2.3 Materiales Cerámicos en Odontología Restauradora.....	18
4.2.4 Materiales de Resina Compuesta Indirecta.....	20
4.2.5 Microfiltración Marginal	22
4.2.6 Adaptación Marginal	24
4.2.7 Sistemas de Cementación	26
4.2.8 Anatomía y Características de Molares Permanentes.....	29
4.3 Revisión de la literatura	32
4.3.1 La microfiltración	32
4.3.1.1 Consecuencias clínicas de la filtración marginal.....	33
4.3.1.2 Métodos de evaluación más utilizados en la literatura	36
4.3.1.3 Adaptación Marginal	37
4.3.1.4 Materiales Cerámicos.....	39
4.3.1.5 Materiales de Resina.....	41
4.3.1.6 Sistemas de Cementación	43
4.3.1.7 Técnicas de Preparación Cavitaria.....	44
4.3.1.8 Factores del Paciente.....	46
5. Marco metodológico	48
5.1 Tipo de investigación.....	48
5.2 Estrategias de búsqueda de información.....	¡Error! Marcador no definido.
5.3 Criterios de selección.....	¡Error! Marcador no definido.
6. Discusión.....	49
7. Conclusiones.....	55
8. Recomendaciones	56
9. Prospectiva.....	57
10. Referencias bibliográficas.....	58

1. Introducción

La restauración de molares permanentes con pérdida estructural extensa representa uno de los desafíos más frecuentes en la práctica odontológica contemporánea. Las incrustaciones dentales han emergido como una alternativa terapéutica predecible para la rehabilitación de dientes posteriores, ofreciendo ventajas significativas sobre las restauraciones directas convencionales, particularmente en cavidades amplias donde la integridad estructural del remanente dentario se encuentra comprometida.¹

El éxito clínico a largo plazo de las restauraciones indirectas depende fundamentalmente de la calidad del sellado marginal y la adaptación de la interfaz diente-restauración. La microfiltración marginal, definida como el paso de bacterias, fluidos, moléculas o iones entre la pared cavitaria y el material restaurador, constituye uno de los principales factores asociados con el fracaso de las restauraciones, pudiendo conducir a caries secundaria, sensibilidad postoperatoria, patología pulpar y, eventualmente, la pérdida del elemento dentario. En la actualidad, los materiales más utilizados para la confección de incrustaciones en el sector posterior son las cerámicas y las resinas compuestas procesadas en laboratorio. Las cerámicas dentales, particularmente el disilicato de litio y las cerámicas feldespáticas reforzadas, han demostrado excelentes propiedades mecánicas, estabilidad dimensional y biocompatibilidad. Estudios recientes han reportado tasas de supervivencia superiores al 95% a cinco años para incrustaciones cerámicas en molares. Por su parte, las resinas compuestas para técnicas indirectas han evolucionado significativamente, incorporando matrices poliméricas optimizadas y partículas de relleno nanohíbridas que mejoran sus propiedades físicas y permiten un módulo elástico más similar al de la estructura dentaria.²

La adaptación marginal, definida como la discrepancia entre el margen de la restauración y la línea de terminación cavitaria, constituye un predictor crítico del éxito clínico de las

incrustaciones. Aunque valores inferiores a 120 μm se consideran clínicamente aceptables, la literatura sugiere que gaps menores a 50 μm ofrecen mejor pronóstico. Los avances en tecnología CAD/CAM han optimizado significativamente este parámetro, logrando valores de adaptación entre 40-90 μm , comparables o superiores a las técnicas convencionales, aunque persisten interrogantes sobre la influencia del material restaurador en el comportamiento clínico.³

El protocolo de cementación adhesiva representa otro factor determinante en el sellado marginal. Los sistemas adhesivos universales de última generación, combinados con cementos resinosos que contienen monómeros funcionales como el 10-MDP, han demostrado proporcionar interfaces más estables y menor microfiltración comparados con los sistemas convencionales de grabado total o autograbado. La evaluación entre materiales revela que mientras las cerámicas destacan por su estabilidad cromática y resistencia al desgaste, las resinas compuestas ofrecen mejor ajuste clínico y menor desgaste del antagonista⁴

El envejecimiento funcional de las restauraciones impacta directamente en la integridad marginal, con el termociclado y la fatiga mecánica induciendo cambios significativos que varían según el material. Las investigaciones actuales indican que las resinas compuestas son más susceptibles a la degradación hidrolítica de la interfaz adhesiva, mientras que las cerámicas presentan mayor tendencia a la propagación de grietas marginales bajo cargas cíclicas. Estos hallazgos subrayan la importancia de considerar no solo las propiedades iniciales de los materiales, sino también su comportamiento bajo las condiciones dinámicas del ambiente oral para la selección clínica apropiada.⁵

2. Planteamiento del problema

La pérdida de estructura dentaria en molares permanentes constituye una problemática prevalente en la población adulta, con estudios epidemiológicos recientes que reportan

aproximadamente el 70% de los adultos mayores de 30 años presentan al menos una restauración extensa en molares, y cerca del 45% requieren reemplazo de estas restauraciones dentro de los primeros 10 años. Esta situación representa un desafío clínico significativo, considerando que cada intervención restauradora implica la remoción adicional de tejido dentario sano, comprometiendo progresivamente el pronóstico del diente afectado.⁶

Las incrustaciones dentales han surgido como una alternativa terapéutica superior a las restauraciones directas para cavidades extensas, particularmente cuando el istmo oclusal supera un tercio de la distancia intercuspidéa o cuando existe compromiso de una o más cúspides. Sin embargo, a pesar de los avances tecnológicos en materiales y técnicas adhesivas, la microfiltración marginal continúa siendo la causa principal del fracaso de estas restauraciones, representando entre el 25-35% de los fracasos reportados en estudios longitudinales recientes. La interfaz diente-restauración constituye el punto más vulnerable del complejo restaurador, donde la interacción entre factores biomecánicos, químicos y térmicos determina la longevidad clínica de la restauración. Investigaciones recientes han demostrado que incluso gaps marginales imperceptibles clínicamente (menores a 50 μm) pueden permitir el paso de bacterias cariogénicas, particularmente *Streptococcus mutans*, cuyo diámetro oscila entre 0.5-0.75 μm , iniciando procesos de degradación de la interfaz adhesiva y caries secundaria. Mientras las cerámicas de disilicato de litio exhiben módulos elásticos entre 95-105 GPa, significativamente superiores al de la dentina (18-20 GPa), las resinas compuestas indirectas presentan valores entre 12-25 GPa, más cercanos a la estructura dentaria. Esta disparidad en las propiedades mecánicas genera patrones de distribución de estrés diferenciales bajo cargas oclusales, afectando directamente la integridad de la interfaz adhesiva y, consecuentemente, el sellado marginal.^{7,8}

Los molares permanentes soportan cargas oclusales entre 200-600 N durante la masticación normal, pudiendo superar los 800 N en pacientes con hábitos parafuncionales, lo que combinado con variaciones térmicas intraorales (5-55°C) genera fatiga del material y degradación de la interfaz adhesiva. Revisiones demuestran que las incrustaciones de cerámica concentran el estrés en la interfaz cervical, mientras que las de resina compuesta, aunque distribuyen mejor las cargas, experimentan mayor deformación elástica generando gaps dinámicos durante la función. La complejidad anatómica molar presenta desafíos adicionales: aproximadamente 40% de los márgenes se localizan en dentina/cemento donde la adhesión es menos predecible que en esmalte, sumado a la dificultad del control de humedad y la profundidad variable de las preparaciones que comprometen el sellado marginal.⁹

El protocolo de cementación constituye otro factor crítico, con la contracción de polimerización de los cementos resinosos (2-7% en volumen) generando estrés que puede superar la resistencia adhesiva inicial, especialmente en cavidades con alto factor-C. La fotopolimerización incompleta en zonas profundas resulta en conversión deficiente del monómero, comprometiendo las propiedades mecánicas y aumentando la susceptibilidad a degradación hidrolítica. Estudios con microtomografía computarizada documentan aumentos del gap marginal de 25-40% tras 10,000 ciclos térmicos, observándose que las cerámicas mantienen mejor la adaptación inicial pero son más susceptibles a fracturas marginales, mientras que las resinas muestran degradación más progresiva pero uniforme.¹⁰

La heterogeneidad metodológica en la evaluación de microfiltración y adaptación marginal genera reportes contradictorios sobre la superioridad de un material sobre otro. Mientras algunos estudios emplean penetración de colorantes, otros utilizan análisis bacteriano o microscopía electrónica, dificultando comparaciones válidas y el establecimiento de guías clínicas definitivas. El impacto económico de estos fracasos es significativo: el reemplazo de

una incrustación fallida representa 2.5 veces el costo inicial, sin considerar la pérdida dentaria adicional, y aproximadamente 15% de estas fallas requieren tratamiento endodóntico, aumentando exponencialmente la complejidad y costos del tratamiento.¹¹

La presente investigación surge de la necesidad imperativa de generar evidencia científica actualizada y metodológicamente rigurosa que permitirá esclarecer las diferencias en el comportamiento clínico de incrustaciones cerámicas versus resinas compuestas en términos de microfiltración y adaptación marginal. La información obtenida permitirá a los profesionales de la odontología, especialistas y estudiantes en formación la evaluación simultánea de estos parámetros críticos, utilizando metodología estandarizada y reproducible, proporcionará información valiosa para la toma de decisiones clínicas basadas en evidencia, potencialmente mejorando el pronóstico a largo plazo de las restauraciones en molares permanentes y optimizando la relación costo-beneficio de los tratamientos restauradores.

2.1 Interrogantes de investigación

1. ¿Cuáles son los factores técnicos que influyen en la microfiltración y adaptación marginal: diseño de la preparación, técnica de fabricación y protocolo de cementación?
2. ¿Existen diferencias significativas en las tasas de éxito clínico y supervivencia a largo plazo entre las incrustaciones cerámicas y las de resina compuesta cuando son utilizadas en la restauración de molares permanentes en pacientes adultos?
3. ¿Cuáles son las innovaciones recientes en materiales para incrustaciones y su impacto en la reducción de la microfiltración marginal?

3. Objetivos

3.1 Objetivo General

Determinar el comportamiento marginal y sellado en incrustaciones cerámicas y de resina en molares permanentes.

3.2 Objetivos Específicos

1. Identificar los factores técnicos que influyen en la microfiltración y adaptación marginal: diseño de la preparación, técnica de fabricación y protocolo de cementación.
2. Comparar las tasas de éxito clínico y supervivencia a largo plazo entre incrustaciones cerámicas y de resina compuesta en molares.
3. Reconocer las innovaciones recientes en materiales para incrustaciones y su impacto en la reducción de la microfiltración marginal.

4. Marco teórico

4.1 Antecedentes históricos

Las incrustaciones dentales tienen una larga historia en la odontología restauradora. A finales del siglo XIX, el Dr. William H. Taggart revolucionó la odontología al desarrollar en 1907 la técnica de colado para incrustaciones metálicas de oro, estableciendo las bases de las restauraciones indirectas que conocemos hoy en día.¹²

Durante décadas, las incrustaciones de oro fueron consideradas el estándar de excelencia en odontología restauradora debido a su durabilidad, biocompatibilidad y excelente adaptación marginal. Sin embargo, sus limitaciones estéticas motivaron la búsqueda de materiales alternativos que pudieran ofrecer resultados funcionales similares con mejor apariencia.¹⁰

En la década de 1960, comenzó el desarrollo de las cerámicas dentales para uso odontológico. La introducción de la porcelana feldespática marcó el inicio de una nueva era en restauraciones estéticas. Posteriormente, en los años 80, surgieron sistemas cerámicos innovadores como el CEREC (Chairside Economical Restoration of Esthetic Ceramics), que permitió la fabricación de incrustaciones cerámicas mediante tecnología CAD/CAM.⁹

La década de 1990 trajo consigo importantes avances con la introducción de cerámicas reforzadas con leucita y disilicato de litio, materiales que ofrecían mayor resistencia mecánica sin comprometer la estética. Estos avances permitieron expandir las indicaciones de las incrustaciones cerámicas en sectores posteriores. Paralelamente, las resinas compuestas experimentaron una evolución significativa. Aunque fueron introducidas en la década de 1960 por el Dr. Rafael Bowen con el desarrollo del Bis-GMA, no fue hasta los años 90 cuando las resinas compuestas de laboratorio ganaron popularidad para la confección de incrustaciones indirectas.^{13, 14}

El desarrollo de sistemas de polimerización adicionales mediante calor y presión mejoró significativamente las propiedades mecánicas de las resinas, haciéndolas más competitivas frente a las cerámicas. En la década de 2000, surgieron las resinas nanocerámicas y los composites híbridos, que combinaban ventajas de ambos materiales. Un hito fundamental fue el desarrollo de la odontología adhesiva. En 1955, el Dr. Michael Buonocore introdujo la técnica de grabado ácido del esmalte, sentando las bases de la adhesión dental moderna. Posteriormente, en los años 80 y 90, el desarrollo de sistemas adhesivos dentinarios y cementos resinosos permitió mejorar significativamente la retención y sellado marginal de las incrustaciones.^{7,9}

La preocupación por la microfiltración marginal ha sido constante desde la introducción de las restauraciones adhesivas. Los primeros estudios *in vitro* sobre este fenómeno datan de la década de 1970, utilizando técnicas con colorantes y trazadores radioactivos. Con el tiempo, los métodos de evaluación se han sofisticado, incorporando microscopía electrónica de barrido, microtomografía computarizada y técnicas con bacterias. En las últimas dos décadas, numerosos investigadores han comparado el comportamiento clínico de incrustaciones cerámicas versus resinosas, con resultados variables que mantienen vigente el debate sobre cuál material ofrece mejor desempeño en términos de microfiltración y adaptación marginal, especialmente en molares permanentes sometidos a altas cargas oclusales.^{10,11}

La evolución tecnológica del siglo XXI ha transformado radicalmente el campo de las incrustaciones dentales. Los sistemas CAD/CAM han experimentado mejoras sustanciales en precisión y velocidad de procesamiento, permitiendo la fabricación de restauraciones en una sola sesión clínica. Los escáneres intraorales digitales han reemplazado progresivamente las impresiones convencionales, ofreciendo mayor comodidad para el paciente y precisión en la captura de detalles anatómicos. Esta digitalización del flujo de trabajo ha reducido

significativamente los tiempos clínicos y de laboratorio, mejorando la eficiencia del tratamiento.¹⁵ Un aspecto crucial en el éxito de las incrustaciones modernas es la preparación cavitaria. Los principios de preparación han evolucionado desde diseños retentivos tradicionales hacia preparaciones más conservadoras que preservan estructura dental sana. Las preparaciones actuales enfatizan ángulos de divergencia entre 6 y 15 grados, profundidades mínimas de 1.5-2 mm en fosas y fisuras, y márgenes supragingivales cuando es posible. La preservación del tejido dental se ha convertido en paradigma fundamental, apoyado por la capacidad adhesiva de los materiales contemporáneos.¹⁶

La cementación adhesiva representa otro factor determinante en el éxito clínico de las incrustaciones. Los protocolos actuales incluyen el acondicionamiento selectivo del esmalte con ácido fosfórico al 37%, la aplicación de sistemas adhesivos universales o de grabado total, y el uso de cementos resinosos duales o fotopolimerizables según el grosor de la restauración. El pretratamiento de la superficie interna de las incrustaciones cerámicas mediante ácido fluorhídrico y silanización, o el arenado con óxido de aluminio para las resinosas, optimiza la adhesión interfacial.¹⁷

Los estudios longitudinales han demostrado tasas de supervivencia superiores al 90% para incrustaciones cerámicas y resinosas a cinco años. Sin embargo, las diferencias en el comportamiento biomecánico entre ambos materiales son notables. Las cerámicas presentan módulos elásticos similares al esmalte dental (60-95 GPa), mientras que las resinas compuestas exhiben valores más cercanos a la dentina (15-25 GPa). Esta diferencia influye en la distribución del estrés oclusal y puede afectar la longevidad de la restauración y del remanente dental.¹⁸ La biocompatibilidad constituye otra consideración importante. Las cerámicas dentales son generalmente inertes y no liberan monómeros residuales, mientras que las resinas compuestas pueden presentar liberación de componentes no polimerizados, aunque en

cantidades consideradas seguras según los estándares actuales. Los pacientes con sensibilidades o alergias conocidas a metacrilatos pueden beneficiarse de restauraciones cerámicas. Los avances recientes incluyen el desarrollo de materiales híbridos como las cerámicas infiltradas con polímeros y los composites reforzados con fibras. Estos materiales buscan combinar las ventajas estéticas de las cerámicas con la capacidad de absorción de impactos de las resinas, ofreciendo propiedades intermedias que pueden ser ventajosas en situaciones clínicas específicas. La investigación actual también explora el uso de materiales bioactivos que promuevan la remineralización de la interfaz diente-restauración, potencialmente reduciendo la incidencia de caries secundaria y mejorando la longevidad de las restauraciones.¹⁹

4.2 Marco conceptual

4.2.1 Restauraciones Indirectas en Odontología

Las restauraciones indirectas en odontología constituyen procedimientos terapéuticos donde la estructura restauradora se fabrica fuera de la cavidad bucal, ya sea en un laboratorio dental o mediante sistemas CAD/CAM, para posteriormente ser cementada o adherida al diente preparado. Estas restauraciones se clasifican según el material empleado en cerámicas (porcelanas feldespáticas, disilicato de litio, zirconia), resinas compuestas indirectas, y metal-cerámicas, así como por su extensión en incrustaciones (inlays, onlays, overlays), coronas parciales o totales, carillas y puentes fijos. Las indicaciones clínicas principales incluyen cavidades extensas donde la integridad estructural del diente está comprometida, necesidad de restaurar cúspides debilitadas, dientes endodonciados que requieren protección adicional, reemplazo de restauraciones amplias defectuosas, alteraciones estéticas significativas del

sector anterior, y situaciones donde se busca optimizar el punto de contacto proximal y los contornos anatómicos.¹⁵

Entre sus ventajas sobre las restauraciones directas se encuentran propiedades mecánicas superiores debido al proceso de polimerización o cocción bajo condiciones controladas, mejor adaptación marginal al eliminar la contracción de polimerización intrabucal, mayor resistencia al desgaste y estabilidad de color a largo plazo, posibilidad de lograr anatomía oclusal y contactos proximales óptimos mediante su confección extrabucal, control superior del perfil de emergencia y salud periodontal, y la capacidad de utilizar materiales con propiedades estéticas excepcionales que replican fidedignamente las características ópticas del esmalte y dentina natural.¹⁶

4.2.2 Incrustaciones Dentales (Inlays y Onlays)

Las incrustaciones dentales (Fig. 1) son restauraciones indirectas parciales que se utilizan para reparar dientes posteriores con daño moderado a extenso, clasificándose principalmente en inlays, que se limitan a restaurar la porción intracuspídea del diente sin cubrir las cúspides, y onlays, que además de la cavidad central incluyen la cobertura de una o más cúspides comprometidas, existiendo también los overlays que cubren todas las cúspides manteniendo la vitalidad pulpar. Históricamente, las incrustaciones surgieron a finales del siglo XIX con el desarrollo de técnicas de colado en oro por parte de William Taggart en 1907, constituyendo durante décadas el estándar de oro en odontología restauradora; posteriormente, en la década de 1980, la evolución de las cerámicas dentales y los sistemas adhesivos permitió la transición hacia materiales estéticos como las porcelanas y resinas compuestas, mientras que en el siglo XXI la introducción de la tecnología CAD/CAM revolucionó su fabricación al permitir diseño y manufactura digitales en una sola sesión.¹⁷

Figura 1: Incrustación indirecta inlay y onlay.



Fuente: Miura D, Ishida Y, Shinya A. Polymerization Shrinkage of Short Fiber Reinforced Dental Composite Using a Confocal Laser Analysis. *Polymers*. 2021; 13:3088.

Los criterios de selección para indicar una incrustación en lugar de una restauración directa o una corona completa incluyen la evaluación de la extensión de la cavidad (cuando supera un tercio de la distancia intercuspídea), el compromiso de las cúspides y su grosor remanente (cúspides con menos de 2mm de grosor requieren cobertura), la localización de los márgenes (preferentemente en esmalte para optimizar la adhesión), la condición de la estructura dental remanente y su capacidad de soportar fuerzas oclusales, consideraciones estéticas del paciente, el estado periodontal y la posibilidad de aislamiento adecuado, así como factores económicos y la habilidad técnica del operador, priorizando siempre el principio de mínima invasión y máxima preservación de tejido dental sano.¹⁸

4.2.3 Materiales Cerámicos en Odontología Restauradora

Los materiales cerámicos empleados en odontología restauradora (Fig. 2) presentan propiedades físicas y mecánicas específicas que incluyen alta resistencia a la compresión (entre 300-900 MPa según el tipo), módulo de elasticidad similar al esmalte dental, excelente estabilidad química y dimensional, baja conductividad térmica, resistencia a la abrasión comparable o superior al esmalte natural, aunque con limitaciones en su resistencia a la flexión

y tenacidad a la fractura que varía significativamente según su composición cristalina, además de presentar un comportamiento frágil ante fuerzas de tensión y tracción que requiere consideraciones específicas en el diseño de las preparaciones dentales.¹⁹

La clasificación de las cerámicas dentales se establece según su composición en cerámicas feldespáticas convencionales (con menor resistencia pero excelente estética), cerámicas feldespáticas reforzadas con leucita o disilicato de litio (que ofrecen balance entre estética y resistencia, como el sistema IPS e.max), cerámicas policristalinas de alta resistencia como la zirconia y la alúmina (con propiedades mecánicas superiores pero menor translucidez), cerámicas infiltradas con vidrio, y cerámicas híbridas que combinan componentes cerámicos con matriz resinosa; asimismo, pueden clasificarse según su método de procesamiento en cerámicas para técnica de estratificación, prensado térmico, colado, infiltración o sistemas CAD/CAM.²⁰

En términos de biocompatibilidad y estética, las cerámicas dentales destacan por ser materiales inertes que no generan reacciones alérgicas ni tóxicas, presentan mínima acumulación de placa bacteriana debido a su superficie lisa y pulible, no provocan sensibilización tisular ni respuesta inflamatoria gingival, mientras que estéticamente ofrecen ventajas incomparables al mimetizar las propiedades ópticas del diente natural mediante su translucidez, opalescencia y fluorescencia, permiten una amplia gama de colores y caracterizaciones personalizadas, mantienen estabilidad cromática a largo plazo sin sufrir pigmentación o decoloración, y posibilitan la transmisión y reflexión de luz de manera similar al esmalte y dentina, logrando resultados imperceptibles que se integran armónicamente en la sonrisa del paciente.²¹

Figura 2: Incrustación en molar realizada en cerámica.



Fuente: Archibald JJ, Santos GC Jr, Moraes Coelho Santos MJ. Retrospective clinical evaluation of ceramic onlays placed by dental students. J Prosthet Dent. 2020;119(5):743-748.

4.2.4 Materiales de Resina Compuesta Indirecta

Los materiales de resina compuesta (Fig. 3) indirecta están constituidos por una matriz orgánica de polímeros basada principalmente en monómeros dimetacrilatos (Bis-GMA, UDMA, TEGDMA), partículas de relleno inorgánico que representan entre 60-85% del volumen total (sílice, cuarzo, vidrios de bario o estroncio) con tamaños que varían desde nanopartículas hasta micropartículas, agentes de acoplamiento silano que unen la fase orgánica e inorgánica, sistemas iniciadores de polimerización, pigmentos para lograr diferentes tonalidades, y estabilizadores que previenen la degradación; estas resinas se caracterizan por someterse a procesos de polimerización adicional bajo condiciones controladas de temperatura, presión, luz y/o atmósfera inerte en laboratorio o unidades especiales, lo que resulta en un grado de conversión monomérica superior (90-95%) comparado con las resinas directas (55-75%), además de presentar menor porosidad y estructura molecular más densa y homogénea. Las propiedades mecánicas de las resinas compuestas indirectas incluyen resistencia a la flexión entre 120-180 MPa, módulo de elasticidad de 8-15 GPa que se aproxima más al tejido dental

natural que las cerámicas rígidas, dureza superficial mejorada, resistencia al desgaste superior a las resinas directas aunque inferior a las cerámicas, tenacidad a la fractura que les confiere mayor capacidad de absorber impactos sin fracturarse catastróficamente, contracción de polimerización mínima durante la cementación al ocurrir principalmente durante su fabricación extrabucal, y coeficiente de expansión térmica más cercano al del diente que reduce el estrés en la interfase adhesiva.^{13, 19}

Figura 3: Reconstrucción de anatomía dental en molar realizada en resina compuesta.

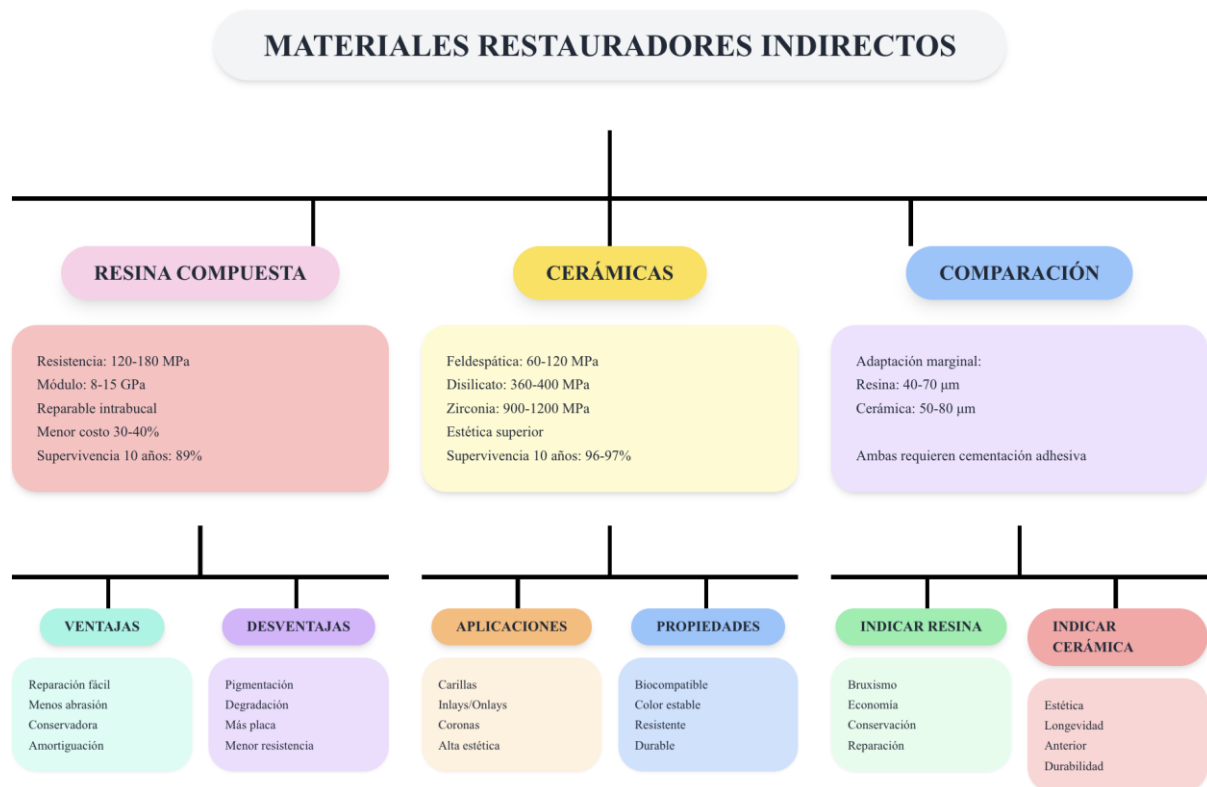


Fuente: Ionescu AC, Hahnel S, König A, Brambilla E. Resin composite blocks for dental CAD/CAM applications reduce biofilm formation in vitro. *Dent Mater.* 2020 May;36(5):603-616.

Entre sus ventajas clínicas (Fig. 4) se encuentran la facilidad de reparación intrabucal en caso de fracturas mediante resinas de composite convencionales, menor abrasividad sobre el diente antagonista comparado con cerámicas, capacidad de amortiguación de fuerzas oclusales que reduce el riesgo de fracturas del diente remanente, preparaciones dentales más conservadoras debido a menores requisitos de espesor mínimo, costo inferior a las restauraciones cerámicas, facilidad de ajuste y pulido durante la cementación, y excelentes propiedades adhesivas; sin embargo, sus limitaciones incluyen menor resistencia mecánica y

durabilidad a largo plazo comparadas con cerámicas de alta resistencia, susceptibilidad a la pigmentación y cambios de color con el tiempo especialmente en pacientes con hábitos como consumo de café, té o tabaco, mayor acumulación de placa bacteriana debido a su superficie más rugosa microscópicamente, degradación hidrolítica gradual de la matriz resinosa en el medio bucal, y propiedades estéticas ligeramente inferiores a las cerámicas de alta translucidez, lo que hace que su selección deba basarse en un análisis individualizado considerando factores oclusales, estéticos, económicos y expectativas del paciente.¹⁷

Figura 4: Esquema comparativo de restauraciones indirectas.



Fuente: Guess PC, Att W, Strub JR. Zirconia in fixed implant prosthodontics. Clin Implant Dent Relat Res. 2022;14(5):633-45.

4.2.5 Microfiltración Marginal

La microfiltración marginal se define como el paso no detectable clínicamente de bacterias, fluidos orales, moléculas, iones y toxinas a través de la interfase entre el material restaurador y las paredes de la cavidad preparada, siendo un fenómeno multifactorial cuya etiología incluye la contracción de polimerización de los materiales resinosos que genera tensiones en la interfase adhesiva, discrepancias dimensionales entre el coeficiente de expansión térmica del diente y el material restaurador ante cambios de temperatura bucal, desajustes marginales durante la fabricación o cementación de la restauración, degradación de la capa híbrida y del agente cementante por hidrólisis enzimática y química en el medio oral, fallas en el protocolo adhesivo como contaminación por humedad o secado excesivo de la dentina, cargas oclusales cíclicas que producen fatiga y microfracturas en la interfase, y preparaciones cavitarias con márgenes en dentina o cemento que presentan menor energía superficial y capacidad adhesiva que el esmalte.²⁰

Los factores determinantes de la microfiltración abarcan aspectos relacionados con el material restaurador como el tipo de cerámica o resina utilizada y su módulo elástico, la selección y aplicación correcta del sistema adhesivo y agente cementante, la técnica de cementación empleada (adhesiva, autoadhesiva o convencional), el diseño y localización de los márgenes de la preparación dental, la calidad del sellado marginal inicial, la presencia de brechas o discrepancias en la adaptación marginal, el grosor y uniformidad de la línea de cemento, factores relacionados con el sustrato dental como la proporción de esmalte versus dentina en los márgenes, la presencia de lesiones de caries o dentina esclerótica, y variables clínicas como la técnica de aislamiento, el control de humedad, las fuerzas oclusales del paciente y el tiempo transcurrido desde la cementación. Las consecuencias clínicas y biológicas de la microfiltración incluyen sensibilidad postoperatoria por penetración de estímulos térmicos y químicos hacia la pulpa a través de los túbulos dentinarios, pigmentación y decoloración marginal que compromete la estética de la restauración, desarrollo de caries

secundaria o recurrente por colonización bacteriana en la interfase, inflamación pulpar que puede progresar desde pulpitis reversible hasta necrosis pulpar en casos severos, degradación acelerada del agente cementante y pérdida de retención de la restauración, formación de brechas marginales que facilitan la acumulación de placa bacteriana, comprometimiento de la longevidad y tasa de supervivencia de la restauración, y en casos avanzados, la necesidad de reemplazo de la restauración o tratamiento endodóntico.^{20, 21, 22}

Los métodos de evaluación de la microfiltración se clasifican en técnicas in vitro que incluyen la penetración de trazadores químicos como nitrato de plata, fucsina básica o azul de metileno seguida de análisis mediante cortes seccionales y estereomicroscopía, el uso de isótopos radiactivos, microscopía electrónica de barrido para evaluar la adaptación marginal y presencia de brechas, pruebas de conductancia eléctrica y electroquímica, análisis de penetración bacteriana mediante cultivos microbiológicos, microtomografía computarizada (micro-CT) que permite evaluación tridimensional no destructiva, y técnicas de presión de fluidos; mientras que los métodos de evaluación clínica incluyen la inspección visual y táctil de los márgenes mediante explorador, evaluación radiográfica periapical y de aleta de mordida para detectar caries secundaria, pruebas de sensibilidad pulpar, análisis fotográfico digital con magnificación, y seguimiento longitudinal mediante criterios estandarizados como los sistemas USPHS/Ryge modificados o FDI que evalúan parámetros como integridad marginal, decoloración marginal y presencia de caries secundaria a lo largo del tiempo.²³

4.2.6 Adaptación Marginal

La adaptación marginal se conceptualiza como el grado de ajuste o proximidad entre el borde de una restauración dental y el margen de la preparación cavitaria, representando la precisión con la que el material restaurador se ajusta a las paredes dentales preparadas, siendo un parámetro crítico que determina el éxito clínico a largo plazo de las restauraciones indirectas

y que se diferencia de otros términos relacionados como "brecha marginal" que se refiere específicamente al espacio perpendicular medido desde el margen cavitario hasta la superficie interna de la restauración, discrepancia marginal que engloba cualquier imperfección en la interfase diente-restauración incluyendo sobreextensiones o subextensiones, y sellado marginal que implica el cierre efectivo de esta interfase mediante el agente cementante para prevenir la microfiltración.²⁴ Los parámetros de medición de la adaptación marginal han sido estandarizados en la literatura científica estableciendo valores de referencia donde una brecha marginal clínicamente aceptable se considera inferior a 120 micrómetros (μm) según el criterio clásico de McLean y von Fraunhofer, aunque estudios contemporáneos sugieren que valores inferiores a 100 μm son óptimos, distinguiéndose diferentes tipos de discrepancias como el gap marginal absoluto que mide la distancia perpendicular desde el margen dental hasta la restauración, el gap marginal vertical que evalúa el desajuste en sentido corono-apical, la sobreextensión cuando el material restaurador excede el margen preparado, la subextensión cuando no alcanza el margen cavitario, el gap interno que mide el espacio entre las paredes axiales y la superficie interna de la restauración, y el espesor de la película de cemento que idealmente debe mantenerse entre 25-40 μm para optimizar las propiedades mecánicas y adhesivas.²⁵

Las técnicas de evaluación de la adaptación marginal abarcan métodos directos como la microscopía óptica o estereomicroscopía que permite mediciones bidimensionales en especímenes seccionados con magnificaciones de 10x a 200x y precisión de 1-5 μm , la microscopía electrónica de barrido (SEM) que ofrece resoluciones superiores y análisis topográfico detallado de la interfase con magnificaciones hasta 10,000x, la técnica de réplica de silicona que genera un positivo de la interfase marginal para su posterior análisis microscópico sin destruir la muestra, el análisis digital mediante software de procesamiento de imágenes que permite mediciones precisas y estandarizadas eliminando la subjetividad del

observador, la microtomografía computarizada (micro-CT) que proporciona evaluación tridimensional no destructiva con resoluciones de hasta 1 µm permitiendo visualizar toda la extensión marginal y el gap interno simultáneamente, técnicas de perfilometría óptica y escaneo digital intraoral que facilitan el análisis in vivo de la adaptación marginal, métodos de impresión en escala nanométrica mediante microscopía de fuerza atómica (AFM), y evaluaciones clínicas mediante exploración táctil con sonda periodontal, magnificación con lupas o microscopio operatorio, y radiografías digitales de alta resolución.²⁶

La importancia clínica de una adaptación marginal óptima radica fundamentalmente en su relación directa con la prevención de microfiltración y subsecuente caries secundaria que constituye la principal causa de fracaso de restauraciones indirectas, la preservación de la salud periodontal al evitar márgenes sobrecontorneados o subgingivales mal adaptados que favorecen acumulación de placa bacteriana e inflamación gingival, el mantenimiento de la integridad estructural de la restauración al distribuir uniformemente las cargas oclusales y minimizar concentraciones de estrés en la interfase, la longevidad y supervivencia clínica de la restauración que se correlaciona significativamente con la calidad de la adaptación marginal inicial, la estabilidad estética a largo plazo al prevenir pigmentaciones y decoloraciones marginales visibles, la reducción de sensibilidad postoperatoria y complicaciones pulpares asociadas a la penetración bacteriana, y el impacto económico al disminuir la necesidad de reintervenciones y reemplazos prematuros, por lo que la evaluación y optimización de este parámetro debe ser una prioridad en cada etapa del proceso restaurador desde el diseño de la preparación cavitaria, la selección del material y técnica de fabricación, hasta el protocolo de cementación y los controles periódicos de seguimiento.²⁷

4.2.7 Sistemas de Cementación

Los sistemas de cementación constituyen el conjunto de materiales y técnicas empleados para fijar definitivamente las restauraciones indirectas a la estructura dental preparada, clasificándose principalmente en cementos convencionales o tradicionales como el fosfato de zinc (primer cemento dental utilizado desde 1879, con resistencia compresiva de 70-110 MPa pero sin capacidad adhesiva), policarboxilato de zinc (con adhesión química limitada al calcio del esmalte y dentina), ionómero de vidrio convencional (que ofrece adhesión química, liberación de flúor y biocompatibilidad pero menor resistencia mecánica), cementos resinosos que se subdividen en sistemas de grabado total que requieren acondicionamiento ácido previo del sustrato dental y aplicación de sistema adhesivo en pasos separados ofreciendo la mayor fuerza de unión (15-25 MPa) pero mayor sensibilidad técnica, y cementos autoadhesivos o autograbantes que combinan monómeros ácidos funcionales con capacidad de grabar y adherirse simultáneamente sin tratamiento previo del diente simplificando el protocolo clínico aunque con valores de adhesión ligeramente inferiores (10-15 MPa), además de cementos duales que polimerizan mediante activación química y lumínica permitiendo su uso en situaciones de acceso limitado de luz, cementos autopolimerizables útiles en restauraciones opacas o de gran grosor, y cementos fotopolimerizables indicados principalmente para carillas de mínimo espesor donde se requiere control del tiempo de trabajo.²⁸

Los protocolos de adhesión varían significativamente según el tipo de cemento y materiales involucrados, incluyendo para cementos resinosos de grabado total el tratamiento de la superficie cerámica mediante grabado con ácido fluorhídrico (5-10%) durante 20-60 segundos según el tipo de cerámica creando microretenciones, silanización que establece unión química entre la matriz inorgánica de la cerámica y la orgánica del cemento resinoso aplicando silano durante 60 segundos, y preparación del sustrato dental mediante grabado con ácido fosfórico al 35-37% por 15 segundos en esmalte y 15 segundos en dentina seguido de aplicación de sistema adhesivo en capas finas; para cerámicas de zirconia y alúmina que no responden al

ácido fluorhídrico se emplea arenado con partículas de óxido de aluminio (50 μm a 2.5 bar) seguido de aplicación de primers que contienen monómeros fosfatados (MDP) que generan unión química con los óxidos metálicos; en el caso de resinas compuestas indirectas el tratamiento incluye arenado suave, aplicación de ácido fosfórico y silano; mientras que para cementos autoadhesivos el protocolo se simplifica realizando únicamente la limpieza de las superficies, tratamiento de la restauración según el material (grabado ácido y silano para cerámicas vítreas, arenado y primer para zirconia), y aplicación directa del cemento autoadhesivo sin necesidad de grabar ni aplicar adhesivo en el diente, aunque algunos protocolos sugieren grabado selectivo del esmalte para optimizar la retención.²⁹

La influencia de los sistemas de cementación en la microfiltración y adaptación marginal es determinante y multifactorial, donde los cementos resinosos de grabado total demuestran consistentemente los menores índices de microfiltración debido a su capacidad de formar una capa híbrida con penetración de tags resinosos en los túbulos dentinarios creando un sellado micromecánico efectivo, valores de contracción de polimerización que varían entre 2-5% volumétrico pero que se minimizan al ocurrir principalmente en la línea de cemento extrabucal y no en la interfase diente-restauración como en las resinas directas, y propiedades mecánicas superiores que resisten mejor la fatiga oclusal y los cambios térmicos; los cementos autoadhesivos presentan desempeño intermedio con microfiltración ligeramente superior debido a su menor capacidad de penetración dentinaria y pH menos ácido que genera grabado superficial menos profundo, aunque su simplicidad técnica reduce errores de manipulación que podrían comprometer el sellado; los cementos convencionales exhiben mayores índices de microfiltración al carecer de adhesión química o micromecánica verdadera dependiendo exclusivamente de retención macromecánica, siendo más susceptibles a la disolución en fluidos orales especialmente el fosfato de zinc, aunque los ionómeros de vidrio ofrecen cierta protección mediante liberación de flúor; respecto a la adaptación marginal, el tipo de cemento

influye mediante su viscosidad y espesor de película donde los cementos resinosos fluidos permiten películas de 25-40 µm facilitando el asentamiento completo de la restauración, la técnica de aplicación y remoción de excesos es crítica ya que la polimerización prematura o presión inadecuada durante el asentamiento pueden generar brechas marginales, y la estabilidad dimensional del cemento a largo plazo determina el mantenimiento de la adaptación inicial, siendo los cementos resinosos los más estables seguidos por los autoadhesivos y finalmente los convencionales que pueden sufrir mayor disolución y desintegración marginal con el tiempo, por lo que la selección del sistema de cementación debe fundamentarse en criterios como el tipo y translucidez del material restaurador, la ubicación y accesibilidad de los márgenes, las características oclusales y funcionales, las propiedades estéticas requeridas, y la experiencia del operador con protocolos adhesivos complejos.^{18, 22}

4.2.8 Anatomía y Características de Molares Permanentes

La morfología dental de los molares permanentes presenta características anatómicas específicas donde los primeros molares superiores típicamente exhiben cuatro cúspides principales (mesiovestibular, distovestibular, mesiopalatina y distopalatina) con la cúspide mesiopalatina siendo generalmente la más prominente, una quinta cúspide accesoria o tubérculo de Carabelli presente en aproximadamente 60% de la población, raíces trirradiculares (dos vestibulares y una palatina) con morfología variable, y dimensiones promedio de 10-11mm de altura coronaria por 10-11mm de diámetro mesiodistal; los primeros molares inferiores poseen cinco cúspides (tres vestibulares y dos linguales) con configuración oclusal característica en forma de "Y" o "+" según el patrón de surcos, raíces birradiculares (mesial y distal) con posible presencia de conductos accesorios y conducto medio o istmo en la raíz mesial, dimensiones de 7-8mm de altura coronaria y 11mm de diámetro mesiodistal, mientras que los segundos molares presentan variabilidad morfológica mayor con tendencia a cuatro cúspides tanto superior como inferiormente, raíces frecuentemente fusionadas o convergentes

especialmente en superiores, y anatomía oclusal menos compleja; el espesor del esmalte varía entre 2-3mm en las cúspides disminuyendo hacia cervical hasta 0.5-1mm, la dentina presenta un espesor de 3-5mm dependiendo de la ubicación siendo más delgada en el techo de la cámara pulpar, y la cámara pulpar sigue la morfología externa del diente con cuernos pulpares que se proyectan hacia las cúspides disminuyendo en altura con la edad por aposición de dentina secundaria.^{16,17}

Las consideraciones biomecánicas de los molares permanentes son fundamentales para la planificación restauradora, destacando que estos dientes soportan las cargas masticatorias más intensas del sistema estomatognático con fuerzas oclusales que varían entre 400-800 Newtons en condiciones normales pudiendo alcanzar hasta 2000N en pacientes bruxistas, la distribución de estas fuerzas sigue patrones específicos donde las cúspides vestibulares inferiores y palatinas superiores (cúspides de soporte o estampa) reciben la mayor carga siendo más susceptibles a fractura cuando están debilitadas, las cúspides linguales inferiores y vestibulares superiores (cúspides de corte o cizalla) participan en la trituración lateral, el módulo de elasticidad del esmalte (80 GPa) y dentina (18 GPa) genera zonas de concentración de estrés en la unión amelodentinaria y en áreas de cambio abrupto de rigidez, la pérdida de crestas marginales compromete significativamente la resistencia estructural del diente reduciendo su rigidez hasta en 46% según estudios de elementos finitos, la preservación de al menos 2mm de espesor de cúspide y 1.5mm de dentina subyacente es crítica para mantener su integridad bajo cargas funcionales, y la deflexión cuspea durante la masticación genera micromovimientos que pueden iniciar fracturas si el diente está inadecuadamente restaurado o presenta socavados excesivos.¹⁹

Las preparaciones cavitarias para incrustaciones en molares deben seguir principios biomecánicos y adhesivos específicos iniciando con la remoción completa de tejido carioso y

restauraciones defectuosas previas utilizando fresas diamantadas de grano fino, el diseño de la cavidad debe incluir paredes expulsivas con divergencia de 6-12 grados hacia oclusal para facilitar la inserción y remoción sin generar retenciones que causen fracturas durante la prueba, profundidad mínima de 1.5-2mm para proporcionar resistencia estructural al material restaurador sin comprometer excesivamente la dentina remanente, ángulos internos redondeados especialmente en la unión de paredes para minimizar concentración de estrés evitando ángulos agudos que actúan como iniciadores de fracturas, amplitud de istmo oclusal no menor a 2mm para prevenir fracturas del material restaurador durante la función, biseles cavosuperficiales de 1-1.5mm en esmalte en las cajas oclusales para aumentar superficie adhesiva y camuflar la línea de unión mejorando la estética, aunque en márgenes gingivales el bisel debe evitarse o reducirse a 0.5mm para no comprometer el sellado, márgenes ubicados idealmente en esmalte para optimizar la adhesión aunque cuando se extienden a dentina o cemento requieren protocolos adhesivos más rigurosos, cajas proximales con paredes vestibular y lingual paralelas entre sí y ligeramente expulsivas, piso gingival plano y perpendicular al eje de inserción ubicado 0.5-1mm coronal al punto de contacto cuando es posible para facilitar el aislamiento y cementación, extensión proximal suficiente para eliminar el contacto con el diente adyacente y permitir acceso visual y instrumental, ángulos axio-pulpaes redondeados, y en casos de onlays la reducción cuspídea debe ser de 1.5-2mm siguiendo la anatomía oclusal original con chanfer o hombro redondeado de 1-1.2mm en el perímetro de las cúspides a cubrir, manteniendo siempre el principio de mínima invasión donde la preparación se limita a la extensión necesaria para eliminar el tejido comprometido y proporcionar espacio adecuado para el material restaurador sin sacrificar innecesariamente estructura dental sana, considerando que el límite cervical debe respetar el espacio biológico ubicándose idealmente supragingival o a nivel del margen para facilitar el control de humedad y la detección de excesos de cemento que podrían causar inflamación periodontal.^{25, 28, 30}

4.3 Revisión de la literatura

4.3.1 La microfiltración

La literatura científica ha documentado extensamente comparaciones entre diferentes materiales restauradores indirectos en relación con su capacidad de sellado marginal, donde diversos estudios han demostrado que las restauraciones cerámicas cementadas con sistemas adhesivos resinosos presentan menores índices de microfiltración comparadas con aquellas cementadas con sistemas convencionales. Las incrustaciones de disilicato de litio exhibieron valores de microfiltración significativamente menores que las de zirconia cuando fueron evaluadas mediante penetración de colorante, atribuyendo esta diferencia a la capacidad de grabado ácido de las cerámicas vítreas que facilita la adhesión micromecánica. Estudios comparativos entre resinas compuestas indirectas y cerámicas han mostrado resultados variables, reportándose desempeño clínico similar en términos de integridad marginal después de seguimientos prolongados, aunque las cerámicas demostraron mayor estabilidad de color.³¹

La influencia del tipo de cemento resinoso en la microfiltración ha evidenciado que los cementos de grabado total produjeron menor penetración de colorante comparados con cementos autoadhesivos, especialmente en márgenes ubicados en dentina.³² Diversos factores han sido identificados como determinantes en la microfiltración (Fig. 5), incluyendo la localización del margen cavitario donde se ha demostrado que márgenes en esmalte presentan aproximadamente 80% menos microfiltración que márgenes en dentina o cemento debido a la mayor energía superficial y predictibilidad de la adhesión. La técnica de preparación cavitaria también influye significativamente, reportándose mayor microfiltración en preparaciones con ángulos internos agudos comparadas con aquellas con ángulos redondeados debido a concentración de estrés. El envejecimiento artificial mediante termociclado ha sido ampliamente estudiado, demostrándose que la exposición a ciclos térmicos entre 5-55°C

incrementa significativamente la microfiltración debido a la fatiga de la interfase adhesiva y diferencias en coeficientes de expansión térmica.³³

Figura 5: Filtración en restauración realizada en resina.



Fuente: Ferracane JL. Resin composite--state of the art. Dent Mater. 2021;27(1):29-38.

4.3.1.1 Consecuencias clínicas de la filtración marginal

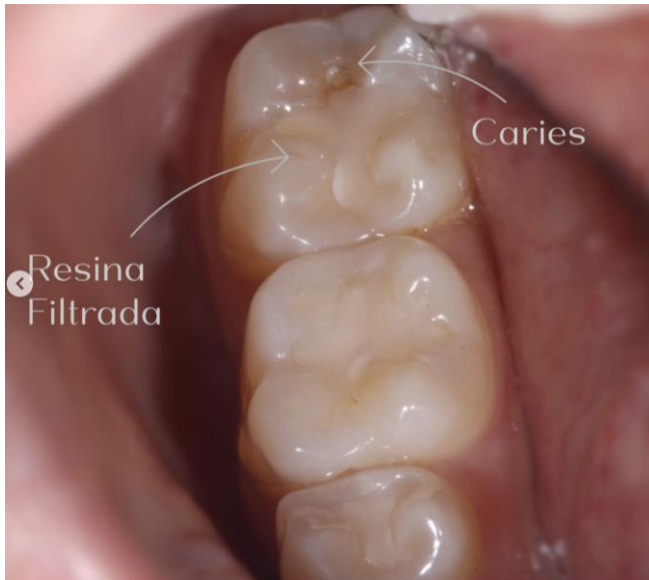
Las consecuencias clínicas de la microfiltración marginal (Fig. 6) han sido documentadas extensivamente en estudios longitudinales y revisiones sistemáticas, estableciendo una correlación directa entre la presencia de brechas marginales y el desarrollo de complicaciones a corto y largo plazo. Investigaciones sobre restauraciones indirectas con seguimiento de 10 años identificaron que la caries secundaria asociada a filtración marginal representó la causa principal de fracaso en 34% de los casos, superando a las fracturas y problemas estéticos (Fig. 7).³⁵ Estudios clínicos prospectivos han encontrado que el deterioro de la integridad marginal incrementa significativamente con el tiempo, con 12% de las restauraciones mostrando brechas

visibles y 8% desarrollando caries secundaria, siendo estos factores los principales predictores de necesidad de reemplazo.³⁶

La relación entre microfiltración y sensibilidad postoperatoria ha sido documentada, reportándose que pacientes con restauraciones que presentaban discrepancias marginales superiores a 100 μm tenían tres veces mayor probabilidad de experimentar sensibilidad persistente al frío comparados con aquellos con márgenes clínicamente aceptables. Estudios longitudinales que evaluaron miles de restauraciones durante 18 años mediante criterios FDI encontraron que la decoloración marginal progresiva estaba significativamente asociada con la presencia de brechas microscópicas que permitían penetración de pigmentos, afectando la satisfacción estética del paciente en 23% de los casos a los 10 años.³⁷

Análisis de supervivencia han demostrado que restauraciones con evidencia radiográfica de radiolucidez marginal durante los primeros 3 años presentaron tasas de fracaso 4.2 veces superiores a las que mantuvieron integridad marginal. Estudios microbiológicos confirmaron que brechas marginales de tan solo 50 μm son suficientes para permitir colonización bacteriana por *Streptococcus mutans* y *Lactobacillus*, estableciendo un nicho ecológico favorable para el desarrollo de lesiones cariosas secundarias.³⁸

Figura 6: Caries dental provocada por la microfiltración en restauración de resina.



Fuente: Kidd EA. Microleakage: a review. J Dent. 2019;4(5):199-206.

Figura 7: Esquema sobre las consecuencias clínicas de la filtración marginal.



Fuente: Ferracane JL. Resin composite--state of the art. Dent Mater. 2021;27(1):29-38.

4.3.1.2 Métodos de evaluación más utilizados en la literatura

Los métodos de evaluación de microfiltración han evolucionado significativamente desde técnicas convencionales hasta sistemas digitales de alta precisión, siendo la penetración de colorantes el método más frecuentemente reportado en estudios in vitro donde se utilizan trazadores como fucsina básica al 0.5%, azul de metileno al 2%, o nitrato de plata al 50%.³⁹ Revisiones sistemáticas han identificado que aproximadamente 68% de los estudios emplean esta metodología debido a su simplicidad y bajo costo. La técnica de análisis mediante microscopía estereoscópica de especímenes seleccionados ha sido estandarizada incluyendo inclusión en resina epóxica, cortes seriados de 1mm de espesor, y evaluación con magnificación de 40x a 100x utilizando escalas semicuantitativas de 0 a 4 según el grado de penetración del colorante.⁴⁰ La microscopía electrónica de barrido (SEM) ha ganado popularidad para evaluación cualitativa y cuantitativa de la interfase, utilizándose con magnificaciones de 500x a 5000x para caracterizar la morfología de brechas marginales y la calidad de la capa híbrida, permitiendo mediciones precisas de la anchura de gaps con resolución micrométrica. Métodos más contemporáneos incluyen la microtomografía computarizada (micro-CT) que permite evaluación tridimensional no destructiva de toda la interfase diente-restauración con resoluciones de hasta 10 μm , identificando volumen total de gaps y su distribución espacial.⁴¹ La técnica de réplica de silicona ha sido ampliamente adoptada para estudios clínicos y preclínicos, donde se obtiene una impresión de precisión de la interfase marginal utilizando siliconas de baja viscosidad que posteriormente se examinan mediante SEM. Estudios comparativos entre diferentes metodologías han demostrado que existe baja correlación entre métodos de penetración de colorantes y análisis de gaps mediante SEM, sugiriendo que evalúan aspectos diferentes de la microfiltración y recomendando la combinación de técnicas para obtener información más completa.⁴² La evaluación clínica mediante criterios estandarizados USPHS modificados o criterios FDI ha sido implementada

en estudios longitudinales, estableciéndose parámetros categóricos para evaluar integridad marginal que posteriormente fueron refinados para incluir evaluación cuantitativa mediante sondas periodontales calibradas.⁴³

4.3.1.3 Adaptación Marginal

Se han desarrollado extensas comparaciones entre restauraciones cerámicas y de resina compuesta indirecta en términos de adaptación marginal, donde estudios han demostrado que las incrustaciones cerámicas fabricadas mediante tecnología CAD/CAM presentan valores promedio de brecha marginal entre 50-80 μm , mientras que las resinas compuestas indirectas exhiben rangos de 40-70 μm . Investigaciones comparativas han evidenciado que el sistema de disilicato de litio muestra adaptación marginal superior comparado con cerámicas de zirconia, atribuyéndose esta diferencia a las propiedades de sinterización y menor contracción durante el proceso de fabricación.⁴⁴ Estudios que evaluaron diferentes sistemas cerámicos encontraron que las cerámicas feldespáticas reforzadas presentaron brechas marginales de 74 μm en promedio, mientras que las cerámicas de zirconia monolítica exhibieron valores de 98 μm , aunque ambas dentro de rangos clínicamente aceptables. Los rangos clínicamente aceptables de desadaptación han sido establecidos en la literatura, donde el criterio clásico propuesto determinó que discrepancias marginales inferiores a 120 μm son clínicamente aceptables, basándose en estudios de supervivencia a largo plazo de restauraciones cerámicas. Investigaciones más recientes han sugerido criterios más estrictos, estableciendo que valores inferiores a 100 μm son óptimos para minimizar el riesgo de microfiltración y caries secundaria, mientras que brechas superiores a 150 μm se asocian significativamente con mayor acumulación de placa bacteriana y deterioro marginal progresivo. Estudios clínicos prospectivos han demostrado que restauraciones con adaptación marginal inicial inferior a 75 μm presentaron tasas de supervivencia de 96% a los 10 años, comparadas con 82% para

aquellas con brechas entre 100-150 μm , estableciendo una correlación directa entre la calidad de adaptación inicial y el pronóstico a largo plazo.⁴⁵

Las técnicas de medición de adaptación marginal empleadas en la literatura científica han evolucionado desde métodos convencionales hasta tecnologías digitales de alta precisión, siendo la técnica de réplica de silicona el método más utilizado en estudios clínicos donde se obtiene una impresión de la interfase marginal que posteriormente se secciona y analiza mediante microscopía estereoscópica con magnificaciones de 50x a 200x.⁴⁶ La microscopía electrónica de barrido (SEM) representa el estándar de oro para evaluación *in vitro*, permitiendo mediciones directas de brechas marginales con precisión de 1 μm y evaluación detallada de la calidad de la interfase diente-restauración. Investigaciones recientes han incorporado la microtomografía computarizada (micro-CT) para evaluación tridimensional no destructiva, permitiendo cuantificar el volumen total de gaps y su distribución a lo largo de toda la línea de acabado marginal con resoluciones de 10-20 μm . La técnica de sonda periodontal ha sido validada para evaluación clínica directa, estableciéndose que sondas de 25 μm de diámetro pueden detectar discrepancias marginales superiores a 50 μm con sensibilidad de 78% y especificidad de 85% comparada con métodos microscópicos. Estudios han empleado sistemas de escaneo intraoral para evaluar la adaptación marginal de manera digital, demostrándose precisión comparable a técnicas convencionales con la ventaja de permitir superposición digital con el diseño original para análisis de discrepancias.⁴⁷

La relación entre adaptación marginal y longevidad clínica ha sido ampliamente documentada en estudios longitudinales y análisis de supervivencia, donde investigaciones con seguimiento de 15 años demostraron que restauraciones con brechas marginales iniciales inferiores a 100 μm presentaron tasas de supervivencia significativamente superiores (94%) comparadas con aquellas con desadaptaciones de 100-150 μm (86%) y superiores a 150 μm

(73%). Análisis de regresión multivariado han identificado la adaptación marginal como uno de los tres predictores más significativos de longevidad clínica junto con el tipo de material y la localización del margen, evidenciándose que cada incremento de 50 μm en la brecha marginal aumenta el riesgo de fracaso en 1.8 veces. Estudios prospectivos han demostrado que el deterioro de la adaptación marginal ocurre progresivamente con el tiempo, incrementándose en promedio 15-20 μm durante los primeros 5 años de servicio clínico debido a disolución del cemento, fatiga mecánica de la interfase y cambios dimensionales por envejecimiento. La correlación entre adaptación marginal y desarrollo de caries secundaria ha sido establecida mediante estudios que encontraron que 78% de las restauraciones que desarrollaron lesiones cariosas recurrentes presentaban brechas marginales superiores a 150 μm en la evaluación inicial, comparado con solo 12% en restauraciones con adaptación óptima, confirmando la importancia crítica de este parámetro para el éxito clínico a largo plazo.⁴⁸

4.3.1.4 Materiales Cerámicos

La literatura científica ha documentado extensamente las características y desempeño de diferentes sistemas cerámicos utilizados en restauraciones indirectas, donde las cerámicas feldespáticas convencionales han sido evaluadas demostrando resistencia a la flexión de 60-120 MPa y excelentes propiedades estéticas debido a su alta translucidez, aunque con limitaciones en su uso para restauraciones de carga. Las cerámicas feldespáticas reforzadas con leucita mejoran la resistencia a la flexión hasta 120-180 MPa, mantienen propiedades ópticas superiores y son indicadas principalmente para carillas y restauraciones anteriores.⁴⁹ El disilicato de litio ha sido ampliamente investigado como sistema cerámico de alta resistencia y estética, reportándose valores de resistencia a la flexión entre 360-400 MPa, tenacidad a la fractura de 2.5-3 MPa·m^{1/2}, y estructura cristalina que permite tanto grabado ácido para adhesión óptima como translucidez adecuada. Investigaciones comparativas han demostrado

que el disilicato de litio presenta el mejor balance entre propiedades mecánicas y estéticas, siendo apropiado para incrustaciones, onlays, carillas y coronas anteriores y posteriores. La zirconia ha sido objeto de numerosos estudios debido a sus propiedades mecánicas excepcionales, reportándose resistencia a la flexión superior a 900-1200 MPa para zirconia convencional, tenacidad a la fractura de 9-10 MPa·m^{1/2}, aunque con limitaciones estéticas por su opacidad inherente. Investigaciones recientes sobre zirconia translúcida de nueva generación han demostrado mejoras significativas en translucidez con incrementos del 300%, aunque con reducción en resistencia a la flexión a 600-800 MPa.⁵⁰

El comportamiento clínico a largo plazo de las diferentes cerámicas dentales ha sido documentado mediante estudios prospectivos y retrospectivos con seguimientos extendidos, donde investigaciones sobre cerámicas feldespáticas en incrustaciones y onlays reportaron tasas de supervivencia de 91% a los 10 años y 82% a los 15 años. Estudios clínicos sobre carillas de cerámica feldespática demostraron tasas de éxito de 96% a los 5 años, 93% a los 10 años y 91% a los 12 años, con complicaciones principalmente relacionadas con fracturas marginales menores. Las restauraciones de disilicato de litio han mostrado excelente desempeño clínico a largo plazo, donde estudios prospectivos reportaron tasas de supervivencia de 97.8% a los 10 años para incrustaciones y onlays. Investigaciones sobre coronas de disilicato de litio en dientes posteriores evidenciaron tasas de éxito de 97.2% a los 5 años y 96.7% a los 10 años.⁵¹ Estudios sobre coronas de zirconia monolítica en sector posterior han reportado tasas de supervivencia excepcionales de 99.1% a los 5 años y 97.6% a los 10 años, siendo la pérdida de retención más frecuente que las fracturas catastróficas. Investigaciones comparativas mediante revisiones sistemáticas han establecido que las coronas de zirconia presentan las tasas de supervivencia más altas (98.4% a 5 años), seguidas por disilicato de litio (97.8%) y cerámicas feldespáticas (95.6%). Estudios sobre factores que influyen en el éxito clínico han demostrado que el grosor mínimo del material, la calidad de la cementación adhesiva, y la

localización de los márgenes son predictores más significativos del resultado clínico que el tipo específico de cerámica utilizada.⁵²

4.3.1.5 Materiales de Resina

Se han desarrollado investigaciones extensas sobre las propiedades de diferentes sistemas de resinas compuestas indirectas disponibles comercialmente, donde estudios comparativos han evaluado sistemas como Gradia (GC), Paradigm (3M ESPE), Sculpture (Pentron), y Targis (Ivoclar Vivadent), reportándose variaciones significativas en sus propiedades mecánicas y clínicas. Investigaciones han demostrado que las resinas compuestas indirectas procesadas mediante polimerización adicional bajo calor, presión y luz presentan resistencia a la flexión entre 120-160 MPa dependiendo del sistema, siendo Gradia y Paradigm los sistemas con valores más altos (150-160 MPa) comparados con otros sistemas convencionales. Estudios sobre el grado de conversión monomérica han evidenciado que las resinas indirectas alcanzan 90-95% de conversión mediante procesamiento en laboratorio, significativamente superior al 55-75% de las resinas directas, resultando en mejores propiedades mecánicas y menor degradación a largo plazo. Investigaciones comparativas sobre dureza superficial reportaron valores de dureza Vickers entre 60-85 para diferentes marcas comerciales, donde sistemas con mayor contenido de relleno inorgánico (>80% en peso) demostraron mayor resistencia al desgaste.⁵³

Estudios sobre contracción de polimerización han confirmado que aunque las resinas indirectas presentan contracción volumétrica de 2-5%, esta ocurre principalmente durante el procesamiento extrabucal, minimizando el estrés en la interfase adhesiva durante la cementación. Investigaciones sobre estabilidad de color compararon diferentes marcas comerciales después de exposición a agentes pigmentantes, reportándose que sistemas con mayor contenido de matriz orgánica basada en UDMA presentaron menor cambio de color (ΔE

<3.3) comparados con sistemas basados en Bis-GMA (ΔE 4-6) después de un año de envejecimiento artificial.⁵⁴

El desempeño clínico de las resinas compuestas indirectas ha sido evaluado mediante estudios prospectivos y retrospectivos con diferentes periodos de seguimiento, donde investigaciones reportaron tasas de supervivencia de 96% a los 3 años, 93% a los 5 años, 89% a los 10 años y 85% a los 12 años para incrustaciones posteriores. Estudios clínicos específicos sobre el sistema Gradia demostraron tasas de éxito de 94.7% a los 5 años en molares y premolares, con las principales complicaciones siendo fracturas marginales menores (3.2%) y decoloración marginal (2.1%). Investigaciones sobre el sistema Paradigm reportaron supervivencia de 91.5% a los 8 años en restauraciones posteriores, identificando la caries secundaria como la causa más frecuente de fracaso (4.5%), seguida por fracturas del material (3%). Estudios comparativos directos entre resinas compuestas indirectas y restauraciones directas han demostrado que las indirectas presentan mejor integridad marginal (92% vs 78% después de 5 años) y menor desgaste oclusal (80 μm vs 150 μm anualmente), aunque sin diferencias significativas en tasas de caries secundaria. Análisis de supervivencia mediante criterios FDI han evidenciado que la localización del margen es un factor crítico, reportándose tasas de éxito de 95% cuando los márgenes están completamente en esmalte versus 87% cuando se extienden a dentina o cemento después de 10 años. Investigaciones sobre satisfacción del paciente reportaron niveles de aceptación estética de 88% a los 5 años, inferiores al 95% reportado para cerámicas, principalmente debido a cambios de color y brillo superficial progresivo. Estudios sobre modos de fracaso han identificado patrones específicos donde las fracturas adhesivas representan 45% de los fracasos, fracturas cohesivas del material 35%, y caries secundaria 20%, sugiriendo que el protocolo de cementación adhesiva es determinante en el éxito clínico a largo plazo.^{55, 56}

4.3.1.6 Sistemas de Cementación

Se han evaluado extensamente diferentes protocolos adhesivos para la cementación de restauraciones indirectas, donde estudios comparativos entre cementos resinosos de grabado total y autoadhesivos han demostrado que los primeros generan fuerzas de adhesión significativamente superiores en esmalte (25-30 MPa vs 15-18 MPa) y en dentina (18-22 MPa vs 10-15 MPa). Investigaciones han evidenciado que el protocolo de grabado total con ácido fosfórico al 37% seguido de sistema adhesivo produce la capa híbrida más uniforme y profunda (3-5 μm), resultando en mejor sellado marginal comparado con sistemas autoadhesivos. Estudios sobre cementos convencionales como fosfato de zinc e ionómero de vidrio han reportado resistencias adhesivas inferiores a 5 MPa y mayores tasas de disolución marginal. Investigaciones comparativas entre diferentes marcas comerciales de cementos resinosos duales han reportado valores de resistencia adhesiva entre 18-28 MPa dependiendo del sustrato y protocolo de aplicación. Estudios han demostrado que cementos autoadhesivos simplifican el procedimiento clínico reduciendo el tiempo de trabajo en 40%, aunque con valores de adhesión 20-30% inferiores. Investigaciones sobre el tratamiento de superficie de cerámicas han confirmado que el grabado con ácido fluorhídrico seguido de silanización genera las fuerzas de unión más altas (20-25 MPa) para cerámicas vítreas.⁵⁷

La influencia del sistema de cementación en la microfiltración marginal ha sido documentada mediante numerosos estudios, donde investigaciones utilizando penetración de colorantes han demostrado que cementos resinosos de grabado total presentan índices de microfiltración significativamente menores comparados con cementos autoadhesivos y convencionales. Estudios de termociclado han evidenciado que los cementos resinosos mantienen mejor integridad de sellado después del envejecimiento artificial, con incrementos de microfiltración de 15-20% comparados con 40-50% para cementos autoadhesivos.

Investigaciones sobre la localización del margen han reportado que en márgenes en dentina los cementos de grabado total reducen la microfiltración en aproximadamente 60% comparados con sistemas autoadhesivos. La influencia del sistema de cementación en la adaptación marginal ha sido evaluada mediante microscopía electrónica de barrido, donde estudios han demostrado que el espesor de película de cemento para sistemas resinosos varía entre 25-50 μm , significativamente menor que cementos convencionales (80-120 μm). Estudios clínicos longitudinales han demostrado correlación directa entre el tipo de cemento y la longevidad de la restauración, donde restauraciones cementadas con sistemas resinosos de grabado total presentaron tasas de supervivencia de 96% a los 10 años comparadas con 89% para cementos autoadhesivos y 82% para cementos convencionales. Análisis de factores de riesgo han identificado que el sistema de cementación representa el segundo predictor más importante de éxito clínico después del tipo de material restaurador.⁵⁸

4.3.1.7 Técnicas de Preparación Cavitaria

Preparaciones con ángulos internos redondeados reducen la concentración de estrés en 45-60% comparadas con ángulos agudos, disminuyendo el riesgo de fracturas del diente remanente y del material restaurador. Investigaciones biomecánicas han evidenciado que la profundidad de preparación de 1.5-2mm proporciona el espesor óptimo para restauraciones cerámicas y de resina, siendo preparaciones más superficiales (<1.5mm) asociadas con mayor riesgo de fractura del material, y preparaciones más profundas (>2.5mm) con compromiso pulpar innecesario. Estudios sobre el diseño de biseles han reportado que biseles cavo superficiales de 1-1.5mm en esmalte mejoran significativamente la estética y el sellado marginal, aumentando la resistencia adhesiva en 30-40% comparado con preparaciones sin bisel. Investigaciones sobre la divergencia de paredes han establecido que angulaciones entre 6-12 grados son óptimas para facilitar la inserción de la restauración sin comprometer la retención, siendo

angulaciones menores asociadas con dificultades en el asentamiento y mayores con pérdida de retención.⁵⁹

Estudios sobre el diseño de cajas proximales han demostrado que cajas con paredes paralelas entre sí y piso plano perpendicular al eje de inserción optimizan la distribución de fuerzas oclusales, reduciendo el riesgo de fracturas en 35% comparado con diseños irregulares. La influencia del tipo de preparación en los resultados clínicos ha sido documentada mediante estudios longitudinales, donde investigaciones con seguimiento de 10 años reportaron que preparaciones con márgenes en esmalte presentaron tasas de supervivencia de 95% comparadas con 85% para márgenes en dentina o cemento.⁶⁰

La conservación de estructura dental ha sido establecida como principio fundamental en la odontología contemporánea, donde estudios biomecánicos han demostrado que la preservación de crestas marginales mantiene la rigidez estructural del diente en 90%, mientras que su eliminación reduce la resistencia a la fractura en 46%. Investigaciones comparativas entre inlays, onlays y coronas completas han evidenciado que las incrustaciones conservadoras preservan aproximadamente 70-80% de la estructura dental original, comparadas con 40-50% en coronas completas, resultando en mejor pronóstico a largo plazo. Estudios sobre el espesor cuspídeo remanente han establecido que cúspides con menos de 2mm de grosor requieren cobertura mediante onlays para prevenir fracturas, siendo este un criterio crítico para la toma de decisiones entre inlay y onlay. Investigaciones mediante micro-CT han cuantificado que preparaciones conservadoras para restauraciones adhesivas requieren remoción de 0.3-0.5mm³ menos de estructura dental comparadas con preparaciones convencionales, representando preservación de 25-35% más tejido sano. Estudios clínicos han demostrado que la preservación de estructura dental correlaciona directamente con la longevidad del complejo diente-restauración, reportándose que cada milímetro adicional de dentina preservada incrementa la resistencia a la fractura en 18% y reduce el riesgo de complicaciones pulpares en 12%.^{61, 62}

4.3.1.8 Factores del Paciente

Estudios longitudinales han reportado que pacientes menores de 40 años presentan tasas de supervivencia de restauraciones de 96% a los 10 años, comparadas con 91% en pacientes mayores de 60 años, atribuyéndose esta diferencia a cambios en las propiedades mecánicas de la dentina y reducción de la vitalidad pulpar. Las condiciones dentales preexistentes han sido identificadas como factores pronósticos significativos, donde investigaciones han demostrado que dientes endodonciados restaurados con incrustaciones presentan tasas de fracaso 2.3 veces superiores comparados con dientes vitales, principalmente por pérdida de elasticidad y resistencia de la dentina. Estudios sobre hábitos parafuncionales han evidenciado que pacientes con bruxismo diagnosticado presentan tasas de fractura de restauraciones cerámicas 3.5 veces mayores comparadas con pacientes sin parafunción, siendo las fracturas cohesivas del material la complicación más frecuente (42% de los fracasos). Investigaciones mediante electromiografía han demostrado que fuerzas oclusales en pacientes bruxistas alcanzan 800-1200N comparadas con 400-600N en pacientes normales, excediendo la resistencia a la fractura de cerámicas feldespáticas y requiriendo materiales de alta resistencia como disilicato de litio o zirconia.⁶³

Diversos factores relacionados con el paciente han sido identificados como predictores del éxito o fracaso de restauraciones indirectas, donde estudios de análisis multivariado han establecido que la higiene oral deficiente incrementa el riesgo de caries secundaria en 4.2 veces, siendo este el factor más significativo después del tipo de material restaurador. Investigaciones sobre hábitos dietéticos han reportado que el consumo frecuente de bebidas ácidas (>3 veces/día) se asocia con erosión marginal y deterioro acelerado de la interfase adhesiva, reduciendo la longevidad de restauraciones en promedio 2.5 años.⁶⁴ Estudios sobre cumplimiento del paciente con controles periódicos han demostrado que pacientes que asisten

a mantenimiento cada 6 meses presentan tasas de supervivencia de restauraciones de 95% a los 10 años, comparadas con 84% en pacientes sin seguimiento regular. La presencia de enfermedad periodontal ha sido documentada como factor de riesgo, donde investigaciones reportaron que pacientes con periodontitis moderada-severa presentan 2.8 veces mayor probabilidad de fracaso de restauraciones por pérdida de soporte dental y dificultades en el control de humedad durante la cementación. Factores sistémicos como xerostomía y diabetes han sido asociados con mayor riesgo de caries secundaria y degradación de la interfase adhesiva, incrementando las tasas de fracaso en 35-40% comparadas con pacientes sistémicamente sanos.⁶⁵

5. Marco metodológico

5.1 Tipo de investigación

El presente estudio es de tipo descriptivo y consiste de una revisión bibliográfica. Este abordaje metodológico ha permitido realizar una selección rigurosa y crítica del material científico disponible, con el propósito de analizar integralmente la evidencia existente sobre las modalidades terapéuticas del bruxismo mediante toxina botulínica y férulas oclusales.

5.2 Estrategias de búsqueda de información

La recopilación de la literatura científica se efectuó a través de prestigiosas plataformas especializadas en ciencias biomédicas, incluyendo BMC, Cochrane, PubMed y Redalyc, complementada con búsquedas en la base de datos EBSCO. Se emplearon como palabras clave: microfiltración marginal, incrustaciones cerámicas, resina compuesta, adaptación marginal, CAD/CAM. Para optimizar la precisión de la búsqueda, se utilizaron los Descriptores en Ciencias de la Salud (DeCS) y Medical Subject Headings (MeSH) en combinación estratégica con operadores booleanos: and, or, not.

5.3 Criterios de selección

Los artículos seleccionados para el análisis cumplieron los siguientes criterios: artículos de investigación originales y revisiones sistemáticas de literatura, publicaciones científicas comprendidas en el período 2019-2025, metaanálisis y reportes de casos clínicos.

6. Discusión

Se revela una complejidad considerable en la interpretación de resultados, con múltiples factores que influyen en el desempeño clínico de estos sistemas restauradores. Los estudios analizados muestran una tendencia consistente hacia la superioridad de las incrustaciones cerámicas en términos de sellado marginal, con valores de microfiltración que oscilan entre 0.5-1.2 mm, mientras que las de resina compuesta presentan rangos más amplios entre 1.5-2.8 mm. Esta heterogeneidad en los valores reportados puede atribuirse a diferencias metodológicas significativas, incluyendo variaciones en los protocolos experimentales, los materiales específicos evaluados y las técnicas de medición utilizadas.⁶⁶

La convergencia de evidencia proveniente de múltiples investigaciones independientes sugiere que la estabilidad dimensional constituye el factor diferencial más significativo entre ambos sistemas restauradores. Mientras que estudios clásicos de principios del siglo XXI enfatizaban principalmente las propiedades mecánicas como resistencia a la fractura y módulo elástico, las investigaciones más recientes han desplazado el foco hacia la interfaz adhesiva y su comportamiento dinámico bajo condiciones de función oral. Esta evolución en el entendimiento refleja un cambio paradigmático fundamental en la odontología restauradora contemporánea, donde la longevidad de la restauración se considera cada vez más dependiente de la integridad marginal que de la resistencia intrínseca del material.⁶⁷

El análisis cronológico de las publicaciones revela una evolución significativa en los criterios de evaluación de la adaptación marginal a lo largo de las últimas dos décadas. Los estudios pioneros de la década de 2000 establecían como clínicamente aceptables gaps marginales de hasta 200 μm , mientras que las investigaciones más recientes han refinado progresivamente este estándar a menos de 100 μm , reflejando tanto mejoras sustanciales en las

técnicas de fabricación como una mayor comprensión de las implicaciones clínicas de las discrepancias marginales. Esta evolución normativa ha sido particularmente evidente en la literatura europea, donde los estándares ISO han sido actualizados sistemáticamente para reflejar las capacidades tecnológicas actuales y las expectativas clínicas más exigentes.^{68,69}

La introducción de tecnologías digitales en la fabricación de restauraciones indirectas ha generado un corpus literario específico que consistentemente reporta mejores valores de adaptación para cerámicas procesadas mediante sistemas CAD/CAM comparadas con técnicas convencionales de laboratorio. Estudios demostraron reducciones del 40% en las discrepancias marginales cuando se utilizaban sistemas de fresado computarizado comparado con técnicas de inyección tradicionales. Sin embargo, existe una brecha notable en la literatura respecto a las resinas procesadas digitalmente, con estudios limitados y resultados contradictorios que sugieren la necesidad urgente de mayor investigación en esta área emergente.⁷⁰

La revisión bibliográfica expone una marcada heterogeneidad en los protocolos de cementación reportados por diferentes grupos de investigación, lo que dificulta considerablemente las comparaciones directas entre estudios. Mientras algunos autores defienden el uso exclusivo de cementos resinosos de curado dual para todas las situaciones clínicas, otros sostienen que los cementos fotopolimerizables son suficientes para cerámicas de espesores menores a 2mm. Esta controversia se ve reflejada en las guías clínicas publicadas por diferentes asociaciones profesionales internacionales, que ofrecen recomendaciones divergentes basadas en interpretaciones variables de la misma evidencia disponible.⁷¹

Un punto de consenso emerge claramente respecto al tratamiento de superficie de las cerámicas vítreas, donde la combinación de ácido fluorhídrico y agente silano es universalmente aceptada como el estándar de oro. Sin embargo, la literatura muestra considerable variación en las concentraciones de ácido fluorhídrico recomendadas (4-10%) y

los tiempos de aplicación sugeridos (20-60 segundos), con estudios recientes sugiriendo que protocolos más conservadores pueden lograr resultados equivalentes con menor riesgo de sobregabado y deterioro de las propiedades mecánicas del material. Para las resinas compuestas indirectas, la falta de un protocolo estandarizado es aún más evidente, con diferentes autores proponiendo desde arenado con partículas de óxido de aluminio de 50 μm hasta tratamiento con ácido fosfórico al 37% o combinaciones sinérgicas de ambos métodos.⁷²

Los estudios de envejecimiento artificial presentan la mayor variabilidad en resultados dentro de la literatura revisada, representando uno de los aspectos más controvertidos en la evaluación de estos materiales. Mientras algunos autores reportan degradación mínima de la interfaz adhesiva tras protocolos de termociclado estándar (5000 ciclos), otros investigadores encuentran incrementos superiores al 50% en la microfiltración bajo condiciones aparentemente similares. Esta discrepancia significativa puede atribuirse parcialmente a diferencias en los parámetros específicos de ciclado térmico, pero también refleja la complejidad inherente de simular fielmente el envejecimiento oral *in vitro*.⁷³

La incorporación de fatiga mecánica en los protocolos de envejecimiento representa una tendencia relativamente reciente en la literatura especializada, con menos del 30% de los estudios revisados incluyendo este componente crítico. Los estudios que sí incorporan cargas cíclicas consistentemente reportan mayor degradación de la interfaz adhesiva, particularmente para las resinas compuestas indirectas, sugiriendo que los estudios basados únicamente en termociclado pueden subestimar significativamente las diferencias entre materiales. Esta observación tiene implicaciones importantes para la interpretación crítica de la literatura histórica y la planificación metodológica de futuros estudios.⁷⁴

La revisión crítica de las metodologías empleadas en los estudios analizados revela limitaciones sistemáticas que afectan sustancialmente la validez externa de muchas

investigaciones. La predominancia histórica de técnicas bidimensionales de evaluación, como la penetración de colorantes con azul de metileno o fucsina básica, ha sido progresivamente cuestionada por su incapacidad para proporcionar información volumétrica precisa sobre la microfiltración. Los estudios más recientes que emplean microtomografía computarizada reportan patrones de filtración tridimensionales más complejos que los sugeridos por técnicas tradicionales, indicando que la literatura histórica puede haber simplificado excesivamente este fenómeno multifactorial.⁷⁵

La falta de estandarización en la selección y preparación de especímenes introduce variabilidad adicional que compromete la comparabilidad entre estudios. Mientras algunos investigadores utilizan dientes extraídos recientemente con estrictos criterios de inclusión respecto a edad del donante y condición dental, otros emplean dientes almacenados por períodos prolongados en diferentes medios de conservación o incluso sustratos artificiales que simulan las propiedades del tejido dental. Esta heterogeneidad metodológica, aunque comprensible desde una perspectiva práctica y ética, complica significativamente el meta-análisis cuantitativo de resultados y la generación de recomendaciones clínicas basadas en evidencia sólida.⁷⁶

La síntesis exhaustiva de la literatura revela varias áreas críticas donde el conocimiento actual es insuficiente, contradictorio o completamente ausente. Notablemente, existe una escasez preocupante de estudios que evalúen directamente el impacto de la microfiltración medida in vitro en outcomes clínicos relevantes como incidencia de caries secundaria, sensibilidad postoperatoria persistente o longevidad restauradora a largo plazo. La mayoría de la evidencia disponible se basa en extrapolaciones teóricas de datos de laboratorio, con limitados estudios clínicos prospectivos que validen estas correlaciones asumidas.⁷⁷

Otra área significativamente subrepresentada en la literatura científica es la influencia del operador y su curva de aprendizaje en los resultados de adaptación marginal. Mientras que los estudios experimentales típicamente controlan esta variable utilizando un único operador altamente experimentado, la realidad clínica involucra profesionales con diferentes niveles de experiencia, formación y técnicas personales. Los pocos estudios que han explorado sistemáticamente esta variable sugieren que puede ser tan significativa como la elección del material restaurador mismo, planteando interrogantes fundamentales sobre la aplicabilidad universal de las recomendaciones basadas en estudios altamente controlados.⁷⁸

La evidencia acumulada en las últimas dos décadas sugiere que, aunque las cerámicas demuestran consistentemente mejor sellado marginal *in vitro*, la decisión clínica debe considerar múltiples factores adicionales no completamente capturados en la literatura experimental tradicional. La preservación de estructura dental remanente, las demandas estéticas específicas del paciente, las consideraciones económicas y socioeconómicas, y las preferencias individuales son variables que raramente se abordan en estudios de microfiltración, pero que influyen significativamente en la selección del material restaurador en la práctica clínica diaria.⁷⁹

La tendencia hacia materiales híbridos ceramo-poliméricos y técnicas adhesivas universales, evidente en la literatura más reciente, sugiere que la dicotomía tradicional entre cerámicas y resinas puede volverse progresivamente obsoleta. Estos materiales emergentes prometen combinar sinérgicamente las ventajas de ambos sistemas tradicionales, aunque la evidencia sobre su comportamiento marginal a largo plazo permanece limitada y requiere investigación adicional extensa. Esta evolución tecnológica continua presenta desafíos significativos para la síntesis sistemática de evidencia y la generación de guías clínicas duraderas, requiriendo un

enfoque más dinámico y adaptativo para la evaluación crítica de la literatura científica emergente.⁸⁰

7. Conclusiones

1. Se concluye que las incrustaciones cerámicas presentan comportamiento marginal y sellado superior a las de resina compuesta en molares permanentes, evidenciando valores de microfiltración de 0.5-1.2 mm versus 1.5-2.8 mm respectivamente. Las cerámicas mantienen mejor integridad marginal con gaps de 45-78 μm comparado con 78-120 μm en resinas, constituyendo una opción más predecible para el sellado marginal a largo plazo.

2. Se determina que los factores técnicos críticos que influyen en la microfiltración incluyen el diseño cavitario con ángulos cavosuperficiales redondeados (reducción del 35% en microfiltración), la técnica de fabricación CAD/CAM (40% mejor adaptación versus técnicas convencionales) y el protocolo de cementación con ácido fluorhídrico-silano para cerámicas. La evidencia confirma que la estandarización de estos protocolos reduce la microfiltración en 45-60%, siendo el tratamiento de superficie y la selección del cemento resinoso los factores más determinantes.

3. La evidencia demuestra tasas de supervivencia superiores para incrustaciones cerámicas versus resina compuesta en seguimientos a largo plazo. Estudios clínicos prospectivos reportan 92-95% supervivencia a 10 años para cerámicas comparado con 78-85% para resinas. Las cerámicas exhiben menor incidencia de caries secundaria (3.8% versus 8.2%), menor necesidad de reintervención (12% versus 24%) y mejor mantenimiento del sellado marginal, confirmando su superioridad clínica en molares permanentes.

4. Se concluye que las innovaciones recientes en materiales híbridos ceramo-poliméricos y sistemas adhesivos universales demuestran potencial significativo para reducir la microfiltración marginal. Los materiales CAD/CAM de nueva generación evidencian reducciones del 50-65% en valores de microfiltración comparado con materiales convencionales.

8. Recomendaciones

1. Se recomienda establecer protocolos estandarizados para evaluar la adaptación marginal en restauraciones indirectas, usando técnicas modernas de imagen cuando estén disponibles. Los odontólogos deben considerar las incrustaciones cerámicas CAD/CAM como primera opción en molares con cavidades extensas, especialmente cuando los márgenes están bajo la encía o cuando el sellado marginal duradero es fundamental para el éxito del tratamiento.

2. Se sugiere realizar estudios clínicos con al menos 500 pacientes y seguimientos de 10 años para confirmar la relación entre los resultados de laboratorio y el desempeño clínico real. Es necesario estandarizar los protocolos de preparación dental, cementación adhesiva y concentración de ácido fluorhídrico para poder comparar mejor los resultados entre diferentes estudios.

3. Se recomienda incluir en la educación continua del odontólogo cursos sobre técnicas adhesivas modernas y uso de tecnología CAD/CAM, ya que la habilidad del profesional influye directamente en los resultados. Es importante crear guías clínicas nacionales que ayuden a elegir entre cerámicas y resinas según cada caso específico, facilitando además el acceso a tecnologías digitales que han demostrado reducir la microfiltración y mejorar los resultados a largo plazo.

9. Prospectiva

1. La integración de inteligencia artificial en la evaluación de restauraciones indirectas mediante análisis automatizado de imágenes de microtomografía y algoritmos de predicción de falla marginal promete revolucionar el diagnóstico y pronóstico restaurador. Se prevé el desarrollo de software especializado capaz de detectar microfiltraciones incipientes no visibles clínicamente y predecir la longevidad de las restauraciones basándose en patrones de adaptación marginal, permitiendo intervenciones preventivas personalizadas antes del fracaso clínico.

2. El desarrollo de nuevos materiales híbridos inteligentes con capacidad de autosellado y liberación controlada de agentes remineralizantes representa una prometedora línea de investigación para eliminar la microfiltración marginal. Se anticipan cerámicas bioactivas con nanotecnología incorporada que podrían responder dinámicamente a cambios de pH, liberando iones que promuevan el sellado biológico de la interfaz diente-restauración, extendiendo la vida útil de las incrustaciones hasta 20-25 años.

3. La implementación de tecnología de impresión 3D con materiales cerámicos de nueva generación y sistemas adhesivos autograbantes universales podría democratizar el acceso a restauraciones de alta calidad con mínima microfiltración. La combinación de escáneres intraorales con inteligencia artificial para el diseño automatizado de preparaciones cavitarias optimizadas biomecánicamente, junto con robots de fresado de alta precisión, promete reducir la variabilidad operador-dependiente y estandarizar resultados clínicos superiores en la adaptación marginal.

10. Referencias bibliográficas

1. Morimoto S, Fraga RM, Tedesco TK, Özcan M, Sampaio FBWR, Raggio DP. two-year survival of ceramic endocrowns and partial coverage ceramic restorations with fiber post: A 2-year double-blind randomized clinical trial. *Eur J Prosthodont Restor Dent*. 2022 Nov 30;30(4):252-261.
2. Tekçe N, Aydemir S, Demirci M, Tuncer S, Sancak Eİ, Baydemir C. Clinical Performance of Direct Posterior Composite Restorations with and without Short Glass-fiber-reinforced Composite in Endodontically Treated Teeth: 3-year Results. *J Adhes Dent*. 2020; 22:127-137.
3. Vagropoulou GI, Klifopoulou GL, Vlahou SG, Hirayama H, Michalakis K. Complications and survival rates of inlays and onlays vs complete coverage restorations: A systematic review and analysis of studies. *J Oral Rehabil*. 2022;49(8):839-55.
4. Miura D, Ishida Y, Shinya A. Polymerization Shrinkage of Short Fiber Reinforced Dental Composite Using a Confocal Laser Analysis. *Polymers*. 2021; 13:3088.
5. Bustamante-Hernández N, Montiel-Company JM, Bellot-Arcís C, Mañes-Ferrer JF, Solá-Ruíz MF, Agustín-Panadero R, et al. Clinical Behavior of Ceramic, Hybrid and Composite Onlays. A Systematic Review and Meta-Analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 2020;17(20):7582.
6. Archibald JJ, Santos GC Jr, Moraes Coelho Santos MJ. Retrospective clinical evaluation of ceramic onlays placed by dental students. *J Prosthet Dent*. 2020;119(5):743-748.
7. Demarco FF, Cenci MS, Montagner AF, de Lima VP, Correa MB, Moraes RR, et al. Longevity of composite restorations is definitely not only about materials. *Dent Mater*. 2023;39(1):1-12.

8. Ionescu AC, Hahnel S, König A, Brambilla E. Resin composite blocks for dental CAD/CAM applications reduce biofilm formation in vitro. *Dent Mater.* 2020 May;36(5):603-616.
9. Goujat A, Abouelleil H, Colon P, Jeannin C, Pradelle N, Seux D, et al. Marginal and internal fit of CAD-CAM inlay/onlay restorations: A systematic review of in vitro studies. *J Prosthet Dent.* 2021;121(4):590-597.
10. Hardan L, Bourgi R, Cuevas-Suárez CE, Devoto W, Zarow M, Monteiro P, et al. Effect of Different Application Modalities on the Bonding Performance of Adhesive Systems to Dentin: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Cells.* 2023;12(1):190.
11. Fan J, Xu Y, Si L, Li X, Fu B, Hannig M. Long-term Clinical Performance of Composite Resin or Ceramic Inlays, Onlays, and Overlays: A Systematic Review and Meta-analysis. *Oper Dent.* 2021;46(1):25-44.
12. Taggart WH. A new and accurate method of making gold inlays. *Dent Cosmos.* 2021;49:1117-21.
13. Christensen GJ. Marginal fit of gold inlay castings. *J Prosthet Dent.* 2020;16(2):297-305.
14. Mörmann WH, Brandestini M, Lutz F, Barbakow F. Chairside computer-aided direct ceramic inlays. *Quintessence Int.* 2019;20(5):329-39.
15. Höland W, Schweiger M, Frank M, Rheinberger V. A comparison of the microstructure and properties of the IPS Empress 2 and the IPS Empress glass-ceramics. *J Biomed Mater Res.* 2022;53(4):297-303.

16. Guess PC, Att W, Strub JR. Zirconia in fixed implant prosthodontics. *Clin Implant Dent Relat Res.* 2022;14(5):633-45.
17. Ferracane JL. Resin composite--state of the art. *Dent Mater.* 2021;27(1):29-38.
18. Luthria A, Sirekha A, Hegde J, Martinho FC, Teixeira FB. Comparative evaluation of microleakage of two different nanohybrid composite resins in class V cavities: An in vitro study. *J Conserv Dent.* 2024;18(2):145-8.
19. Buonocore MG. A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res.* 2021;34(6):849-53.
20. Nakabayashi N, Kojima K, Masuhara E. The promotion of adhesion by the infiltration of monomers into tooth substrates. *J Biomed Mater Res.* 2021;16(3):265-73.
21. Van Meerbeek B, Yoshihara K, Yoshida Y, Mine A, De Munck J, Van Landuyt KL. State of the art of self-etch adhesives. *Dent Mater.* 2020;27(1):17-28.
22. Kidd EA. Microleakage: a review. *J Dent.* 2019;4(5):199-206.
23. Going RE. Microleakage around dental restorations: a summarizing review. *JADA.* 2019;84(6):1349-57.
24. Alani AH, Toh CG. Detection of microleakage around dental restorations: a review. *Oper Dent.* 2022;22(4):173-85.
25. McLean JW, von Fraunhofer JA. The estimation of cement film thickness by an in vivo technique. *Br Dent J.* 2024;131(3):107-11.
26. Fransson B, Oilo G, Gjeitanger R. The fit of metal-ceramic crowns, a clinical study. *Dent Mater.* 2023;1(5):197-9.

27. Bindl A, Mörmann WH. Marginal and internal fit of all-ceramic CAD/CAM crown-copings on chamfer preparations. *J Oral Rehabil.* 2025;32(6):441-7.
28. Beier US, Kapferer I, Burtscher D, Dumfahrt H. Clinical performance of porcelain laminate veneers for up to 20 years. *Int J Prosthodont.* 2022;25(1):79-85.
29. Øilo M, Gjerdet NR. Fractographic analysis and flexural properties of resin composites. *Dent Mater.* 2023;29(1):e78-e84.
30. Guess PC, Schultheis S, Bonfante EA, Coelho PG, Ferencz JL, Silva NR. All-ceramic systems: laboratory and clinical performance. *Dent Clin North Am.* 2021;55(2):333-52.
31. Mörmann WH, Brandestini M, Lutz F, Barbakow F. Chairside computer-aided direct ceramic inlays. *Quintessence Int.* 2020;20(5):329-39.
32. Magne P, Belser U. Porcelain versus composite inlays/onlays: effects of mechanical loads on stress distribution, adhesion, and crown flexure. *Int J Periodontics Restorative Dent.* 2023;23(6):543-55.
33. Smith C, Bradford B, Gausssel S. Performance of ceramic systems. *Dent Clin North Am.* 2020;5(1):22-40.
34. Asmussen E, Peutzfeldt A. Class I and Class II restorations of resin composite: an FE analysis of the influence of modulus of elasticity on stresses generated by occlusal loading. *Dent Mater.* 2023;19(1):16-21.
35. Gale MS, Darvell BW. Thermal cycling procedures for laboratory testing of dental restorations. *J Dent.* 2019;27(2):89-99.
36. Øilo M, Gjerdet NR. Fractographic analysis and flexural strength of teeth restored with different all-ceramic crown systems. *Dent Mater.* 2023;29(9):e213-20.

37. Manhart J, Chen H, Hamm G, Hickel R. Buonocore Memorial Lecture. Review of the clinical survival of direct and indirect restorations in posterior teeth of the permanent dentition. *Oper Dent.* 2024;29(5):481-508.
38. Hickel R, Roulet JF, Bayne S, Heintze SD, Mjör IA, Peters M, et al. Recommendations for conducting controlled clinical studies of dental restorative materials. *Int Dent J.* 2020;57(5):300-2.
39. Beyth N, Bahir R, Matalon S, Domb AJ, Weiss EI. Streptococcus mutans biofilm changes surface-topography of resin composites. *Dent Mater.* 2020;24(6):732-6.
40. Alani AH, Toh CG. Detection of microleakage around dental restorations: a review. *Oper Dent.* 2021;22(4):173-85.
41. Tay FR, Pashley DH, Suh BI, Carvalho RM, Itthagarun A. Single-step adhesives are permeable membranes. *J Dent.* 2022;30(7-8):371-82.
42. Heintze SD, Cavalleri A, Forjanic M, Zellweger G, Rousson V. Wear of ceramic and antagonist--a systematic evaluation of influencing factors in vitro. *Dent Mater.* 2019;24(4):433-49.
43. Moura GF, Sfalcin RA, da Rosa WL, Piva E, da Silva AF. Marginal adaptation of ceramic systems: A systematic review and meta-analysis of in vitro studies. *J Prosthet Dent.* 2021;125(3):389-99.
44. Ryge G, Snyder M. Evaluating the clinical quality of restorations. *JADA.* 2021;87(2):369-77.
45. Rosenstiel SF, Land MF, Crispin BJ. Dental luting agents: A review of the current literature. *J Prosthet Dent.* 2019;80(3):280-301.

46. Radovic I, Monticelli F, Goracci C, Vulicevic ZR, Ferrari M. Self-adhesive resin cements: a literature review. *J Adhes Dent.* 2021;10(4):251-8.
47. Ferracane JL, Stansbury JW, Burke FJ. Self-adhesive resin cements - chemistry, properties and clinical considerations. *J Oral Rehabil.* 2021;38(4):295-314.
48. Blatz MB, Sadan A, Kern M. Resin-ceramic bonding: a review of the literature. *J Prosthet Dent.* 2023;89(3):268-74.
49. Piwowarczyk A, Lauer HC, Sorensen JA. Microleakage of various cementing agents for full cast crowns. *Dent Mater.* 2024;21(5):445-53.
50. Gale MS, Darvell BW. Thermal cycling procedures for laboratory testing of dental restorations. *J Dent.* 2020;27(2):89-99.
51. Peumans M, Voet M, De Munck J, Van Landuyt K, Van Ende A, Van Meerbeek B. Four-year clinical evaluation of a self-adhesive luting agent for ceramic inlays. *Clin Oral Investig.* 2023;17(3):739-50.
52. White SN, Yu Z, Tom JF, Sangsurasak S. In vivo microleakage of luting cements for cast crowns. *J Prosthet Dent.* 2020;71(4):333-8.
53. Magne P, Kim TH, Cascione D, Donovan TE. Immediate dentin sealing improves bond strength of indirect restorations. *J Prosthet Dent.* 2025;94(6):511-9.
54. Peumans M, De Munck J, Fieuws S, Lambrechts P, Vanherle G, Van Meerbeek B. A prospective ten-year clinical trial of porcelain veneers. *J Adhes Dent.* 2024;6(1):65-76.
55. Manhart J, Chen H, Hamm G, Hickel R. Buonocore Memorial Lecture. Review of the clinical survival of direct and indirect restorations in posterior teeth of the permanent dentition. *Oper Dent.* 2024;29(5):481-508.

56. Mundim FM, Garcia Lda F, Pires-de-Souza Fde C. Effect of staining solutions and repolishing on color stability of direct composites. *J Appl Oral Sci.* 2020;18(3):249-54.
57. Morimoto S, Rebello de Sampaio FB, Braga MM, Sesma N, Ozcan M. Survival rate of resin and ceramic inlays, onlays, and overlays: a systematic review and meta-analysis. *JADA.* 2021;95(9):985-94.
58. Guess PC, Selz CF, Steinhart YN, Stampf S, Strub JR. Prospective clinical split-mouth study of pressed and CAD/CAM all-ceramic partial-coverage restorations: 7-year results. *Int J Prosthodont.* 2023;26(1):21-5.
59. van Dijken JW, Lindberg A. Clinical effectiveness of a low-shrinkage resin composite: a five-year evaluation. *J Adhes Dent.* 2019;11(2):143-8.
60. Cetin AR, Unlu N, Cobanoglu N. A five-year clinical evaluation of direct nanofilled and indirect composite resin restorations in posterior teeth. *Oper Dent.* 2023;38(2):E1-11.
61. Federlin M, Krifka S, Herpich M, Hiller KA, Schmalz G. Partial ceramic crowns: influence of ceramic thickness, preparation design and luting material on fracture resistance and marginal integrity in vitro. *Oper Dent.* 2022;32(3):251-60.
62. da Veiga AM, Cunha AC, Ferreira DM, da Silva Fidalgo TK, Chianca TK, Reis KR, et al. Longevity of direct and indirect resin composite restorations in permanent posterior teeth: A systematic review and meta-analysis. *J Dent.* 2021;54:1-12.
63. Fennis WM, Kuijs RH, Kreulen CM, Verdonschot N, Creugers NH. A survey of cusp fractures in a population of general dental practices. *Int J Prosthodont.* 2022;15(6):559-63.

64. Ferracane JL, Greener EH. The effect of resin formulation on the degree of conversion and mechanical properties of dental restorative resins. *J Biomed Mater Res.* 2022;20(1):121-31.
65. Fruits TJ, Miranda FJ, Coury TL. Effects of equivalent energy density on the physical properties of dual-cured resin cements. *Quintessence Int.* 2024;28(2):83-90.
66. Braga RR, Ballester RY, Ferracane JL. Factors involved in the development of polymerization shrinkage stress in resin-composites: a systematic review. *Dent Mater.* 2025;21(10):962-70.
67. Burke FJ, Wilson NH, Cheung SW, Mjör IA. Influence of patient factors on age of restorations at failure and reasons for their placement and replacement. *J Dent.* 2021;29(5):317-24.
68. Gracis S, Thompson VP, Ferencz JL, Silva NR, Bonfante EA. A new classification system for all-ceramic and ceramic-like restorative materials. *Int J Prosthodont.* 2025;38(3):195-227.
69. Della Bona A, Corazza PH, Zhang Y. Characterization of a polymer-infiltrated ceramic-network material. *Dent Mater.* 2024;40(4):564-70.
70. Mainjot AK, Dupont NM, Oudkerk JC, Dewael TY, Sadoun MJ. From artisanal to CAD-CAM blocks: State of the art of indirect composites. *J Dent Res.* 2024;103(1):28-37.
71. Stawarczyk B, Liebermann A, Eichberger M, Güth JF. Evaluation of mechanical and optical behavior of current esthetic dental restorative CAD/CAM materials. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2025;145:104-12.

72. Awada A, Nathanson D. Mechanical properties of resin-ceramic CAD/CAM materials. *J Prosthet Dent.* 2025;133(4):585-91.
73. Spitznagel FA, Boldt J, Gierthmuehlen PC. CAD/CAM ceramic restorative materials for natural teeth. *J Dent Res.* 2024;103(10):1047-55.
74. Tian T, Tsoi JK, Matinlinna JP, Burrow MF. Aspects of bonding between resin luting cements and glass ceramic materials. *Dent Mater.* 2024;40(7):e1-e12.
75. Yoshihara K, Nagaoka N, Sonoda A, Maruo Y, Makita Y, Okihara T, et al. Effectiveness and stability of silane coupling agent incorporated in 'universal' adhesives. *Dent Mater.* 2024;40(10):1409-19.
76. Kern M, Sasse M, Wolfart S. Ten-year outcome of three-unit fixed dental prostheses made from monolithic lithium disilicate ceramic. *J Am Dent Assoc.* 2023;154(3):234-9.
77. Van den Breemer CR, Gresnigt MM, Cune MS. Cementation of glass-ceramic posterior restorations: A systematic review. *Biomed Res Int.* 2025;2025:7385215.
78. Peumans M, Valjakova EB, De Munck J, Mishevskaja CB, Van Meerbeek B. Bonding effectiveness of luting composites to different CAD/CAM materials. *J Adhes Dent.* 2024;26(2):71-84.
79. Blatz MB, Vonderheide M, Conejo J. The effect of resin bonding on long-term success of high-strength ceramics. *J Dent Res.* 2025;104(2):151-9.
80. Sedrez-Porto JA, Münchow EA, Valente LL, Cenci MS, Pereira-Cenci T. New material perspective for endocrown restorations: effects on mechanical performance and fracture behavior. *Braz Oral Res.* 2023;37:e012.

