Facultad de Odontología

Odontoestomatología
DOI: 10.22592/ode2026n48e345

Estado actual de la fijación adhesiva en restauraciones indirectas de zirconia dental

ACTUALIZACIÓN

Current status of adhesive bonding in indirect dental zirconia restorations

Estado atual da colagem em restaurações dentárias indiretas de zircônia

Resumen

» **Objetivo.** Revisar el estado del arte sobre las distintas estrategias de adhesión de la zirconia dental a los tejidos dentarios, así como los agentes adhesivos empleados y las técnicas disponibles en la práctica clínica.

» **Material y métodos.** Se llevó a cabo una revisión narrativa de la literatura mediante la consulta de las bases de datos PubMed y BVS Odontología.

» **Resultados.** La búsqueda inicial arrojó un total de 1556 registros. 35 registros cumplieron con los criterios de inclusión y fueron incorporados al análisis cualitativo. Para el acondicionamiento interno de la superficie de zirconia se han propuesto diversos tratamientos mecánicos como el arenado con partículas de óxido de aluminio, el recubrimiento triboquímico con sílice, la irradiación láser, el grabado químico y la aplicación de porcelana de baja fusión. También se ha reportado el uso de agentes limpiadores destinados a eliminar contaminantes superficiales tras la prueba intraoral. Por otro lado, se han evaluado distintos imprimadores que contienen monómeros fosfatados funcionales. Finalmente, los cementos resinosos de activación dual y química parecen ser los más utilizados en la práctica clínica para la cementación adhesiva a zirconia.

» **Conclusiones.** Actualmente, no existe un consenso definitivo respecto al protocolo adhesivo ideal para restauraciones de zirconia. Sin embargo, diversos estudios proponen el protocolo ALPC (Arenado, Limpieza, *Primer* y Cemento resinoso) como una estrategia eficaz para lograr una fijación adhesiva confiable de este tipo de restauraciones.

Palabras clave: Cerámica dental, Adhesión dental, Cementos dentarios, Cementado, 10-MDP.

AUTORÍA

María Clara Rodriguez Dohir[1]

Matías Mederos[2]

Guillermo Grazioli[2]

1 Docente de Preclínico Endo Restaurador y de Clínica de Tratamiento 2, Carrera de Odontología de la facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Católica del Uruguay.

2 Subunidad de Biomateriales Dentales, Departamento de Odontología Preventiva y Restauradora, Facultad de Odontología, Udelar.

CORRESPONDENCIA
Guillermo Grazioli
ggrazioli@gmail.com

Recibido: 22/06/2025
Aceptado: 18/11/2025

CC BY

Abstract

» **Objective.** Review the state of the art regarding the different adhesion strategies of dental zirconia to tooth tissues, as well as the adhesive agents used and the techniques available in clinical practice.

» **Materials and Methods.** A narrative review of the literature was carried out by consulting the PubMed and BVS Odontología databases.

» **Results.** The initial search yielded a total of 1556 records. 35 studies met the inclusion criteria and were incorporated into the qualitative analysis. Various mechanical treatments have been proposed for the internal conditioning of zirconia surfaces including sandblasting with aluminum oxide particles, tribochemical silica coating, laser irradiation, chemical etching and the application of low-fusing porcelain. The use of cleaning agents to eliminate surface contaminants after intraoral try-ins has also been reported. In addition, different primers containing functional phosphate monomers have been evaluated. Finally, dual-cure and self-cure resin cements appear to be the most commonly used materials for adhesive cementation to zirconia.

» **Conclusions.** Currently, there is no definitive consensus on the ideal adhesive protocol for zirconia restorations. However, several studies propose the ALPC protocol (Airborne-particle abrasion, Cleaning, Primer, and Resin cement) as an effective strategy to achieve reliable adhesive bonding of this type of restoration.

Keywords: Dental ceramics, Dental adhesion, Dental cements, Cementation, 10-MDP.

Resumo

» **Objetivo.** Revisar o estado da arte sobre as diferentes estratégias de adesão da zircônia dental aos tecidos dentários, bem como os agentes adesivos utilizados e as técnicas disponíveis na prática clínica.

» **Materiais e métodos.** Foi realizada uma revisão narrativa da literatura por meio da consulta às bases de dados PubMed e BVS Odontología.

» **Resultados.** A busca inicial resultou em um total de 1556 registros. 35 estudos atenderam aos critérios de inclusão e foram incorporados à análise qualitativa. Diversos tratamentos mecânicos foram propostos para o condicionamento interno da superfície da zircônia incluindo jateamento com partículas de óxido de alumínio, revestimento triboquímico com sílica, irradiação a laser, ataque químico e aplicação de porcelana de baixa fusão. Também foi relatado o uso de agentes de limpeza destinados à remoção de contaminantes superficiais após provas intraorais. Além disso, foram avaliados diferentes *primers* contendo monômeros fosfatados funcionais. Finalmente, os cimentos resinosos de ativação dual e química parecem ser os mais utilizados na prática clínica para a cimentação adesiva da zircônia.

» **Conclusões.** Atualmente, não há consenso definitivo quanto ao protocolo adesivo ideal para restaurações em zircônia. No entanto, diversos estudos propõem o protocolo ALPC (Abrasão com partículas, Limpeza, *Primer* e Cimento resinoso) como uma estratégia eficaz para alcançar uma adesão confiável desse tipo de restauração.

Palavras-chave: Cerâmica dental, Adesão dentária, Cimentos dentários, Cimentação, 10-MDP.

Introducción

La creciente demanda de restauraciones dentales estéticas ha impulsado de manera significativa la evolución y el desarrollo de una amplia variedad de materiales restauradores.[1,2] En este contexto, las cerámicas libres de metal se han consolidado como los materiales de elección frente a los tradicionales materiales ceramo-metálicos, debido a su capacidad para mimetizar la apariencia natural del diente con mayor fidelidad.[3-5] Además, estas cerámicas ofrecen importantes ventajas en términos de biocompatibilidad y estabilidad química a largo plazo, lo que ha ampliado considerablemente su campo de indicación en la práctica clínica odontológica actual.[5,6]

El dióxido de zirconio (ZrO_2), conocido comúnmente como zirconia, es una forma cristalina de zirconio y pertenece a la familia de las cerámicas.[7] Se trata de un material cerámico altamente resistente y biocompatible que ha ganado gran popularidad en la odontología restauradora actual debido a sus destacadas propiedades mecánicas y estéticas.[7-9] Estas características posicionan a la zirconia como uno de los biomateriales de elección para la fabricación de restauraciones estéticas indirectas y definitivas, tanto unitarias como múltiples (empleadas principalmente en el sector posterior) así como también para su uso en rehabilitaciones sobre implantes dentales.[1,3] Además, este material ha evolucionado en diversas formulaciones, según la composición del polvo, los aditivos para sinterización, los tratamientos térmicos y otros factores de procesamiento.[10]

No obstante, la adhesión eficaz y duradera entre la zirconia y las superficies dentarias naturales representa un desafío debido a la baja energía superficial y a la estabilidad química de este material, que le confieren resistencia al grabado con ácido fluorhídrico y a la silanización convencional, usada para otros tipos de cerámicas.[11,12] Para superar estas limitaciones, se han desarrollado diversas estrategias que incluyen tratamientos superficiales específicos, sistemas adhesivos y agentes de unión química y mecánica, con el objetivo de lograr una unión fuerte y estable.[13]

A pesar de estos avances, existen controversias respecto a cuáles son las estrategias más efectivas para obtener una fijación adhesiva confiable entre las restauraciones de zirconia y las estructuras dentarias.[13,14] Estas dificultades se asocian a las particularidades propias del material cerámico, como su baja energía superficial y la ausencia de grupos reactivos.[15,16] Comprender los principios fundamentales de la adhesión a la zirconia es crucial para el éxito clínico y la longevidad de las restauraciones.[3,17] Por ello, el objetivo del presente trabajo fue identificar y analizar las diferentes estrategias de adhesión a la zirconia descritas en la literatura, así como los agentes adhesivos y técnicas disponibles en la práctica clínica actual.

Metodología

Se realizó una revisión narrativa de la literatura con enfoque descriptivo, aplicando la estrategia PICO. La población (P) incluyó dientes restaurados con prótesis fijas o restauraciones indirectas en zirconia que requieren un protocolo adhesivo para su fijación clínica. La intervención (I) abarcó distintas técnicas de acondicionamiento interno de la zirconia y el uso de agentes adhesivos, como arenado, recubrimiento triboquímico, irradiación láser, grabado químico, aplicación de porcelana de baja fusión, agentes limpiadores e imprimadores con monómeros fosfatados. La comparación (C) se estableció entre estas técnicas y sistemas de cementación, tanto individualmente como en combinación, con énfasis en el protocolo ALPC (Arenado, Limpieza, *Primer* y Cemento resinoso). El resultado (O) de interés fue la eficacia de la adhesión, considerando resistencia de unión, estabilidad a largo plazo y aplicabilidad clínica.

La búsqueda bibliográfica se llevó a cabo en las bases de datos Medline (a través de PubMed) y la Biblioteca Virtual en Salud Odontología (BVS Odontología). Se complementó la búsqueda con la consulta de las referencias de los estudios incluidos.

Para la estrategia de búsqueda se emplearon descriptores MeSH en inglés, incluyendo: “zirconium”, “dental bonding”, “dental restoration, permanent”, “dental adhesives”, “dental cements”, “cementation” y “resin cements”, junto con sus equivalentes en idioma español. Las palabras clave fueron combinadas mediante operadores booleanos AND y OR (**Tabla 1**).

Tabla 1. Estrategia de búsqueda en PubMed y BVS Odontología

PubMed	Zirconium AND (Bonding OR Permanent Dental Restoration OR Dental Adhesives OR Dental Cements OR Cementation OR Resin Cements)
BVS Odontología	Zirconia AND (adhesión dental OR restauración dental permanente OR adhesivos dentales OR cementos dentales OR cementado OR cementos resinosos)

Como criterios de inclusión se consideraron los siguientes:

1. estudios o protocolos de adhesión sobre superficies de zirconia;
2. disponibles en texto completo;
3. del tipo investigaciones *in vitro*, ensayos clínicos, revisiones sistemáticas con metanálisis;
4. publicaciones redactadas en idioma inglés o español; y
5. publicados entre enero de 2018 y mayo de 2025.

En contraposición, se excluyeron:

1. revisiones de la literatura de tipo narrativa o sistemática ya publicadas;
2. cartas al editor;
3. estudios o protocolos de adhesión centrados en los tejidos dentarios (esmalte y dentina); y
4. estudios que abordan la fijación de otro tipo de cerámicas dentales, incluyendo metal-cerámica, disilicato de litio, etc.

La selección de los estudios incluidos fue realizada de forma independiente por dos investigadores (CR y GG). En una primera etapa, se realizó la evaluación de los títulos y resúmenes. Posteriormente, se procedió a la lectura completa de los artículos seleccionados para confirmar su pertinencia teniendo en cuenta los criterios de inclusión y exclusión previamente reportados. Se registraron los datos relevantes de cada publicación, tales como apellido del primer autor y año, título del estudio, tipo de estudio y principales resultados encontrados (**Tabla 2**).

Resultados

De la búsqueda inicial con las palabras clave, se obtuvieron 1556 registros. A los resultados de dicha búsqueda, se les aplicaron filtros de búsqueda y eliminación de duplicados obteniendo 1548 registros. De éstos, se seleccionaron a través de título y resumen 58 registros para ser leídos en forma completa. Finalmente, en base a los criterios de selección se obtuvieron 35 registros para ser analizados cualitativamente en la presente revisión (**Figura 1**).

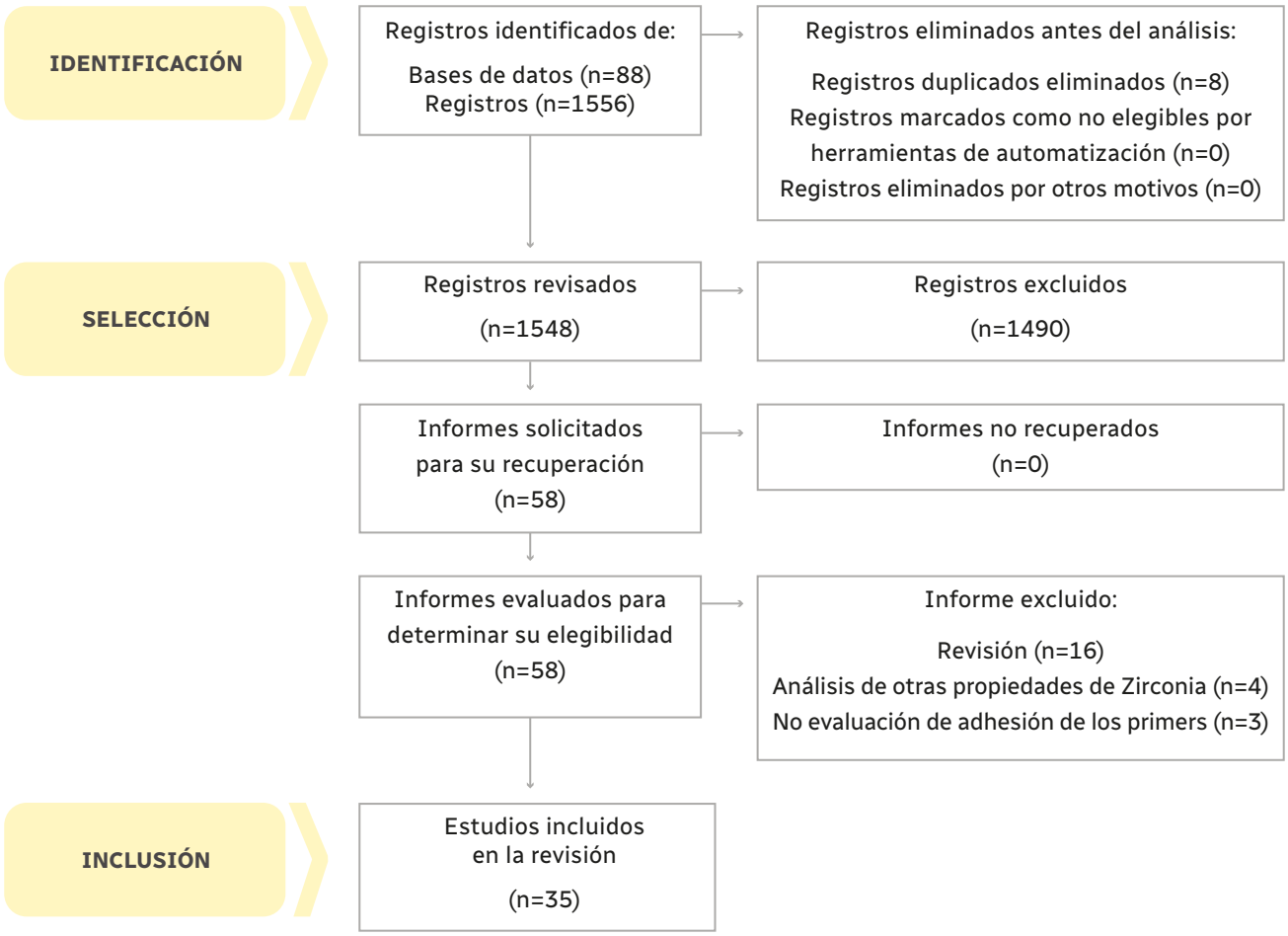


Figura 1. Diagrama de búsqueda y selección de registros.

Del total de registros obtenidos, 33 (94,3%) se trataron de estudios de tipo *in vitro*, 1 correspondiente a un metanálisis de estudios *in vitro* (2,9%) y uno de tipo clínico (2,9%). Los estudios incluidos evaluaron principalmente la adhesión y durabilidad de la unión a zirconia, considerando factores como resistencia a la fractura, adaptación marginal, efectos de la contaminación y limpieza, modificaciones de superficie, interacción química con monómeros funcionales y el desempeño comparativo de distintos cementos resinosos y convencionales (**Tabla 2**).

Tabla 2. Información de los estudios incluidos (n=35)

Autor, año	Título del estudio	Tipo de estudio	Resultados principales
Genc, 2025	Effects of Cleaning Protocols on Resin Bond Strength to Saliva-Contaminated Monolithic Zirconia	*In vitro*	Protocolos específicos de limpieza mejoran significativamente la adhesión de resinas a Zr contaminada con saliva
Yenamandra, 2024	Effect of Various Surface Treatments of Zirconia on its Adhesive Properties to Dentin: An In Vitro Study	*In vitro*	Diferentes tratamientos superficiales incrementan la adhesión de Zr a dentina
Demir, 2024	Bonding Effectiveness of Saliva-Contaminated Monolithic Zirconia Ceramics Using Different Decontamination Protocols	*In vitro*	Algunos protocolos de descontaminación promueven eficazmente la capacidad adhesiva de la Zr tras la contaminación
Hajjaj, 2022	Effect of Different Cleaning Methods on Shear Bond Strength of Resin Cement to Contaminated Zirconia	*In vitro*	Ciertas técnicas de limpieza mantienen o mejoran la resistencia al corte del cemento resinoso en Zr contaminada
Piulachs, 2023	In vitro comparative study between adhesion forces obtained on zirconia ceramic micromechanically treated with femtosecond laser (1027 nm), carbon dioxide laser (10,600 nm), and aluminum-oxide particles	*In vitro*	Tratamientos con láser varían la fuerza adhesiva, mostrando diferencias significativas entre los métodos evaluados
Siwen, 2017*	Effects of different surface modifications on micro-structure and adhesion of zirconia ceramic: an in vitro study	*In vitro*	Las modificaciones superficiales afectan la microestructura y mejoran la adhesión a Zr de manera variable
Noronha, 2020	Effect of zirconia decontamination protocols on bond strength and surface wettability	*In vitro*	Algunos protocolos de descontaminación mejoran la resistencia de unión y la humectabilidad superficial de la Zr
Angkasith, 2016*	Cleaning Methods for Zirconia Following Salivary Contamination	*In vitro*	Ciertos métodos de limpieza son efectivos para remover contaminantes salivales y preservar la adhesión de la Zr

Chen, 2025	Nonthermal Atmospheric Plasma Promotes Bonding Between Adhesive Monomers and Zirconia	*In vitro*	El plasma atmosférico no térmico aumenta significativamente la adhesión entre monómeros adhesivos y Zr
Khanlar, 2022	Effect of Air-Particle Abrasion Protocol and Primer on The Topography and Bond Strength of a High-Translucent Zirconia Ceramic	*In vitro*	El protocolo de abrasión y el uso de *primer* influyen positivamente en la topografía y resistencia adhesiva a la Zr
Tyor, 2023	Fracture resistance of monolithic translucent zirconia crown bonded with different self-adhesive resin cement: influence of MDP-containing zirconia primer after aging	*In vitro*	La resistencia a la fractura se ve beneficiada por el uso de *primer* con MDP en coronas de Zr translúcida adhesivamente cementadas
Li, 2020	High bonding strength between zirconia and composite resin based on combined surface treatment for dental restorations	*In vitro*	La combinación de tratamientos superficiales logra una adhesión elevada entre Zr y resina compuesta
Kessler, 2024	Influence of additive and subtractive zirconia and lithium disilicate manufacturing on tensile bond strength and surface topography	*In vitro*	El método de fabricación afecta la resistencia de unión y topografía superficial en la Zr y disilicato de litio
Gonçalves, 2024	Exploring Zirconia Adhesion: Pre and Postsintering Physical Surface Treatment, Chemical Treatment, and Cement Interactions	*In vitro*	Diferentes tratamientos físicos y químicos antes y después de la sinterización impactan en la adhesión y la interacción con cementos
Ruales-Carrera, 2019	Adhesion behavior of conventional and high-translucent zirconia: Effect of surface conditioning methods and aging using an experimental methodology	*In vitro*	Los métodos de acondicionamiento superficial y el envejecimiento afectan la adhesión en Zr convencional y de alta translucidez
Le, 2019	Bond strength between MDP-based cement and translucent zirconia	*In vitro*	El cemento con MDP mostró buena adhesión a la Zr translúcida
Santos Silva, 2024	Influence of Different Surface Treatments on the Bond Strength of Yttria-Stabilized Tetragonal Zirconia Ceramic	*In vitro*	Varias técnicas superficiales influyen significativamente en la fuerza de unión de la Zr
You, 2024	Surface property changes observed in zirconia during etching with high-concentration hydrofluoric acid over various immersion times	*In vitro*	El grabado con ácido fluorhídrico altera propiedades superficiales y puede mejorar la adhesión si se controla
Sevilla, 2023	Effect of Surface Treatments with Low-Pressure Plasma on the Adhesion of Zirconia	*In vitro*	El plasma a baja presión mejora la adhesión de la Zr al modificar su superficie sin dañar el material
Kang, 2022	Innovation Glass-Ceramic Spray Deposition Technology Improving the Adhesive Performance for Zirconium-Based Dental Restorations	*In vitro*	La tecnología de pulverización mejora el rendimiento adhesivo en restauraciones dentales a base de Zr

Rosa, 2024	A comprehensive study on MDP effects: Microshear bond strength and fatigue resistance in 4YSZ ceramics	*In vitro*	El MDP mejora la resistencia a la adhesión y la fatiga en cerámicas de Zr
Lopes, 2023	Are Universal Adhesives Effective for Bonding to Zirconia in the Long Term?	*In vitro*	Los adhesivos universales muestran efectividad variable a largo plazo en la adhesión a Zr
Icochea, 2024	Evaluation of single-step self-etching ceramic primer and zirconia primer for bonding to zirconia-reinforced lithium silicate ceramic	*In vitro*	El *primer* autocondicionante de un solo paso tiene un desempeño adhesivo similar al *primer* específico para Zr
Lima, 2023	Bonding Efficacy of Universal Resin Adhesives to Zirconia Substrates: Systematic Review and Meta-Analysis	Metanálisis	Los adhesivos universales se presentan eficaces para unirse a Zr
Moradi, 2021	Effects of Universal Adhesive on Shear Bond Strength of Resin Cement to Zirconia Ceramic with Different Surface Treatments	*In vitro*	El adhesivo universal mejora la resistencia al corte con distintos tratamientos superficiales en Zr
Afrasiabi, 2018	The effect of Z-primer on the shear bond strength of zirconia ceramic to dentin: in vitro	*In vitro*	El uso de Z-*primer* aumenta la fuerza adhesiva de la Zr a dentina
Al-Akhali, 2021	Influence of elapsed time between airborne-particle abrasion and bonding to zirconia bond strength	*In vitro*	El tiempo entre la abrasión y el cementado afecta la resistencia adhesiva en Zr
Torres, 2021	Glass Ionomer Versus Self-adhesive Cement and the Clinical Performance of Zirconia Coping/Press-on Porcelain Crowns	*Clínico*	El cemento autoadhesivo mostró mejor desempeño que el ionómero en coronas de Zr
Khanlar, 2022	The effects of different silicatization and silanization protocols on the bond durability of resin cements to new high-translucent zirconia	*In vitro*	Diferentes protocolos de silicatización y silanización afectan la durabilidad de la unión en Zr translúcida
Ríos, 2018	Comparative study of displacement resistance of four zirconia cements	*In vitro*	Se observaron diferencias en la resistencia al desplazamiento entre cuatro cementos para Zr
Vivek, 2022	Comparison of Zirconia to Dentin Bonding Using Resin-Based Luting Cements and Resin-Modified Glass-Ionomer Cement: In vitro	*In vitro*	Los cementos resinosos mostraron mejor adhesión a Zr comparados con ionómeros modificados con resina
Wongsirisuwan, 2024	Influence of light-polymerizing units and zirconia on the physical, chemical and biological properties of self-adhesive resin cements	*In vitro*	La unidad de polimerización y la presencia de Zr afectan las propiedades de los cementos resinosos autoadhesivos
Yang, 2018	Effects of Luting Cements and Surface Conditioning on Composite Bonding Performance to Zirconia	*In vitro*	El tipo de cemento y el acondicionamiento superficial impactan la adhesión del composite a la Zr

Imbery, 2021	Microshear bond strength of resin luting agents to monolithic zirconia	*In vitro*	Se evaluó la resistencia al cizallamiento destacando diferencias según el agente cementante utilizado
Yoshida, 2021	Effect of 10-Methacryloyloxydecyl Dihydrogen Phosphate Concentrations in Primers on Bonding Resin Cements to Zirconia	*In vitro*	La concentración de MDP en los *primers* influye directamente en la fuerza adhesiva de los cementos a Zr

*Estudios incluidos a partir de la literatura gris por considerarse de relevancia. Zr: Zirconia.

Desarrollo y discusión

A diferencia de las cerámicas a base de sílice (cerámicas vítreas), la zirconia no es susceptible al grabado con ácido fluorhídrico ni a la silanización debido a que su composición presenta alto contenido cristalino, lo que dificulta su adhesión.[11,12] Inicialmente, la zirconia se cementaba de forma convencional, pero estudios recientes han explorado métodos para lograr su fijación de manera adhesiva sin comprometer su estructura.[13] Estrategias como tratamientos de superficie, sistemas adhesivos específicos y agentes de unión química y mecánica han sido desarrolladas para optimizar la adhesión y mejorar la retención, resistencia a la microfiltración y durabilidad de la restauración.[13,14] Sin embargo, la técnica más eficaz para lograr una adhesión confiable sigue siendo debatida, por lo que la presente revisión de la literatura pretendió analizar la evidencia disponible sobre dicha temática.[14]

Fijación adhesiva

La fijación adhesiva es una técnica utilizada en odontología para la colocación definitiva de restauraciones dentales indirectas.[18] Emplea agentes adhesivos y cementos que generan una unión micromecánica y/o química con la estructura dental y la restauración, mejorando la retención y resistencia a la fractura. Para ello, se realizan tratamientos de superficie en ambas estructuras.[19] Si bien ofrece ventajas, requiere múltiples pasos, es sensible a la técnica y puede ser susceptible a la contaminación, lo que puede hacer que algunos profesionales prefieran el cementado convencional.[20]

Aun así, la fijación adhesiva proporciona una unión más fuerte y duradera, reduciendo el riesgo de desprendimiento o fractura.[19] Además, permite una mayor conservación de la estructura dental, ya que requiere una preparación menos invasiva en comparación con el cementado convencional.[20,21] No obstante, esta técnica exige precisión, condiciones óptimas de limpieza y secado, y supone un mayor costo de materiales.[21] Entre sus principales ventajas se destacan las propiedades estéticas superiores de los cementos a base de resina en comparación con los convencionales, como los de ionómero de vidrio o fosfato de zinc.[1,3] Esto podría atribuirse no sólo a la translucidez del material, sino también a la variedad de colores

disponibles y a su menor solubilidad, lo que podría ofrecer ciertas ventajas a lo largo del tiempo.[2,6]

Los cementos resinosos minimizan la filtración en restauraciones cerámicas, aunque la mayoría de estos hallazgos provienen de estudios *in vitro* con cerámicas vítreas.[22] Los protocolos de adhesión adecuados mejoran la unión del material restaurador al diente, la adaptación marginal, la prevención de microfiltraciones y la resistencia a la fractura.[11,21] La longevidad de las restauraciones cerámicas adheridas depende de la composición del cemento de resina y de los métodos de pretratamiento aplicados.[13,17]

A la hora de analizar las diferentes estrategias de fijación adhesiva a la zirconia descritas en la literatura, se abarcan los siguientes puntos: limpieza de la superficie interna, tratamiento de la superficie interna y selección del agente de fijación resinoso.

Limpieza de la superficie interna

Para lograr una adhesión efectiva, es esencial trabajar sobre una superficie libre de contaminantes. Durante las fases clínicas, las restauraciones pueden contaminarse con sangre, saliva y otros elementos, lo que interfiere con el mecanismo de adhesión.[23] Los cementos e imprimadores contienen grupos fosfato, que interactúan con la superficie de zirconia.[24] Si hay contaminantes, estos ocupan los sitios donde los monómeros fosfatados deben interactuar, volviendo inactivos a dichos monómeros. Por lo tanto, una limpieza adecuada de la superficie de zirconia es crucial para la durabilidad del tratamiento restaurador.[23-25]

Métodos simples como la limpieza con agua (H_2O), agua oxigenada (H_2O_2), etanol, acetona, ácido fosfórico o limpieza ultrasónica mostraron los peores resultados en la eliminación de contaminantes.[26] En cambio, la limpieza mecánica con arenado utilizando partículas de óxido de aluminio (Al_2O_3) ha demostrado ser eficaz, aunque su uso repetido puede debilitar la estructura de la restauración de zirconia según varios estudios *in vitro*.[25-28]

La limpieza química con productos específicos como Ivoclean (Ivoclar Vivadent), Katana Cleaner (Kuraray Noritake Dental) o ZirClean (BISCO Dental) parece ser una opción viable, ya que es práctica, conserva la topografía interna de la zirconia y es costo-efectiva.[26,29] Ivoclean es una solución alcalina (pH=13) que contiene partículas de óxido de zirconio, que atraen y eliminan los contaminantes durante el lavado posterior.[29] ZirClean, un gel alcalino con hidróxido de potasio (pH=13), elimina contaminantes de fosfato de manera similar.[26] Katana Cleaner, que contiene una sal con MDP, tiene propiedades tensoactivas que lo hacen útil tanto para la limpieza extraoral como intraoral.[26]

Algunos estudios sugieren que el arenado con partículas de óxido de aluminio y el uso de Ivoclean son las técnicas más efectivas para restaurar la adhesión entre la zirconia y el agente de unión, siendo el ZirClean el que arrojó los peores resultados.[23,26] Según la literatura, la limpieza debe realizarse antes de la imprima-

ción con el sistema adhesivo. Si se aplica ácido fosfórico o Ivoclean después de la imprimación, se puede eliminar el recubrimiento de MDP, reduciendo la fuerza de adhesión.[30]

Un estudio *in vitro* relata un aumento de la fuerza adhesiva cuando se realiza la aplicación de un imprimador cerámico con 10-MDP antes de la exposición de la zirconia a contaminantes.[31] Si la zirconia tratada con 10-MDP se contamina con saliva, un enjuague rápido con agua es suficiente para restaurar la adhesión.[31] Esto se debe a que la imprimación crea una superficie repelente al agua, dificultando que la saliva (99% agua) interfiera. Sin embargo, Hajjaj y Alzahrani concluyen que este método no mantiene la fuerza de unión entre la zirconia y el cemento resinoso.[26]

Finalmente, el plasma atmosférico no térmico se presenta como una técnica prometedora para limpiar la zirconia, aunque su aplicación clínica es compleja. Esta técnica muestra resultados muy efectivos en la eliminación de contaminantes.[32]

Tratamiento de la superficie interna

El pretratamiento de la superficie de zirconia se realiza con el fin de mejorar su topografía a nivel microscópico. Su objetivo es aumentar la energía superficial y la humectabilidad de la superficie mediante la creación de rugosidades.[15,16,30] Se ha comprobado que la falta de tratamiento superficial en la zirconia da como resultado una menor fuerza de unión.[30] Diversos estudios coinciden en que para obtener uniones duraderas entre la resina y la zirconia, es necesario aplicar tanto un tratamiento mecánico como químico.[33,34]

- **Tratamiento micromecánico**

Existen diferentes métodos para realizar este tratamiento mecánico de la superficie, como el arenado con partículas de óxido de aluminio, el recubrimiento triboquímico de sílice, la irradiación láser, el grabado químico, la aplicación de porcelana de baja fusión, el grabado por infiltración selectiva, la pulverización de plasma y el recubrimiento en polvo cerámico de zirconio, entre otros.[35]

El arenado es un proceso que utiliza partículas de óxido de aluminio a alta velocidad para impactar la superficie de zirconia, creando rugosidades.[36] Aunque este tratamiento mejora la humectabilidad, también puede dañar la superficie y generar defectos o grietas que afectan las propiedades mecánicas de la zirconia.[35] Para evitar esto, se recomienda realizar el arenado con parámetros adecuados, como una presión de 2 a 2,5 bares, partículas de 50 µm, a una distancia de 10 mm y un ángulo de 75-90 grados, durante 5-10 segundos.[13,30] El tratamiento con partículas de óxido de aluminio ha mostrado buenos resultados en comparación con el tratamiento triboquímico con partículas recubiertas de sílice.[37] Por ejemplo, en un estudio se observó que el arenado con partículas de óxido de aluminio de 50 µm a baja presión generó los mejores resultados en cuanto a la fuerza de unión en comparación con grupos no tratados.[38]

Por esto, se concluye que el arenado con partículas de óxido de aluminio es el tratamiento más efectivo para aumentar la rugosidad de la zirconia, sin importar si se trata de zirconia convencional o de alta translucidez.[38,39] Sin embargo, un aumento en el tamaño de las partículas o la presión puede dañar la superficie de la zirconia y disminuir su fuerza.[39] En contraste, otros estudios no encontraron que el tamaño de las partículas ni la presión tuvieran un impacto significativo en la fuerza de unión.[40] A pesar de los efectos negativos del tiempo transcurrido entre el arenado y la aplicación del imprimador, muchos clínicos optan por solicitar al laboratorio dental que realice el arenado debido a la dificultad de contar con una arenadora en sus consultorios.[41]

El recubrimiento triboquímico de sílice (TBS) es otro método de tratamiento que utiliza partículas de alúmina recubiertas de sílice, las cuales impactan la superficie de la zirconia, creando una capa de sílice que permite la unión con el silano.[37] Esto mejora la adhesión al composite y a la zirconia.[37] El TBS se puede realizar con sistemas como Rocatec (3M ESPE), que utiliza partículas de alúmina recubiertas de sílice de 110 µm, o el sistema CoJet Sand (3M ESPE), que usa partículas de 30 µm. Aunque este método no logra una superficie completamente uniforme, es más resistente al termociclado que otros tratamientos.[30,34,38]

Otro tratamiento alternativo es el uso de perlas de vidrio en lugar de partículas de alúmina, lo que reduce el daño a la zirconia. Sin embargo, este tratamiento ha demostrado ser menos efectivo para crear la rugosidad necesaria, y las fuerzas de unión obtenidas son similares a las de la zirconia no tratada.[33]

El uso de láser para tratar la superficie de zirconia también se ha propuesto como un método alternativo, pero no ha mostrado ser tan efectivo como el arenado. Un láser con alta intensidad puede dañar el material, mientras que uno con baja intensidad no mejora la adhesión.[42,43]

La zirconia es un material inerte, por lo que no puede ser grabado con ácido fluorhídrico.[30] Sin embargo, algunas soluciones ácidas que combinan ácido fluorhídrico y nítrico se han propuesto para acondicionar la superficie de zirconia, pero estos tratamientos no son tan efectivos como otros, además de ser potencialmente peligrosos.[44]

El uso de plasma a baja presión ha mostrado buenos resultados en la mejora de la adhesión sin aumentar la rugosidad. El plasma activa la superficie de zirconia y aumenta su hidrofilicidad, lo que mejora la adhesión. Sin embargo, el tratamiento con plasma requiere equipos especializados y su efectividad depende de varios factores, como el tipo de gas utilizado y el tiempo de exposición.[45,46]

El tratamiento con plasma combinado con arenado ha mostrado los mejores resultados en cuanto a la fuerza de unión, aunque los estudios realizados son *in vitro* y no consideran las variables clínicas.[46] Otra técnica emergente es la deposición de vitrocerámica pulverizada (GCSD), que consiste en rociar polvo de vitrocerámica sobre la zirconia y luego sinterizarlo, creando una capa densa de disilicato de litio que mejora la unión al cemento resinoso.[47] Estas nuevas técnicas como

el plasma o la GCSD mejoran la adhesión de la zirconia a la resina, pero requieren equipos costosos y procesos complicados que no son fáciles de estandarizar ni adecuados para el uso clínico diario.[46,47]

- **Tratamiento químico**

En la mayoría de los estudios revisados, se recomienda realizar una combinación de tratamientos mecánicos y químicos para obtener los mejores resultados en la adhesión de la zirconia.[24,30,38] Aunque el arenado modifica la superficie de la zirconia, por sí solo no es suficiente para mejorar significativamente la adhesión al material cerámico. Por esta razón, es crucial asociar estos tratamientos con el uso de promotores químicos que puedan mejorar la unión. Entre estos, se destacan los imprimadores que contienen monómeros funcionales, especialmente el 10-MDP (*10-Methacryloyloxydecyl dihydrogen phosphate*), conocido por su capacidad para formar enlaces químicos estables con la zirconia dental.[48]

El 10-MDP tiene un grupo terminal con ácido fosfórico que interactúa con la zirconia, formando enlaces P-O-Zr, mientras que el otro extremo de la molécula cuenta con un grupo vinilo que permite la copolimerización con el cemento de resina. Estos dos grupos funcionales están separados por una cadena de carbonos, que determina propiedades como la viscosidad, rigidez, hidrofobicidad y solubilidad del compuesto.[35]

En el mercado existen agentes de imprimación específicos para zirconia, como el Z-Prime Plus (BISCO Dental) y el Peak ZM (Ultradent). Según el fabricante, el Z-Prime Plus mejora significativamente la fuerza de unión a materiales como zirconia, alúmina y metales, gracias a su combinación de dos monómeros activos: MDP (monómero de fosfato) y BPDM (monómero de carboxilato).[49] Este producto debe aplicarse en 1 a 2 capas, humedeciendo uniformemente la superficie y luego secando con aire comprimido durante 3-5 segundos. Por otro lado, el Peak ZM, que también contiene 10-MDP, mejora la unión química entre la resina y la superficie de zirconia.[49] Ultradent recomienda aplicar este imprimador en la superficie previamente arenada, utilizando aire comprimido durante 3 segundos, y luego secando durante otros 3 segundos a plena presión.[49]

El monómero de silano con funcionalidad metacrilato (γ-MPTS) es un agente acoplador ampliamente utilizado en odontología, ya que mejora la humectabilidad de la superficie. Sin embargo, los silanos no pueden reaccionar directamente con la zirconia, por lo que es necesario usar un imprimador cerámico que contenga MDP, ya que los agentes de acoplamiento convencionales no pueden unirse a las cerámicas de óxido metálico.[33]

Algunas imprimaciones adhesivas comerciales recientes combinan silano (γ-MPTS) y monómeros funcionales fosfóricos para simplificar los procedimientos clínicos y mejorar la adhesión a diversos materiales cerámicos.[50] Se ha demostrado que estos productos ofrecen un rendimiento superior al de las imprimaciones de silano por sí solas. No obstante, la aplicación de MDP de manera aislada ha

mostrado ser más efectiva para la unión de la zirconia con el cemento de resina en comparación con los imprimadores que combinan MDP con silano.[51] El Monobond N (Ivoclar Vivadent) es un ejemplo de imprimador universal que facilita la unión entre cementos resinosos y todos los materiales utilizados en restauraciones indirectas. Este producto combina silano metacrilato, ácido fosfórico metacrilato y sulfuro metacrilato en su composición. Para su uso, se aplica una capa delgada sobre las superficies pretratadas, se deja actuar durante 60 segundos y luego se elimina el exceso con aire comprimido.[50]

Para simplificar los procedimientos clínicos, se han desarrollado sistemas adhesivos universales, que contienen promotores químicos y permiten la preparación de la restauración sin necesidad de añadir componentes adicionales. Estos adhesivos, la mayoría de los cuales contienen 10-MDP, han sido objeto de numerosos estudios en los últimos años.[49] La aplicación de un adhesivo universal con 10-MDP ha demostrado aumentar la adhesión a la zirconia después del arenado, y algunos estudios sugieren que incluso podrían reemplazar el tratamiento mecánico y la aplicación de imprimadores.[49,52] La fotopolimerización del adhesivo antes de aplicar el cemento no mostró diferencias significativas en cuanto a la adhesión.[40] Un estudio demostró que el uso de un adhesivo universal con MDP, en combinación con un tratamiento mecánico, permite obtener una unión duradera, ya que promueve un enlace químico con los óxidos metálicos que es resistente al agua.[38]

Existen varias marcas comerciales que ofrecen adhesivos universales, como el Single Bond Universal (3M ESPE), el All-Bond Universal (BISCO Dental) y el Tetric N-Bond Universal (Ivoclar Vivadent). Estos adhesivos son autograbantes y contienen tanto un *primer* ácido como un adhesivo en una sola botella. Entre estos, el All-Bond Universal es el más alcalino (pH 3,5 según el fabricante), lo que lo hace más adecuado para su uso con cementos duales.[52] El fabricante recomienda aplicar una capa delgada sobre la superficie pretratada, secarla con aire para eliminar el exceso de disolvente y luego fotopolimerizar durante 10 segundos. Si no se desea fotopolimerizar, se sugiere usar Z-Prime Plus en su lugar.[49,52] El Single Bond Universal, por su parte, contiene 10-MDP, resinas de dimetacrilato, HEMA, copolímero Vitrebond™, entre otros, lo que mejora la adhesión en materiales como zirconia y alúmina, y permite adherir en superficies de cerámica vítrea sin necesidad de un imprimador adicional. Los fabricantes coinciden en que es recomendable usar imprimadores y cementos de la misma marca comercial para evitar interacciones que puedan afectar la efectividad del tratamiento.[53]

El uso de un imprimador a base de 10-MDP puede aumentar la fuerza de unión tanto con cementos de resina autoadhesivos (a base de 10-MDP u otros monómeros funcionales) como con cementos tradicionales.[54] Es importante utilizar un cemento fluido para aprovechar los efectos del arenado, sin importar el tipo de resina.[30] Se ha recomendado también realizar la imprimación de la zirconia inmediatamente después del arenado, ya que la fuerza de unión disminuye significativamente si se deja pasar mucho tiempo entre ambos tratamientos.[55] Se

ha observado que en superficies de cerámicas de alta resistencia sin ningún tratamiento previo, la interfaz entre la resina y la cerámica presentaría espacios muy abiertos. Además, la abrasión de partículas de alúmina seguida de la aplicación de un imprimador con 10-MDP mejoraría significativamente la interfaz adhesiva.[51]

Finalmente, según lo detallado en la literatura, los dos métodos más utilizados para mejorar la adhesión son el arenado con abrasión de alúmina seguido de un tratamiento químico con monómero de fosfato como el 10-MDP, y el recubrimiento triboquímico de sílice seguido de silanización.[33,37]

Agentes de fijación

Una de las principales ventajas de las cerámicas basadas en óxido frente a las de sílice es que no requieren necesariamente un cementado adhesivo para la inserción definitiva de restauraciones de cobertura total. Pueden cementarse convencionalmente siempre y cuando la retención y el ajuste de la restauración sean adecuados.[3,8] Los cementos convencionales, como los de ionómero de vidrio y los ionómeros de vidrio modificados con resina, son adecuados para las restauraciones de zirconia cuando las condiciones de preparación del pilar y el grosor del material lo permiten.[56] Un estudio sugiere que los cementos de ionómero de vidrio modificado con resina y los cementos autoadhesivos de resina ofrecen resultados clínicos similares en cuanto a la fijación de coronas de zirconia.[57] Sin embargo, también se sugiere que la capacidad de adhesión del ionómero de vidrio a la zirconia es mínima o inexistente.[58]

El uso de resina puede estar indicado para mejorar la retención y la resistencia a la flexión, especialmente para las nuevas generaciones de zirconia de alta translucidez, que son menos resistentes.[33] En términos de resistencia adhesiva a dentina, un estudio *in vitro* sugiere que los cementos de resina podrían presentar mejores resultados en comparación a ionómeros modificados con resina.[59] Dentro de los cementos resinosos, la elección se puede dividir principalmente en dos categorías: cementos de resina tradicionales o cementos autoadhesivos.[60] En los cementos resinosos tradicionales, la fuerza de unión depende de la eficacia de los tratamientos preliminares. Estos cementos son más fluidos, lo que favorece la penetración en las microporosidades de la superficie y garantiza una mayor resistencia a largo plazo.[60] Los cementos de resina autoadhesivos están diseñados para adherirse a la estructura dental mediante un protocolo de un solo paso, sin necesidad de grabado, enjuague o imprimación.[18]

Cualquier cemento autoadhesivo contiene principalmente monómeros ácidos funcionales predominantes y monómeros convencionales de dimetacrilato. Entre los monómeros ácidos más utilizados en estos cementos se encuentran el fosfato de ácido bis 2-metacriloxietilo (BMP), el 10-MDP, el anhídrido 4-metacriloxietil trimelítico (4-META), el dimetacrilato de glicerol piromelítico (PMGDM), el hidrogenofosfato de 2-metacriloxietilfenilo (Fenil-P) y el monofosfato de pentaacrilato de dipentaeritritol (PENTA).[18,60] Según varios estudios, los cementos autoadhe-

sivos que contienen 10-MDP ofrecen mejores valores de adhesión. Sin embargo, otros estudios no muestran una diferencia clara entre las diferentes categorías de cemento.[30,58] El bajo pH inicial y la alta hidrofilicidad de los cementos autoadhesivos favorecen la desmineralización de la superficie, similar a lo que ocurre con los adhesivos autograbantes. Los monómeros ácidos funcionales predominantes pueden interactuar químicamente con la zirconia y con la hidroxiapatita de la estructura dental.[61-63]

Se recomienda el uso del cemento resinoso Panavia SA Cement Automix (Kuraray Noritake Dental) debido a su técnica de aplicación simplificada, que no requiere agentes de acoplamiento, reduciendo así el riesgo de fallos durante la manipulación del cemento.[12] Además, este cemento mostró los mejores resultados en cuanto a fuerza de retención en comparación con los cementos Multilink Automix (Ivoclar Vivadent) y RelyX Ultimate (3M ESPE). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en los resultados obtenidos entre los tres cementos, siendo el rendimiento de todos ellos muy aceptable.[58]

En cuanto a resistencia a la fractura se encontraron peores resultados al utilizar el cemento autoadhesivo Calibra Universal (Dentsply Sirona). Estos resultados podrían atribuirse a que este cemento contiene PENTA como monómero predominante, lo que provoca una alta viscosidad que impide una humectación eficaz de la superficie de unión y altera el comportamiento de la interpenetración micromecánica.[34] Además, se sugiere que la energía de unión de PENTA y su afinidad química por la hidroxiapatita son inferiores a las del MDP. En contraste, no se observaron diferencias significativas en los demás cementos utilizados (RelyX U200, Panavia SA Cement Plus y Multilink Speed).[34] Según algunos autores, el tipo de cemento afecta la distribución de las tensiones en el complejo diente-restauración, ayudando a disipar las fuerzas oclusales aplicadas a la restauración, alejándolas de la interfaz diente-restauración.[59,64]

Los cementos autoadhesivos pueden unirse a la zirconia, pero no son capaces de mantener una adhesión estable a largo plazo por sí solos. Por esta razón, la combinación de acondicionamiento mecánico y promotores químicos es fundamental.[57] También se demostró que la combinación de imprimación que contiene 10-MDP con cementos autoadhesivos mejoró significativamente la resistencia a la fractura de las coronas monolíticas de zirconia. La aplicación de imprimación en zirconia aumentó la fuerza de unión del cemento autoadhesivo a la superficie cerámica gracias al efecto sinérgico del 10-MDP y los monómeros funcionales ácidos.[34] Un estudio relata que aumentando la concentración de 10-MDP se podría mejorar la fuerza de unión del cemento de resina a la zirconia.[65]

La zirconia, al ser una cerámica dental opaca, debe cementarse idealmente con un cemento de resina de curado dual o autocurado. Las zirconias de alta translucidez pueden cementarse con cementos fotopolimerizables siempre que se utilicen en espesores delgados.[66]

Consideraciones finales

Los protocolos de fijación adhesiva aplicados con éxito a la zirconia convencional también son efectivos para las zirconias de alta translucidez. Además, el tratamiento de la superficie mediante arenado, la aplicación de imprimadores especiales con monómero de fosfato y el uso de cementos de resina compuesta proporcionan fuerzas de unión duraderas a largo plazo.[67]

Se ha sugerido en la literatura una técnica de tres pasos para lograr una unión de alta resistencia y durabilidad entre la resina y la zirconia denominada "Concepto APC".[68] El primer paso ("A") se refiere al "arenado" de la superficie de zirconia con partículas de óxido de aluminio o partículas de óxido de aluminio recubiertas de sílice. El segundo paso ("P"), refiere a la aplicación de un "*primer*" específico con 10-MDP para lograr la imprimación de la zirconia. El último paso ("C"), refiere a la selección del "cemento resinoso" que se va a utilizar, pudiendo ser este de curado dual o autopolimerizable.[68] Siguiendo esta filosofía, y añadiendo la nueva información sobre la importancia de la "limpieza" de la superficie de zirconia, esta técnica podría actualizarse como "Concepto ALPC", donde el paso "L" implicaría el uso de agentes limpiadores específicos para la superficie de zirconia (**Figura 2**).

En la práctica clínica pueden darse distintas situaciones que modifican la aplicación del protocolo ALPC. Si el odontólogo dispone de arenadora en el consultorio, lo habitual es realizar primero la prueba en boca y luego el arenado seguido de la aplicación del *primer*, sin requerir limpieza intermedia, ya que el arenado elimina la saliva y demás contaminantes. Cuando el arenado se efectúa en el laboratorio, el uso de agentes limpiadores es indispensable si la restauración se prueba en boca antes de la imprimación. En un escenario menos frecuente, la restauración puede ser arenada y acondicionada antes de la prueba clínica; en ese caso, la contaminación salival tiene menor impacto, pues la imprimación ya ha generado adhesión a la zirconia, siendo suficiente un enjuague con agua y posterior secado antes de continuar con el protocolo adhesivo.[66-69]

Si bien la presente revisión aporta una visión amplia y actualizada sobre la adhesión a la zirconia, es necesario reconocer algunas limitaciones inherentes a la literatura disponible: la mayoría de los estudios recuperados fueron *in vitro*, con una marcada heterogeneidad metodológica (diseños experimentales, protocolos de acondicionamiento y métodos de evaluación), lo que dificulta establecer un consenso definitivo. No obstante, una de las fortalezas del trabajo radica en haber reunido la evidencia más reciente, incluyendo en la discusión datos clínicos relevantes, lo que permitió identificar tendencias consistentes y puntos de convergencia en los protocolos adhesivos.

En este sentido, es importante recordar que los estudios *in vitro* ofrecen información valiosa sobre los mecanismos de adhesión, pero no alcanzan el mismo nivel de validez clínica que los ensayos controlados o las evaluaciones longitudinales en pacientes. Por ello, resulta indispensable promover la realización de más investigaciones clínicas de alta calidad que confirmen y validen los hallazgos

obtenidos en el laboratorio. Aun así, lo que se desprende con claridad de la evidencia disponible es que el éxito de la cementación adhesiva depende en gran medida de respetar los protocolos recomendados y de aplicar correctamente los productos y materiales indicados por los fabricantes, aspectos que, cuando se cumplen, mejoran de forma significativa la longevidad y el desempeño clínico de las restauraciones en zirconia.



Figura 2. Protocolo ALPC para la fijación adhesiva de restauraciones indirectas de zirconia.

Conclusiones

No existe un consenso definitivo sobre el protocolo adhesivo ideal para las restauraciones con zirconia.

La mayoría de los estudios analizados coinciden en recomendar una combinación de pretratamientos mecánicos y químicos sobre la superficie de zirconia.

El tratamiento mecánico más utilizado es el arenado con partículas de óxido de aluminio.

La aplicación de imprimadores que contienen 10-MDP, posterior al tratamiento mecánico, mejora la fuerza de adhesión a la zirconia, ya sea mediante imprimadores específicos o sistemas adhesivos universales.

Los cementos de resina autoadhesivos pueden adherirse a la zirconia; sin embargo, por sí solos no mantienen una adhesión estable a largo plazo. Por ello, cuando se eligen estos cementos, es fundamental combinar el acondicionamiento mecánico con el uso de promotores químicos.

Los protocolos de fijación adhesiva exitosos en zirconia convencional también han demostrado ser eficaces en las zirconias de alta translucidez.

Referencias

1. Kui A, Manziuc M, Petruțiu A, Buduru S, Labunet A, Negucioiu M, Chisnoiu A. Translucent Zirconia in Fixed Prosthodontics-An Integrative Overview. Biomedicines. 2023 Nov 22;11(12):3116. DOI: 10.3390/biomedicines11123116.

2. Schubert O, Graf T, Schweiger J, Güth JF, Sciuk T, Erdelt KJ. Predictable esthetics in hybrid and resin-based CAD/CAM restorative materials: Translucency as a function of material thickness. Int J Comput Dent. 2023 May 26;26(2):149-158. DOI: 10.3290/j.ijcd.b3762733.

3. Huang B, Chen M, Wang J, Zhang X. Advances in zirconia-based dental materials: Properties, classification, applications, and future prospects. J Dent. 2024 Aug;147:105111. DOI: 10.1016/j.jdent.2024.105111.

4. Berge M, Gustavsen F. Dental practitioners' evaluation of the metal-resin and metal-ceramic technique in the treatment with fixed prosthetic restorations. Acta Odontol Scand. 1990 Dec;48(6):371-7. DOI: 10.3109/00016359009029068.

5. Gotfredsen K, Alyass NS, Hagen MM. A 5-year, randomized clinical trial on 3-unit fiber-reinforced versus 3- or 2-unit, metal-ceramic, resin-bonded fixed dental prostheses. Int J Prosthodont. 2021 Nov-Dec;34(6):703-711". DOI: 10.11607/ijp.7090.

6. Mahrous AI, Salama AA, Shabaan AA, Abdou A, Radwan MM. Color stability of two different resin matrix ceramics: randomized clinical trial. BMC Oral Health. 2023 Sep 14;23(1):665. DOI: 10.1186/s12903-023-03364-6.

7. Alghauli M, Alqutaibi AY, Wille S, Kern M. 3D-printed versus conventionally milled zirconia for dental clinical applications: Trueness, precision, accuracy, biological and esthetic aspects. J Dent. 2024 May;144:104925. DOI: 10.1016/j.jdent.2024.104925.

8. Gautam C, Joyner J, Gautam A, Rao J, Vajtai R. Zirconia based dental ceramics: structure, mechanical properties, biocompatibility and applications. Dalton Trans. 2016 Dec 6;45(48):19194-19215. DOI: 10.1039/c6dt03484e.

9. Kwon WC, Park MG. Evaluation of mechanical properties of dental zirconia in different milling conditions and sintering temperatures. J Prosthet Dent. 2023 Dec;130(6):909-916. DOI: 10.1016/j.prosdent.2021.12.006.

10. Cesar PF, Miranda RBP, Santos KF, Scherrer SS, Zhang Y. Recent advances in dental zirconia: 15 years of material and processing evolution. Dent Mater. 2024 May;40(5):824-836. DOI: 10.1016/j.dental.2024.02.026.

11. Lee Y, Oh KC, Kim NH, Moon HS. Evaluation of Zirconia Surfaces after Strong-Acid Etching and Its Effects on the Shear Bond Strength of Dental Resin Cement. Int J Dent. 2019 Jul 1;2019:3564275. DOI: 10.1155/2019/3564275.

12. Xie H, Shen S, Qian M, Zhang F, Chen C, Tay FR. Effects of Acid Treatment on Dental Zirconia: An In Vitro Study. PLoS One. 2015 Aug 24;10(8):e0136263. DOI: 10.1371/journal.pone.0136263.

13. Özcan M, Bernasconi M. Adhesion to zirconia used for dental restorations: a systematic review and meta-analysis. J Adhes Dent. 2015 Feb;17(1):7-26. DOI: 10.3290/j.jad.a33525.

14. Cakir E, Duman AN, Yildirim AZ, Cevik P. Shear Bond Strength between Orthodontic Brackets and Monolithic 4Y-TZP: An In Vitro Study. Materials (Basel). 2023 Jul 23;16(14):5173. DOI: 10.3390/ma16145173.

15. Strasser T, Preis V, Behr M, Rosentritt M. Roughness, surface energy, and superficial damages of CAD/CAM materials after surface treatment. Clin Oral Investig. 2018 Nov;22(8):2787-2797. DOI: 10.1007/s00784-018-2365-6.

16. Papia E, Jimbo R, Chrcanovic BR, Andersson M, Vult von Steyern P. Surface structure and mechanical properties of impaction-modified Y-TZP. Dent Mater. 2014 Aug;30(8):808-16. DOI: 10.1016/j.dental.2014.05.002.

17. Kern M, Passia N, Sasse M, Yazigi C. Ten-year outcome of zirconia ceramic cantilever resin-bonded fixed dental prostheses and the influence of the reasons for missing incisors. J Dent. 2017 Oct;65:51-55. DOI: 10.1016/j.jdent.2017.07.003.

18. Wongsirisuwan S, Intarak N, Prommanee S, Sa-Ard-Iam N, Namano S, Nantanapiboon D, Porntaveetus T. Influence of light-polymerizing units and zirconia on the physical, chemical and biological properties of self-adhesive resin cements. BMC Oral Health. 2024 Oct 3;24(1):1172. DOI: 10.1186/s12903-024-04941-z.

19. Eltoukhy RI, Elkaffas AA, Ali AI, Mahmoud SH. Indirect Resin Composite Inlays Cemented with a Self-adhesive, Self-etch or a Conventional Resin Cement Luting Agent: A 5 Years Prospective Clinical Evaluation. J Dent. 2021 Sep;112:103740. DOI: 10.1016/j.jdent.2021.103740.

20. Magne P, Kim TH, Cascione D, Donovan TE. Immediate dentin sealing improves bond strength of indirect restorations. J Prosthet Dent. 2005 Dec;94(6):511-9. DOI: 10.1016/j.prosdent.2005.10.010.

21. Van Meerbeek B, Yoshihara K, Van Landuyt K, Yoshida Y, Peumans M. From Buonocore's Pioneering Acid-Etch Technique to Self-Adhering Restoratives. A Status Perspective of Rapidly Advancing Dental Adhesive Technology. J Adhes Dent. 2020;22(1):7-34. DOI: 10.3290/j.jad.a43994.

22. Patel S, Saunders WP, Burke FJ. Microleakage of dentin-bonded crowns placed with different luting materials. Am J Dent. 1997 Aug;10(4):179-83.

23. Genc O, Demir N, Özcan M. Effects of Cleaning Protocols on Resin Bond Strength to Saliva-Contaminated Monolithic Zirconia. J Adhes Dent. 2025 Apr 30;27:93-102. DOI: 10.3290/j.jad.c_2011.

24. Yenamandra MS, Joseph A, Singh P, Venkitachalam R, Maya R, Presannakumar G. Effect of Various Surface Treatments of Zirconia on its Adhesive Properties to Dentin: An In Vitro Study. J Contemp Dent Pract. 2024 Mar 19;25(3):226-230. DOI: 10.5005/jp-journals-10024-3663.

25. Demir N, Genc O, Akkese IB, Malkoc MA, Ozcan M. Bonding Effectiveness of Saliva-Contaminated Monolithic Zirconia Ceramics Using Different Decontamination Protocols. Biomed Res Int. 2024 Apr 4;2024:6670159. DOI: 10.1155/2024/6670159.

26. Hajjaj MS, Alzahrani SJ. Effect of Different Cleaning Methods on Shear Bond Strength of Resin Cement to Contaminated Zirconia. Materials (Basel). 2022 Jul 21;15(14):5068. DOI: 10.3390/ma15145068.

27. Piulachs I, Giner-Tarrida L, España-Tost A, Arnabat-Dominguez J, Florian C. In vitro comparative study between adhesion forces obtained on zirconia ceramic micromechanically treated with femtosecond laser (1027 nm), carbon dioxide laser (10,600 nm), and aluminum-oxide particles. Lasers Med Sci. 2023 Aug 26;38(1):194. DOI: 10.1007/s10103-023-03859-2.

28. Siwen L, Shishi L, Yanhong W, Hongmei M. Effects of different surface modifications on micro-structure and adhesion of zirconia ceramic: an in vitro study. Hua Xi Kou Qiang Yi Xue Za Zhi. 2017 Feb 1;35(1):43-50. Chinese. DOI: 10.7518/hxkq.2017.01.006.

29. Noronha MDS, Fronza BM, André CB, de Castro EF, Soto-Montero J, Price RB, Giannini M. Effect of zirconia decontamination protocols on bond strength and surface wettability. J Esthet Restor Dent. 2020 Jul;32(5):521-529. DOI: 10.1111/jerd.12615.

30. Scaminaci Russo D, Cinelli F, Sarti C, Giachetti L. Adhesion to Zirconia: A Systematic Review of Current Conditioning Methods and Bonding Materials. Dent J (Basel). 2019 Aug 1;7(3):74. DOI: 10.3390/dj7030074.

31. Angkasith P, Burgess JO, Bottino MC, Lawson NC. Cleaning Methods for Zirconia Following Salivary Contamination. J Prosthodont. 2016 Jul;25(5):375-9. DOI: 10.1111/jopr.12441.

32. Chen X, Yu C, Hua L, Liu Q. Nonthermal Atmospheric Plasma Promotes Bonding Between Adhesive Monomers and Zirconia. J Esthet Restor Dent. 2025 Apr;37(4):950-959. DOI: 10.1111/jerd.13338.

33. Khanlar LN, Takagaki T, Abdou A, Inokoshi M, Ikeda M, Takahashi A, Yoshihara K, Nagaoka N, Nikaido T, Blatz MB, Tagami J. Effect of Air-Particle Abrasion Protocol and Primer on The Topography and Bond Strength of a High-Translucent Zirconia Ceramic. J Prosthodont. 2022 Mar;31(3):228-238. DOI: 10.1111/jopr.13372.

34. Tyor S, Al-Zordk W, Sakrana AA. Fracture resistance of monolithic translucent zirconia crown bonded with different self-adhesive resin cement: influence of MDP-containing zirconia primer after aging. BMC Oral Health. 2023 Sep 5;23(1):636. DOI: 10.1186/s12903-023-03365-5.

35. Li R, Wang C, Ma SQ, Liu ZH, Zang CC, Zhang WY, Sun YC. High bonding strength between zirconia and composite resin based on combined surface treatment for dental restorations. J Appl Biomater Funct Mater. 2020 Jan-Dec;18:2280800020928655. DOI: 10.1177/2280800020928655.

36. Kessler A, Reichert T, Lindner S, Liebermann A, El Gezawi M, Kaisarly D. Influence of additive and subtractive zirconia and lithium disilicate manufacturing on tensile bond strength and surface topography. J Prosthet Dent. 2024 Sep;132(3):623.e1-623.e7. DOI: 10.1016/j.prosdent.2024.04.002.

37. Gonçalves F, Ayala-Perez MD, Reis FCDS, Miranda-Júnior WG, Boaro LCC. Exploring Zirconia Adhesion: Pre and Postsintering Physical Surface Treatment, Chemical Treatment, and Cement Interactions. Biomed Res Int. 2024 Aug 22;2024:5394652. DOI: 10.1155/2024/5394652.

38. Ruales-Carrera E, Cesar PF, Henriques B, Fredel MC, Özcan M, Volpato CAM. Adhesion behavior of conventional and high-translucent zirconia: Effect of surface conditioning methods and aging using an experimental methodology. J Esthet Restor Dent. 2019 Jul;31(4):388-397. DOI: 10.1111/jerd.12490.

39. Le M, Larsson C, Papia E. Bond strength between MDP-based cement and translucent zirconia. Dent Mater J. 2019 Jun 1;38(3):480-489. DOI: 10.4012/dmj.2018-194.

40. Comino-Garayoa R, Peláez J, Tobar C, Rodríguez V, Suárez MJ. Adhesion to Zirconia: A Systematic Review of Surface Pretreatments and Resin Cements. Materials (Basel). 2021 May 22;14(11):2751. DOI: 10.3390/ma14112751.

41. Blatz MB, Conejo J, Alammar A, Ayub J. Current Protocols for Resin-Bonded Dental Ceramics. Dent Clin North Am. 2022 Oct;66(4):603-625. DOI: 10.1016/j.cden.2022.05.008.

42. Santos Silva MMD, Boucault CHM, Steagall W, Hanashiro FS, Cardoso CAB, de Souza-Zaroni WC, Youssef MN, Amaral SFD. Influence of Different Surface Treatments on the Bond Strength of Yttria-Stabilized Tetragonal Zirconia Ceramic. Photobiomodul Photomed Laser Surg. 2024 May;42(5):343-349. DOI: 10.1089/photob.2023.0108.

43. Souza JCM, Raffaele-Esposito A, Carvalho O, Silva F, Özcan M, Henriques B. Surface modification of zirconia or lithium disilicate-reinforced glass ceramic by laser texturing to increase the adhesion of prosthetic surfaces to resin cements: an integrative review. Clin Oral Investig. 2023 Jul;27(7):3331-3345. DOI: 10.1007/s00784-023-05016-z.

44. You GE, Lim MJ, Min KS, Yu MK, Lee KW. Surface property changes observed in zirconia during etching with high-concentration hydrofluoric acid over various immersion times. Dent Mater J. 2024 Jan 30;43(1):52-57. DOI: 10.4012/dmj.2023-091.

45. Yoda N, Abe Y, Suenaga Y, Matsudate Y, Hoshino T, Sugano T, Nakamura K, Okino A, Sasaki K. Resin Cement-Zirconia Bond Strengthening by Exposure

to Low-Temperature Atmospheric Pressure Multi-Gas Plasma. Materials (Basel). 2022 Jan 14;15(2):631. DOI: 10.3390/ma15020631.

46. Sevilla P, Gseibat M, Peláez J, Suárez MJ, López-Suárez C. Effect of Surface Treatments with Low-Pressure Plasma on the Adhesion of Zirconia. Materials (Basel). 2023 Sep 3;16(17):6055. DOI: 10.3390/ma16176055.

47. Kang CM, Lin DJ, Feng SW, Hung CY, Iwaguro S, Peng TY. Innovation Glass-Ceramic Spray Deposition Technology Improving the Adhesive Performance for Zirconium-Based Dental Restorations. Int J Mol Sci. 2022 Oct 24;23(21):12783. DOI: 10.3390/ijms232112783.

48. Rosa LSD, Souza LFB, Chiapinotto GF, Pires TS, Piva AMOD, Kleverlaan CJ, Pereira GKR. A comprehensive study on MDP effects: Microshear bond strength and fatigue resistance in 4YSZ ceramics. Braz Dent J. 2024 Dec 16;35:e246091. DOI: 10.1590/0103-644020246091.

49. Lopes RO, Somacal DC, Modena CFM, Spohr AM. Are Universal Adhesives Effective for Bonding to Zirconia in the Long Term? Contemp Clin Dent. 2023 Oct-Dec;14(4):307-312. DOI: 10.4103/ccd.ccd_327_23.

50. Icochea AEL, Fernandes-Neto C, Bisaia A, Mondelli RF, Rizzante FAP, Furuse AY. Evaluation of single-step self-etching ceramic primer and zirconia primer for bonding to zirconia-reinforced lithium silicate ceramic. Gen Dent. 2024 Nov-Dec;72(6):20-24.

51. Blatz MB, Vonderheide M, Conejo J. The Effect of Resin Bonding on Long-Term Success of High-Strength Ceramics. J Dent Res. 2018 Feb;97(2):132-139. DOI: 10.1177/0022034517729134.

52. Lima RBW, Silva AF, da Rosa WLO, Piva E, Duarte RM, De Souza GM. Bonding Efficacy of Universal Resin Adhesives to Zirconia Substrates: Systematic Review and Meta-Analysis. J Adhes Dent. 2023 Feb 6;25:51-62. DOI: 10.3290/j.jad.b3868649.

53. Moradi Z, Akbari F, Valizadeh S. Effects of Universal Adhesive on Shear Bond Strength of Resin Cement to Zirconia Ceramic with Different Surface Treatments. Int J Dent. 2021 Jun 17;2021:5517382. DOI: 10.1155/2021/5517382.

54. Afrasiabi A, Mostajir E, Golbari N. The effect of Z-primer on the shear bond strength of zirconia ceramic to dentin: in vitro. J Clin Exp Dent. 2018 Jul 1;10(7):e661-e664. DOI: 10.4317/jced.54619.

55. Al-Akhali M, Al-Dobaei E, Wille S, Mourshed B, Kern M. Influence of elapsed time between airborne-particle abrasion and bonding to zirconia bond strength. Dent Mater. 2021 Mar;37(3):516-522. DOI: 10.1016/j.dental.2020.12.010.

56. Torres C, Ávila D, Gonçalves LL, Meirelles L, Mailart MC, Di Nicoló R, Borges AB. Glass Ionomer Versus Self-adhesive Cement and the Clinical Performance of Zirconia Coping/Press-on Porcelain Crowns. Oper Dent. 2021 Jul 1;46(4):362-373. DOI: 10.2341/20-229-C.

57. Khanlar LN, Abdou A, Takagaki T, Mori S, Ikeda M, Nikaido T, Zandinejad A, Tagami J. The effects of different silicatization and silanization protocols on the bond durability of resin cements to new high-translucent zirconia. Clin Oral Investig. 2022 Apr;26(4):3547-3561. DOI: 10.1007/s00784-021-04323-7.

58. Ríos S, Garcilazo A, Guerrero J, Meade V, Miguelena K. Comparative study of displacement resistance of four zirconia cements. Revista Odontológica Mexicana Órgano Oficial de la Facultad de Odontología UNAM. 2018, 21(4). DOI: 10.1016/j.rodmex.2018.01.012.

59. Vivek VJ, Venugopal P, Divakar N, Bharath S, Sarin K, Mohammed N. Comparison of Zirconia to Dentin Bonding Using Resin-Based Luting Cements and Resin-Modified Glass-Ionomer Cement: In vitro. J Pharm Bioallied Sci. 2022 Jul;14(Suppl 1):S460-S463. DOI: 10.4103/jpbs.jpbs_779_21.

60. Maravić T, Mazzitelli C, Mancuso E, Del Bianco F, Josić U, Cadenaro M, Breschi L, Mazzoni A. Resin composite cements: Current status and a novel classification proposal. J Esthet Restor Dent. 2023 Oct;35(7):1085-1097. DOI: 10.1111/jerd.13036.

61. Ferracane JL, Stansbury JW, Burke FJ. Self-adhesive resin cements - chemistry, properties and clinical considerations. J Oral Rehabil. 2011 Apr;38(4):295-314. DOI: 10.1111/j.1365-2842.2010.02148.x

62. Yang L, Xie H, Meng H, Wu X, Chen Y, Zhang H, Chen C. Effects of Luting Cements and Surface Conditioning on Composite Bonding Performance to Zirconia. J Adhes Dent. 2018;20(6):549-558. DOI: 10.3290/j.jad.a41634.

63. Aung SSMP, Takagaki T, Ikeda M, Tagami J. Ultra-morphological studies on enamel-universal adhesive interface. J Dent. 2021 Jan;104:103527. DOI: 10.1016/j.jdent.2020.103527.

64. Imbery TA, Seekford K, Naeem O, Janus C, Moon PC. Microshear bond strength of resin luting agents to monolithic zirconia. Gen Dent. 2021 Nov-Dec;69(6):34-40.

65. Yoshida K. Effect of 10-Methacryloyloxydecyl Dihydrogen Phosphate Concentrations in Primers on Bonding Resin Cements to Zirconia. J Prosthodont. 2021 Apr;30(4):356-362. DOI: 10.1111/jopr.13255.

66. Alqutaibi AY, Ghulam O, Krsoum M, Binmahmoud S, Taher H, Elmalky W, Zafar MS. Revolution of Current Dental Zirconia: A Comprehensive Review. Molecules. 2022 Mar 4;27(5):1699. DOI: 10.3390/molecules27051699.

67. Alammar A, Blatz MB. The resin bond to high-translucent zirconia-A systematic review. J Esthet Restor Dent. 2022 Jan;34(1):117-135. DOI: 10.1111/jerd.12876. Epub 2022 Jan 24.

68. Blatz MB, Alvarez M, Sawyer K, Brindis M. How to Bond Zirconia: The APC Concept. Compend Contin Educ Dent. 2016 Oct;37(9):611-617; quiz 618.

69. Grazioli G, de León E, García A, Cuevas-Suárez C, Goinheix R, Rodríguez A, Mederos M. Evaluación de la resistencia de unión adhesiva a la zirconia utilizando distintos sistemas adhesivos con 10-MDP. Odontoestomatología. 2025;27(45):e239. DOI:10.22592/ode2025n45e239.

Disponibilidad de datos

Todo el conjunto de datos que apoya los resultados de este estudio fue publicado en el propio artículo.

Conflicto de interés

Los autores del presente trabajo declaran que no existe ningún potencial conflicto de interés.

Fuente de financiamiento

Esta investigación no recibió ninguna subvención específica de agencias de financiación en los sectores público, comercial o sin fines de lucro.

Contribución de autoría y colaboración

Nombre y Apellido	Colaboración Académica													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
María Clara Rodríguez Dohir	x		x	x	x	x	x	x		x				x
Matías Mederos					x	x							x	x
Guillermo Grazioli	x		x	x	x	x		x				x	x	x

1. Administración del proyecto
2. Adquisición de fondos
3. Análisis formal
4. Conceptualización
5. Curaduría de datos
6. Escritura - revisión y edición
7. Investigación
8. Metodología
9. Recursos
10. Redacción - borrador original
11. Software
12. Supervisión
13. Validación
14. Visualización

Nota de aceptación:
Este artículo fue aprobado por la editora de la revista MSc. Dra. Natalia Tancredi.