

Adhesión a Dentina Parte II: Estrategias para Optimizar la Adhesión a Dentina y Protocolos Adhesivos

Dentin Bonding Part II: Strategies to Optimize Dentin Bonding and Adhesive Protocols

Recibido: 05/09/2022

Aceptado 30/11/2022

Piguillem Brizuela FJ¹, Di Mauro MS¹,
Montoro MR¹, Lombardo NP²

¹ **Universidad de Buenos Aires**
Facultad de Odontología
Cátedra de Odontología Restauradora
Buenos Aires, Argentina

² **Universidad de Buenos Aires**
Facultad de Odontología
Cátedra de Preclínica de Odontología Restauradora
Buenos Aires, Argentina

RESUMEN

La adhesión a dentina con sistemas adhesivos poliméricos representa un desafío que surge de la necesidad de vincular un sustrato dentario heterogéneo y variable con materiales que presentan todavía ciertos aspectos a atender para poder conseguir el máximo desempeño. El propósito del presente artículo es evaluar algunas de las estrategias propuestas para mejorar la adhesión a dentina, y sugerir un protocolo de trabajo con los diferentes tipos de sistemas adhesivos.

Palabras clave: adhesión a dentina, sellado dentinario inmediato, degradación adhesiva, barro dentinario, protocolos adhesivos

ABSTRACT

Dentin bonding with polymeric adhesive systems represents a challenge that arises from the need to link a heterogeneous and variable dental substrate with materials that still have certain aspects to be addressed in order to achieve maximum performance. The aim of this article is to evaluate some of the proposed strategies to improve dentin bonding and to suggest a protocol for each different type of bonding systems.

Keywords: dentin bonding, immediate dentin sealing, adhesive degradation, smear layer, bonding protocols.

INTRODUCCIÓN

En la primera parte de este trabajo, fueron descritas las características de la dentina como sustrato y los diferentes tipos de sistemas adhesivos. En esta segunda parte serán abordadas diferentes estrategias que pueden mejorar la adhesión a dentina para, finalmente, integrar todos los conceptos vertidos en las dos partes, en un protocolo clínico para cada tipo de sistema adhesivo.

ESTRATEGIAS PARA OPTIMIZAR LA ADHESIÓN A DENTINA

1) SELLADO DENTINARIO INMEDIATO

El sellado dentinario inmediato (SDI) es la ejecución de la técnica adhesiva en la dentina inmediatamente después de haber sido instrumentada durante la preparación dentaria, al encontrarse en el punto óptimo para realizarla (Magne, 2005).

Esa inmediatez es fácil de comprender cuando se van a realizar restauraciones directas en las cuales se procede a realizar la restauración en la misma sesión, pero el SDI se puede realizar después de realizar la preparación dentaria para una restauración indirecta previamente a la toma de impresiones (Figura 1), e incluso con anterioridad al tratamiento endodóntico (De Rose et al., 2015).

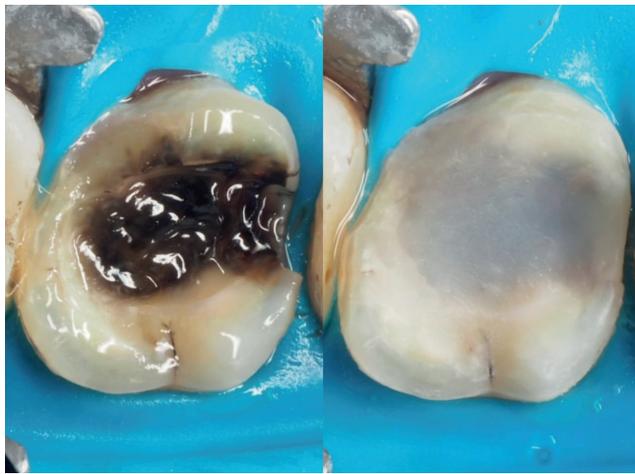


FIGURA 1. Preparación dentaria para realizar una restauración adhesiva indirecta, antes y después de la realización del sellado dentinario inmediato



FIGURA 2A. Pieza 2.6 con necesidad de un tratamiento endodóntico. Se remueve todo el tejido deficiente, se realiza la apertura cameral y acceso a los conductos radiculares. **2B.** Se protege el acceso a los conductos con teflón y se procede a realizar el sellado dentinario con elevación del margen disto-palatino

En el caso de las restauraciones indirectas, después de la preparación y el SDI, el sustrato final involucra únicamente esmalte en el borde cavo superficial y resina sin dentina al descubierto. En la sesión de fijación, el sustrato deberá ser reactivado mediante algún procedimiento mecánico-químico (p. ej. microabrasión + ácido fosfórico) para proceder a la fijación adhesiva final (Magne, 2014).

El SDI pre-endodóntico (Figuras 2A y 2B) se realiza en la dentina coronaria al finalizar la remoción de tejido deficiente y el acceso a la cámara pulpar y canales radiculares, una vez que no hay sangrado o fluidos que puedan contaminar las superficies, pero sin haber utilizado irrigantes como el hipoclorito de sodio que puede penetrar en profundidad (Zou et al., 2010), y cuya acción opera en detrimento de la adhesión. Una vez sellada la dentina se proseguirá normalmente con el tratamiento endodóntico (De Rose et al., 2015).

Las ventajas del sellado dentinario inmediato son diversas (Magne, 2005):

- La adhesión a la dentina fresca recién instrumentada es superior a la generada en la dentina de forma diferida.
- Permite la maduración completa de la capa adhesiva dentinaria al momento de fijar la restauración definitiva.
- Previene el colapso de la capa híbrida durante el asentamiento de la restauración rígida indirecta.
- La dentina no se contamina en la etapa de provisionalización en restauraciones indirectas.
- La sensibilidad postoperatoria es virtualmente eliminada.
- Es posible prescindir de la anestesia local en la sesión de fijación adhesiva.

A pesar de los beneficios potenciales del SDI, existen trabajos de revisión sistemática y meta-análisis muy

recientes con resultados antagónicos. Uno de ellos sugiere que no hay evidencia de la disminución de sensibilidad postoperatoria con respecto al sellado dentinario diferido (Josic et al., 2021). Otro trabajo, sin embargo, soporta el empleo del sellado dentinario inmediato en cuanto a la resistencia adhesiva (Hardan et al., 2022).

2) CONTROL DE LA AGRESIVIDAD DEL ACONDICIONAMIENTO DENTINARIO

Un acondicionamiento muy agresivo en la dentina, como el producido por el ácido fosfórico en sistemas de grabado independiente, universales en modo etch & rinse o sistemas autograbantes de acidez fuerte, expone una franja de colágeno imposible de infiltrar completamente, lo cual provoca vulnerabilidad de dicho colágeno a degradación por enzimas proteolíticas endógenas (Pashley et al., 2004) y persistencia de agua en la base de la capa híbrida, provocando un fenómeno conocido como nanofiltración (Sano et al., 1995; Tay y Pashley, 2003). Este último, a la larga, conducirá a una degradación hidrolítica de los polímeros que conforman la capa adhesiva. Además, el aumento de la permeabilidad dentinaria que se produce con el grabado, sumado a la capacidad de absorción de agua de la capa adhesiva (dependiendo de su hidrofilia), incrementará aún más la presencia de agua potenciando los efectos adversos mencionados, además de un mayor riesgo biológico.

La actividad de las enzimas proteolíticas puede ser inhibida para prolongar la vida útil del colágeno de la capa adhesiva. El agente inhibidor de metaloproteinasas y catepsinas más estudiado es la clorhexidina, con resultados favorables tanto in vitro como in vivo (Carrilho et al., 2007; Tjäderhane et al., 2013; Breschi et al., 2018). La clorhexidina se utiliza como diglucanato en una concentración al 2% frotándose durante 20 segundos en la dentina recién grabada con ácido fosfórico, lavada y secada para poder impregnar las fibras colágenas e inhibir la acción enzimática.

La degradación hidrolítica de los polímeros se produce en mayor medida con los adhesivos simplificados (sistemas de 5ª y 7ª generación, y universales), pero puede desacelerarse mediante el recubrimiento de la capa adhesiva con una capa extra de una resina hidrófuga o de composite fluido (Ermis et al., 2020; Van Meerbeek et al., 2020).

Tanto la degradación colágena como polimérica se pueden minimizar utilizando adhesivos autograbantes de pH suave o ultrasuave, idealmente basados en 10-MDP, que generan un acondicionamiento mucho menos agresivo.

3) MANEJO DEL SMEAR LAYER

Justificándose en el punto anterior, es beneficioso acondicionar la dentina de manera menos agresiva con adhesivos autograbantes de pH suave o ultrasuave.

Sin embargo, la capacidad reducida de desmineralización de estos sistemas, convierte al smear layer en una barrera para que los monómeros funcionales interaccionen con la superficie dentinaria propiamente dicha (Mine et al., 2014; Saikaew et al., 2022). El smear layer debe ser preparado previamente, disminuyendo su espesor y su densidad, para favorecer su disolución por parte de estos sistemas adhesivos. La terminación de las paredes de la preparación con instrumentos de corte suave, tales como fresas de filos múltiples o piedras de grano fino, permiten mejorar las características del smear layer. Otros métodos como la microabrasión con partículas de óxido de aluminio de 29-50 µm (Figura 3) mejoran aún más al smear layer como sustrato (Van Meerbeek et al., 2020).

El frotado enérgico del primer autograbante sobre la superficie de la dentina cubierta con smear layer permite una mejor disolución del último con respecto a una aplicación pasiva (Thanatvarakorn et al., 2016). Otra estrategia útil para mejorar el tratamiento del smear layer es la aplicación de hipoclorito de sodio en combinación con un antioxidante como el ácido ascórbico (Saikaew et al., 2022).

Además de estas características, hay estudios que revelan que los valores de adhesión aumentan si el smear layer dentinario está completamente seco (Toledano et al., 2004).

4) EVAPORACIÓN ADECUADA DE SOLVENTES

Todos los sistemas adhesivos contienen solventes que permiten la infiltración de los monómeros hidrófilos en la trama colágena dentinaria. Lo ideal es que, una vez cumplida su función, sean eliminados por completo porque su presencia remanente en la capa adhesiva altera la calidad de la adhesión (Cadenaro et al., 2009). Si bien la diferencia de presión de vapor entre los solventes y el agua dentinaria dificulta la evaporación total de los primeros (Carvalho et al., 2010), es



FIGURA 3. Microarenado de la superficie de la preparación dentaria con óxido de aluminio de 50 µm

imperativo eliminar la mayor cantidad que se pueda de ellos.

La eliminación de los solventes se ve favorecida por el frotado activo del primer en su aplicación, y se debe completar finalmente con la aplicación de aire limpio a presión suave libre de agua y aceite. Muchas veces es beneficioso extender los tiempos de evaporación con respecto a las indicaciones del fabricante para obtener una eliminación lo más óptima posible de los solventes, principalmente si contienen agua como solvente o co-solvente. Se ha sugerido un tiempo de entre 10 a 20 segundos de aire a presión suave para este fin (Luque-Martinez et al, 2014; Awad et al., 2019).

5) MANEJO DE LA INTERACCIÓN NEGATIVA DE SISTEMAS ADHESIVOS SIMPLIFICADOS CON RESINAS DE ACTIVACIÓN QUÍMICA O DUAL

Los composites de activación química o dual son materiales muy versátiles utilizados en diversas situaciones clínicas como, por ejemplo, medio de fijación de restauraciones de inserción rígida y sustituto dentinario en preparaciones muy extensas, entre otras (Figuras 4A y 4B).

Los iniciadores químicos de la reacción de polimerización de estos materiales son unos compuestos catalíticos binarios formados por un peróxido y una amina terciaria cuya activación se ve dificultada en un medio con pH ácido. Al ser utilizados con sistemas adhesivos que generan capas adhesivas de pH ácido superficial como son la gran mayoría de los adhesivos simplificados (5ª generación, 7ª generación y universales) el grado de polimerización óptimo de estos materiales no será alcanzado (Suh et al, 2003).

Este fenómeno puede evitarse de diferentes maneras: a) En situaciones clínicas, donde el adhesivo simplificado pueda polimerizarse con anterioridad a la re-

sina de activación química o dual (generalmente restauraciones directas), se puede colocar una capa de resina hidrófuga o una capa de composite fluido para neutralizar la superficie antes de la colocación de la resina dual.

b) Cuando sea necesario activar la polimerización del adhesivo simplificado y de la resina química/dual de manera simultánea (restauraciones indirectas) será necesario mezclar previamente el adhesivo con una sustancia denominada activador dual, que es específico del adhesivo que se esté usando. Este activador compatibiliza químicamente ambos materiales.

c) Utilizar adhesivos simplificados con pH elevado (por ejemplo, All Bond Universal; Bisco de pH 3,2).

d) Utilizar sistemas adhesivos no simplificados (4ª y 6ª generación).

e) Utilizar sistemas adhesivos de activación química (por ejemplo, ParaBond, Coltene).

6) FACTORES RELACIONADOS A LA POLIMERIZACIÓN DE LOS SISTEMAS ADHESIVOS

6.1 Activación de la polimerización

La adecuada polimerización de los sistemas adhesivos incide claramente en la calidad de la adhesión obtenida, influyendo en sus propiedades físico-químicas y su estabilidad en el tiempo.

La incorporación de monómeros hidrófilos en los sistemas adhesivos es necesaria para poder interactuar con un sustrato húmedo como la dentina. Sin embargo, expone a la capa adhesiva en formación a la absorción de agua que influye de forma negativa en la polimerización de los adhesivos. Este fenómeno afecta a todos los sistemas adhesivos, pero de manera particular a los sistemas simplificados, por su mayor

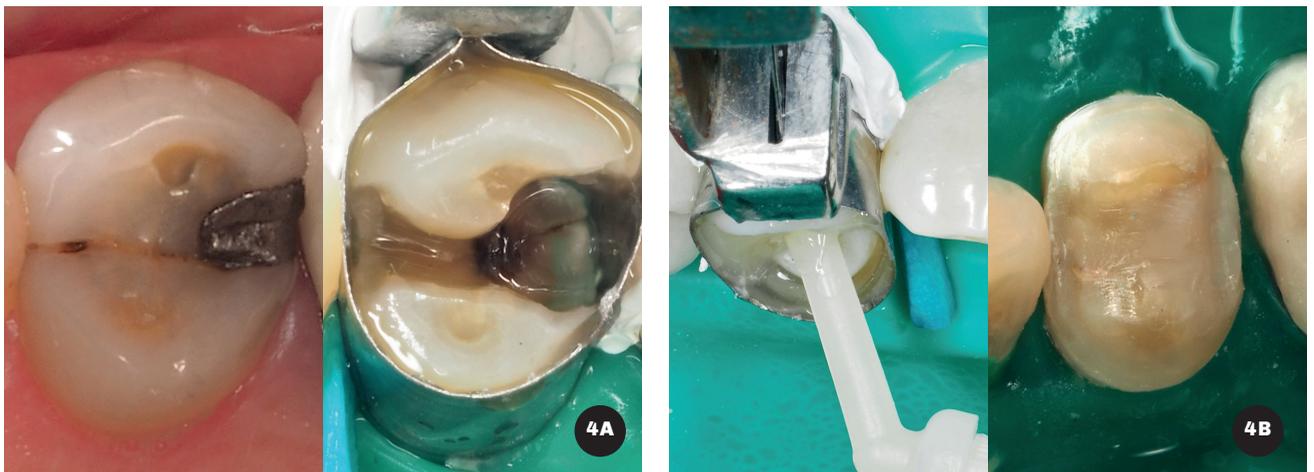


FIGURA 4A. A la izquierda, pieza dentaria con una fisura en sentido mesiodistal. A la derecha, una vez removido el tejido defectuoso. **4B.** A la izquierda, inyección de una resina de activación dual como sustituto dentinario. A la derecha, preparación final con recubrimiento cuspldeo total

grado de componentes hidrófilos, por lo que siempre van a presentar un grado de polimerización inferior a los sistemas no simplificados (4ª y 6ª generación). Prolongar los tiempos de exposición lumínica en los sistemas simplificados permite incrementar el grado de polimerización (Cadenaro et al.; 2019).

De todos modos, la adecuada polimerización no es una cuestión relacionada únicamente al tiempo de exposición lumínica. Las características de la unidad de polimerización influyen de forma sustancial en el grado de polimerización de los materiales fotoactivables. Existen diversas características deseables en una unidad de polimerización, como tener una alta energía de emisión lumínica, homogeneidad y colimación del haz de luz emitido y un amplio espectro de longitud de onda (Rueggeberg et al., 2017; Price et al., 2020).

6.2 Control del estrés de contracción de polimerización

La reacción de polimerización trae siempre aparejada una reducción volumétrica del material polimérico. A efectos de la creación de una capa adhesiva sólida y estable, influye el porcentaje de la contracción volumétrica, pero más aún la fuerza con la que ésta se genera, fenómeno conocido como estrés de contracción de polimerización.

El estrés de contracción es una fuerza en el interior del material cuyo flujo direccional puede concentrarse en la interfaz adhesiva, reduciendo su fuerza de unión o incluso desprendiéndola por completo. Esa fuerza puede oscilar entre 4 a 11 MPa (Al Sunbul et al, 2016).

Existen diversos factores que afectan la cantidad de estrés que se genera:

- Volumen del material que se está insertando en la preparación dentaria. A mayor volumen de material, mayor será el estrés de contracción.
- Cantidad de paredes de la preparación dentaria a las que se une el material que se está insertando. Como es sabido, las preparaciones dentarias tienen el denominado factor de configuración cavitario o Factor C, que refleja la cantidad de paredes de la preparación a adherir versus la cantidad de paredes libres sin adherir. A menor Factor C, más fácil será el manejo del estrés de contracción del material (Feilzer et al., 1987).
- Reacción de polimerización del material. Los materiales resinosos poseen una fase dentro del proceso de polimerización llamada fase de pregel. Los materiales de activación química poseen una fase de pregel prolongada, lo que permite que, a medida que avanza la reacción, la contracción se genere de forma suave produciéndose menor estrés de contracción.

Es deseable pues, utilizar estrategias que permitan manejar de forma adecuada el estrés de contracción de los materiales poliméricos. Entre ellas podemos mencionar:

6.2.1 Técnica de estratificación del composite en dentina

Los composites fotoactivables por lo general deben ser insertados en la preparación dentaria en capas no mayores a 2mm de espesor. Ello permite asegurar su correcta activación lumínica, y no generar un volumen de material que lleve a un estrés de polimerización aumentado.

Esas capas de composite pueden posicionarse en la preparación en forma de incrementos verticales, horizontales u oblicuos.

La estratificación en capas oblicuas permite conectar menos paredes de la preparación entre sí, lo cual reduce el estrés de contracción. Sin embargo, dentro de una misma preparación dentaria conviven diferentes sustratos dentarios con diferentes potenciales adhesivos, en lo que se ha denominado jerarquía de adhesividad (Alleman et al., 2017). Según este concepto, con una capa de composite idealmente se deberían conectar sustratos con potencial adhesivo equivalente para que la contracción de polimerización incida de forma idéntica en esos sustratos y no en favor de uno de ellos. La estratificación oblicua del composite permite conectar menos paredes de la preparación, pero conecta diferentes dentinas con potencial adhesivo no equivalente (Figura 5A).

La estratificación horizontal permite conectar áreas de dentina con potencial adhesivo equivalente, lo cual atenuaría el efecto negativo del estrés de contracción sobre la capa adhesiva, principalmente en áreas de potencial adhesivo bajo. Hay autores que han establecido una correlación entre la estratificación horizontal del composite con una mejor adhesión al piso de la preparación dentaria (Nikolaenko et al, 2004). Sin embargo, con esta técnica, al conectar más paredes con cada incremento, es necesario compensar disminuyendo el volumen de cada incremento a no más de 1mm (Figura 5B).

6.2.2 Materiales de activación dual como sustitutos dentinarios

En preparaciones dentarias grandes de alto Factor C es complicado manejar adecuadamente el estrés, por el número elevado de paredes a adherir y el gran volumen de la preparación, lo cual también dificulta la activación lumínica de los composites fotoactivables. Por ello resulta útil, en estos casos, utilizar composites de activación dual como sustitutos dentinarios para mejorar la activación de polimerización y reducir el volumen de la preparación dentaria, con una disminución en el estrés de contracción en relación a un composite netamente fotoactivable que se reservaría para la restitución del esmalte (Figuras 4A y 4B).

6.2.3 Restauraciones indirectas o semi directas

En preparaciones dentarias de alto Factor C, como las

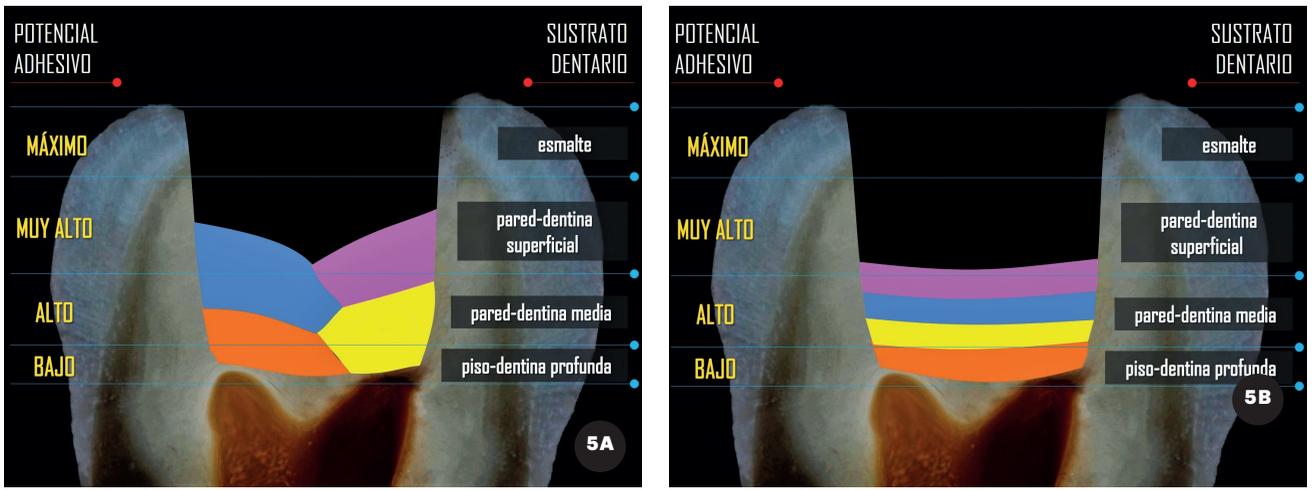


FIGURA 5A. Esquema de estratificación en capas oblicuas que favorece la reducción de estrés de contracción, pero conecta capas de diferente potencial adhesivo **5B.** Esquema de estratificación en capas horizontales de 1mm que conecta sustratos de potencial adhesivo equivalente para mejor distribución del estrés de contracción

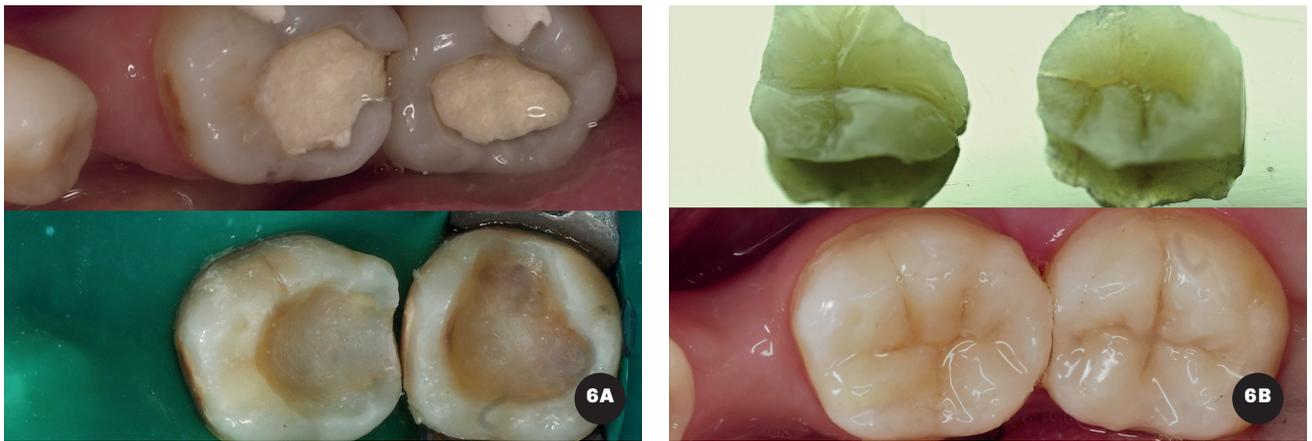


FIGURA 6A. Preparación dentaria para incrustaciones de tipo inlay **6B.** Vista de las incrustaciones fuera de boca y después de su fijación adhesiva

mencionadas en el punto anterior, en las que haya un compromiso mecánico asociado, está indicado realizar restauraciones adhesivas indirectas o semi directas de inserción rígida. Además de cumplir con la exigencia mecánica del caso, se elimina el problema del estrés de contracción, al restaurar con un material que ya completó su reacción de endurecimiento (Figuras 6A y 6B).

6.2.4 Materiales reforzados con fibras para proteger a la capa híbrida

Como fue descrito en el artículo precedente (Adhesión a dentina parte I), existen ciertos tipos de dentina cuyo potencial adhesivo es escaso (por ejemplo, paredes axiales o pulpares permeables profundas o dentina cariada externa e interna), resultando en valores de resistencia adhesiva bajos en relación a otros sustratos.

El estrés de contracción que se genera durante la estratificación del material restaurador puede afectar a la frágil capa adhesiva de esos tipos de dentina. Para ello existe una estrategia adicional que permite absorber y disipar el estrés de contracción, principalmente en preparaciones de alto factor C, que consiste en la utilización de materiales basados en fibras de polietileno de ultra-alto peso molecular (Belli et al, 2006). Son materiales que pueden neutralizar el estrés de contracción del material que se aplique de manera subsiguiente a la capa adhesiva dentinaria, evitando su incidencia negativa en sustratos adhesivamente desfavorables (Figuras 7A y 7B). A pesar de todo, la evidencia científica que respalda el uso de estos materiales es todavía escasa y el método no puede ser aún protocolizado de forma sistemática.

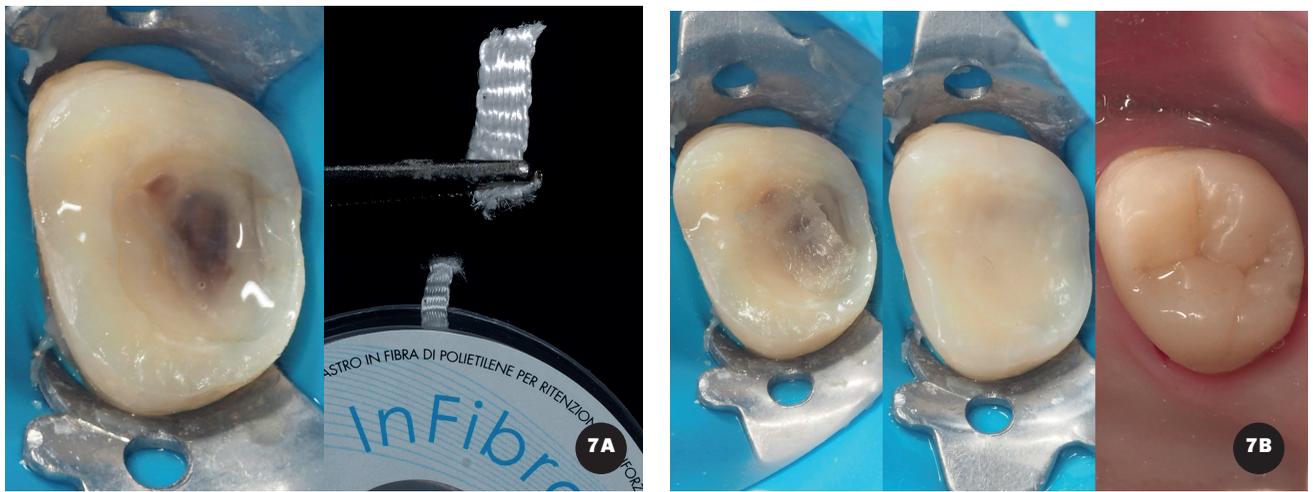


FIGURA 7A. A la izquierda, dentina con un potencial adhesivo bajo en la preparación para un overlay. A la derecha, un material de fibras de polietileno trenzadas **7B.** A la izquierda y al centro, fragmento de fibras insertadas en la preparación antes y después de ser cubiertas con composite. A la derecha, la restauración indirecta finalizada

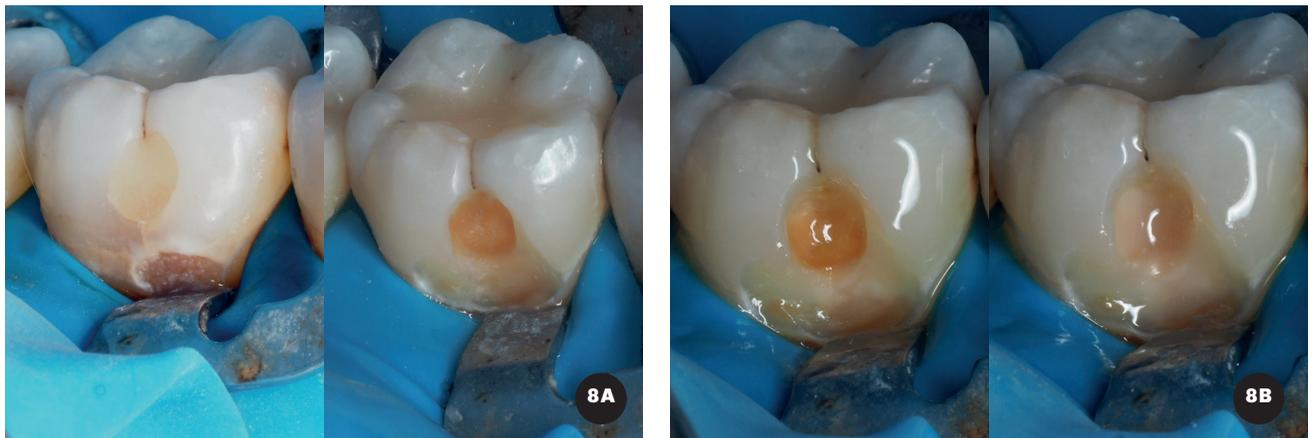


FIGURA 8A. A la izquierda, lesión de caries y restauración con necesidad de reemplazo. A la derecha, la preparación dentaria terminada **8B.** A la izquierda, capa adhesiva generada con un sistema universal. A la derecha, la capa adhesiva recubierta con 0,5 mm de composite fluido

6.3 Recubrimiento de la capa adhesiva con composite fluido

A la técnica que implica la colocación de una capa de composite fluido sobre la capa adhesiva dentinaria recién generada se la ha denominado como resin coating (Figuras 8A y 8B). Esa capa de composite fluido debe evitar generar tensiones en la interfaz adhesiva por estrés de contracción por lo cual su espesor debe ser de alrededor de 0.5mm, e idealmente debería ser utilizado un material de alta carga cerámica con menor contracción, de polimerización (>70% en peso).

Los beneficios de esta técnica son diversos:

- Hidrofobización de los sistemas adhesivos simplificados (5^a y 7^a generación y universales) para mejorar su estabilidad hidrolítica.
- Mejorar el grado de conversión polimérico al aumentar el espesor de la capa adhesiva formada

con sistemas adhesivos simplificados, desplazando el área de inhibición de polimerización por oxígeno fuera de la zona de hibridación.

- Compatibilización de resinas de activación química o dual con sistemas adhesivos simplificados.
- Protección mecánica de la capa adhesiva en la sesión de fijación de restauraciones de inserción rígida. En dicha sesión, la superficie de la preparación dentaria a la cual se generó un sellado dentinario inmediato, se la debe reactivar mediante maniobras mecánicas que generen micro rugosidades tales como asperización con piedras de diamante de grano fino o microabrasión con óxido de aluminio. La capa de composite fluido previene que la formación de esas rugosidades afecte a la capa adhesiva subyacente.

7) DESACOPLE CON TIEMPO

En los últimos años, la llamada Odontología Restauradora Biomimética ha gozado de un considerable auge. Uno de los conceptos más disruptivos de esta corriente es el de desacoplar con tiempo.

Esta estrategia adhesiva se fundamenta en diferentes conceptos. Por un lado, la capa adhesiva dentinaria necesitaría cierta cantidad de tiempo para madurar, obtener el grado de polimerización más alto y poder resistir mejor al estrés de contracción de polimerización (Dieschi et al., 2002). Por otro lado, la separación o desacople de la capa adhesiva en la zona más profunda de la preparación dentaria del resto de la restauración permitiría evitar la sensibilidad postoperatoria por un mejor sellado adhesivo hermético de la dentina (Wilson et al., 2000). Además, en el proceso de polimerización de una resina fotoactivable, durante los primeros cinco minutos desde la activación lumínica se produce la mayor parte de la contracción de polimerización del material (Lu et al., 2004).

Con esos fundamentos fue desarrollada la estrategia de desacoplar con tiempo (Alleman et al., 2021), orientada a las dentinas de menor potencial adhesivo, en la que se preconiza minimizar el estrés de contracción que incide sobre la capa adhesiva recién polimerizada durante un lapso de tiempo. Después de la aplicación y polimerización del sistema adhesivo se aplica una capa

de 0,5mm de composite fluido, y se espera 5 minutos para la maduración inicial de la capa adhesiva y la liberación del estrés de contracción de la misma. Después, en los 30 minutos siguientes a la polimerización de la capa adhesiva, se deben aplicar incrementos de composite que no superen 1mm de espesor para transmitir el menor estrés posible a la incipiente capa adhesiva con su maduración inicial ya completada.

A pesar de la lógica narrativa de la estrategia de desacople con tiempo, no existe aún evidencia científica específica que soporte su beneficio real.

PROTOCOLOS ADHESIVOS

Al unificar la información expuesta en las partes 1 y 2 de los artículos dedicados a la adhesión a dentina, se pueden sugerir protocolos clínicos para los diferentes sistemas adhesivos. A continuación, se detallan los protocolos generales para sistemas de grabado independiente de 4ª generación (Tabla 1), grabado independiente de 5ª generación (Tabla 2), autograbantes de 6ª generación (Tabla 3) y adhesivos universales (Tabla 4). En situaciones clínicas puntuales (p. ej. restauraciones de inserción rígida o fijación de postes de base orgánica reforzados con fibras entre otros) estos protocolos pueden sufrir algunas variaciones específicas.

N°	PASO	OBJETIVO
1	Grabado con ácido fosfórico 32-37% por 15 segundos en esmalte y dentina	Desmineralización para generar patrones de grabado en esmalte y exponer trama colágena en dentina
2	Lavado y secado	Eliminar ácido, subproductos del grabado y exceso de agua
3	Clorhexidina 2%: Frotar 20 segundos	Inhibición de enzimas proteolíticas endógenas
4	Secado: esmalte seco y dentina húmeda	Eliminar exceso de agua preservando las fibras colágenas expandidas
5	Primer: frotado 15-20 segundos	Infiltración de la trama colágena por monómeros hidrófilos- formación de la capa híbrida dentinaria
6	Aire a presión suave: 15-20 segundos	Evaporación de solventes
7	Bond: no es necesario frotar	Generación de capa hidrófuga
8	Aire a presión muy suave o microbrush seco	Remover excesos de bond
9	Fotoactivación	Polimerización del adhesivo
10	Resin coating (solo restauraciones indirectas)	Proteger capa adhesiva dentinaria de la asperización/ microabrasión en la sesión de fijación adhesiva
11	Fotoactivación	Polimerización del composite fluido
12	Espera de 5 minutos sin maniobras (OPCIONAL)	Desacoplar con tiempo
13	Capa de fibras de polietileno en dentinas de bajo potencial adhesivo (OPCIONAL)	Protección de la capa adhesiva del estrés de contracción
14	Fotoactivación	Polimerización de la capa de fibras

TABLA 1. Sistemas E&R de 4ª generación

N°	PASO	OBJETIVO
1	Grabado con ácido fosfórico 32-37% por 15 segundos en esmalte y dentina	Desmineralización para generar patrones de grabado en esmalte y exponer trama colágena en dentina
2	Lavado y secado	Eliminar ácido, subproductos del grabado y exceso de agua
3	Clorhexidina 2%: Frotar 20 segundos	Inhibición de enzimas proteolíticas endógenas
4	Secado: esmalte seco y dentina húmeda	Eliminar exceso de agua preservando las fibras colágenas expandidas
5	Primera capa de adhesivo: frotado 15-20 segundos	Infiltración de la trama colágena por monómeros hidrófilos- formación de la capa híbrida dentinaria
6	Aire a presión suave: 15-20 segundos	Evaporación de solventes
7	Segunda capa de adhesivo: frotado 15-20 segundos	Capa adicional para dar mayor grosor a la capa adhesiva
8	Aire a presión suave: 15-20 segundos	Evaporación de solventes
9	Fotoactivación	Polimerización del adhesivo
10	Resin coating (en todos los casos)	Hidrofobización. Proteger capa adhesiva dentinaria de la asperización/microabrasión en la sesión de fijación adhesiva
11	Fotoactivación	Polimerización del composite fluido
12	Espera de 5 minutos sin maniobras (OPCIONAL)	Desacoplar con tiempo
13	Capa de fibras de polietileno en dentinas de bajo potencial adhesivo (OPCIONAL)	Protección de la capa adhesiva del estrés de contracción
14	Fotoactivación	Polimerización de la capa de fibras

TABLA 2. Sistemas E&R de 5ª generación

N°	PASO	OBJETIVO
1	Microarenado con óxido de aluminio de 29 a 50 µm por 10 segundos (OPCIONAL pero RECOMENDADO)	Limpieza de la preparación. Disminución del espesor y densidad del smear layer dentinario
2	Grabado selectivo del esmalte con ácido fosfórico	Generar patrones de grabado en esmalte
3	Lavado y secado completo del esmalte y del smear layer	Favorecer la interacción del monómero funcional
4	Primer ácido: frotado enérgico por 15-20 segundos	Disolución del smear layer. Desmineralización e infiltración simultánea de la trama colágena. Formación de la capa híbrida
5	Aire a presión suave: 15-20 segundos	Evaporación de solventes
6	Bond: no es necesario frotar	Generación de capa hidrófuga
7	Aire a presión muy suave o microbrush seco	Remover excesos de bond
8	Fotoactivación	Polimerización del adhesivo
9	Resin coating (solo restauraciones indirectas)	Proteger capa adhesiva dentinaria de la asperización/microabrasión en la sesión de fijación adhesiva
10	Fotoactivación	Polimerización del composite fluido
11	Espera de 5 minutos sin maniobras (OPCIONAL)	Desacoplar con tiempo
12	Capa de fibras de polietileno en dentinas de bajo potencial adhesivo (OPCIONAL)	Protección de la capa adhesiva del estrés de contracción
13	Fotoactivación	Polimerización de la capa de fibras

TABLA 3. AAG de 6ª generación

N°	PASO	OBJETIVO
1	Microarenado con óxido de aluminio de 29 a 50 µm por 10 segundos (OPCIONAL pero RECOMENDADO)	Limpieza de la preparación. Disminución del espesor y densidad del smear layer dentinario
2	Grabado selectivo del esmalte con ácido fosfórico	Generar patrones de grabado en esmalte
3	Lavado y secado completo del esmalte y del smear layer	Favorecer la interacción del monómero funcional
4	Primera capa de adhesivo: frotado enérgico por 15-20 segundos	Disolución del smear layer. Desmineralización e infiltración simultánea de la trama colágena. Formación de la capa híbrida
5	Aire a presión suave: 15-20 segundos	Evaporación de solventes
6	Segunda capa de adhesivo: frotado por 15-20 segundos	Capa adicional para aumentar espesor de capa adhesiva
7	Aire a presión suave: 15-20 segundos	Evaporación de solventes
8	Fotoactivación	Polimerización del adhesivo
9	Resin coating (solo restauraciones indirectas)	Proteger capa adhesiva dentinaria de la asperización/microabrasión en la sesión de fijación adhesiva
10	Fotoactivación	Polimerización del composite fluido
11	Espera de 5 minutos sin maniobras (OPCIONAL)	Desacoplar con tiempo
12	Capa de fibras de polietileno en dentinas de bajo potencial adhesivo (OPCIONAL)	Protección de la capa adhesiva del estrés de contracción
13	Fotoactivación	Polimerización de la capa de fibras

TABLA 4. Más adhesivos universales

CONCLUSIONES

La búsqueda de adhesión a dentina con sistemas adhesivos poliméricos involucra una compleja secuencia de pasos, cada uno de ellos con objetivos específicos, que demanda de un conocimiento por parte del clínico tanto de las características del sustrato como de los sistemas adhesivos y las mejoras que se pueden realizar para optimizar su desempeño.

A pesar de que el servicio clínico que provee las restauraciones adhesivas es satisfactorio, aún no han podido ser evitados los mecanismos de degradación que inexorablemente limitan su vida útil. Este hecho se presenta con manifestaciones clínicas tales como filtración marginal y caries secundaria, o desprendimiento de la restauración, entre otras.

Por otro lado, los sistemas adhesivos poliméricos tienen componentes capaces de generar toxicidad pulpar que obligan a ser precavidos en su utilización.

Por todo ello, el futuro de la adhesión se encamina al desarrollo de sistemas adhesivos y técnicas que permitan simplificar los procedimientos (sin sacrificar desempeño), que prevengan la degradación adhesiva y que cumplan un rol terapéutico y biológico como auténticos materiales bioactivos.

REFERENCIAS

- Al Sunbul, H., Silikas, N. y Watts, D. C. (2016). Polymerization shrinkage kinetics and shrinkage-stress in dental resin-composites. *Dental Materials*, 32(8), 998–1006. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2016.05.006>
- Alleman, D. S., Alleman, D. S., Deliperi, S., Aravena Díaz, J., Martins, L. y Keulemans F. (2021). Decoupling with time. *Inside Dentistry*, 17(8), 35–41. <https://id.cdeworld.com/courses/5303-decoupling-with-time>
- Alleman, D. S., Nejad, M. A. y Alleman, D. S. (2017). The protocols of biomimetic restorative dentistry: 2002 to 2017. *Inside Dentistry*, 13(6), 64–73. <https://www.aegisdentalnetwork.com/id/2017/06/the-protocols-of-biomimetic-restorative-dentistry-2002-to-2017>
- Awad, M. M., Alrahlah, A., Matinlinna, J. P. y Hamama H. H. (2019). Effect of adhesive air-drying time on bond strength to dentin: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 90(2019), 154–162. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2019.02.006>

- Belli, S., Dönmez, N. y Eskitaşcioğlu, G. (2006). The effect of c-factor and flowable resin or fiber use at the interface on microtensile bond strength to dentin. *The Journal of Adhesive Dentistry*, 8(4), 247–253. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a11377>
- Breschi, L., Maravic, T., Cunha, S. R., Comba, A., Cadenaro, M., Tjäderhane, L., Pashley, D. H., Tay, F. R. y Mazzoni, A. (2018). Dentin bonding systems: from dentin collagen structure to bond preservation and clinical applications. *Dental Materials*, 34(1), 78–96. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2017.11.005>
- Cadenaro, M., Breschi, L., Rueggeberg, F. A., Suchko, M., Grodin, E., Agee, K., Di Lenarda, R., Tay, F. R. y Pashley, D. H. (2009). Effects of residual ethanol on the rate and degree of conversion of five experimental resins. *Dental Materials*, 25(5), 621–628. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2008.11.005>
- Cadenaro, M., Maravic, T., Comba, A., Mazzoni, A., Fanfoni, L., Hilton, T., Ferracane, J., y Breschi, L. (2019). The role of polymerization in adhesive dentistry. *Dental Materials*, 35(1), e1–e22. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2018.11.012>
- Carrilho, M. R., Geraldini, S., Tay, F., de Goes, M. F., Carvalho, R. M., Tjäderhane, L., Reis, A. F., Hebling, J., Mazzoni, A., Breschi, L. y Pashley, D. (2007). In vivo preservation of the hybrid layer by chlorhexidine. *Journal of Dental Research*, 86(6), 529–533. <https://doi.org/10.1177/154405910708600608>
- Carvalho, R. M., Manso, A. P. y Toledano Pérez, M. (2010). Durabilidad de la unión resina-diente. Una dimensión olvidada. En Henostroza Haro, G (ed.) *Adhesión en odontología restauradora*. (2da ed). (pp. 575–595). Ripano.
- De Rose, L., Krejci, I. y Bortolotto, T. (2015). Immediate endodontic access cavity sealing: fundamentals of a new restorative technique. *Odontology*, 103(3), 280–285. <https://doi.org/10.1007/s10266-014-0174-1>
- Dietschi, D., Monasevic, M., Krejci, I. y Davidson, C. (2002). Marginal and internal adaptation of class II restorations after immediate or delayed composite placement. *Journal of Dentistry*, 30(5-6), 259–269. [https://doi.org/10.1016/s0300-5712\(02\)00041-6](https://doi.org/10.1016/s0300-5712(02)00041-6)
- Ermis, R. B., Ugurlu, M., Ahmed, M. H. y Van Meerbeek, B. (2019). Universal adhesives benefit from an extra hydrophobic adhesive layer when light cured beforehand. *The Journal of Adhesive Dentistry*, 21(2), 179–188. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a42344>
- Feilzer, A. J., De Gee, A. J. y Davidson, C. L. (1987). Setting stress in composite resin in relation to configuration of the restoration. *Journal of Dental Research*, 66(11), 1636–1639. <https://doi.org/10.1177/00220345870660110601>
- Hardan, L., Devoto, W., Bourgi, R., Cuevas-Suárez, C. E., Lukomska-Szymanska, M., Fernández-Barrera, M. Á., Cornejo-Ríos, E., Monteiro, P., Zarow, M., Jakubowicz, N., Mancino, D., Haikel, Y. y Kharouf, N. (2022). Immediate dentin sealing for adhesive cementation of indirect restorations: a systematic review and meta-analysis. *Gels* (Basel, Switzerland), 8(3), 175. <https://doi.org/10.3390/gels8030175>
- Josic, U., Sebold, M., Lins, R. B. E., Savovic, J., Mazzitelli, C., Maravic, T., Mazzoni, A. y Breschi, L. (2022). Does immediate dentin sealing influence postoperative sensitivity in teeth restored with indirect restorations? A systematic review and meta-analysis. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 34(1), 55–64. <https://doi.org/10.1111/jerd.12841>
- Lu, H., Stansbury, J. W. y Bowman, C. N. (2004). Towards the elucidation of shrinkage stress development and relaxation in dental composites. *Dental Materials*, 20(10), 979–986. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2004.05.002>
- Luque-Martinez, I. V., Perdigão, J., Muñoz, M. A., Sezinando, A., Reis, A. y Loguercio, A. D. (2014). Effects of solvent evaporation time on immediate adhesive properties of universal adhesives to dentin. *Dental Materials*, 30(10), 1126–1135. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2014.07.002>
- Magne P. (2005). Immediate dentin sealing: a fundamental procedure for indirect bonded restorations. *Journal of Esthetic and Restorative Dentistry*, 17(3), 144–155. <https://doi.org/10.1111/j.1708-8240.2005.tb00103.x>
- Magne P. (2014). IDS: Immediate Dentin Sealing (IDS) for tooth preparations. *The Journal of Adhesive Dentistry*, 16(6), 594. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a33324>
- Mine, A., De Munck, J., Cardoso, M. V., Van Landuyt, K. L., Poitevin, A., Van Ende, A., Matsumoto, M., Yoshida, Y., Kuboki, T., Yatani, H. y Van Meerbeek, B. (2014). Dentin-smear remains at self-etch adhesive interface. *Dental Materials*, 30(10), 1147–1153. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2014.07.006>

- Nikolaenko, S. A., Lohbauer, U., Roggendorf, M., Petschelt, A., Dasch, W. y Frankenberger, R. (2004). Influence of c-factor and layering technique on microtensile bond strength to dentin. *Dental Materials*, 20(6), 579–585. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2003.08.001>
- Pashley, D. H., Tay, F. R., Yiu, C., Hashimoto, M., Breschi, L., Carvalho, R. M. y Ito, S. (2004). Collagen degradation by host-derived enzymes during aging. *Journal of Dental Research*, 83(3), 216–221. <https://doi.org/10.1177/154405910408300306>
- Price, R. B., Ferracane, J. L., Hickel, R. y Sullivan, B. (2020). The light-curing unit: an essential piece of dental equipment. *International Dental Journal*, 70(6), 407–417. <https://doi.org/10.1111/idj.12582>
- Rueggeberg, F. A., Giannini, M., Arrais, C. A. G. y Price, R. B. T. (2017). Light curing in dentistry and clinical implications: a literature review. *Brazilian Oral Research*, 31(suppl 1), e61. <https://doi.org/10.1590/1807-3107BOR-2017.vol31.0061>
- Saikaew, P., Sattabanasuk, V., Harnirattisai, C., Chowdhury, A. F. M. A., Carvalho, R. y Sano, H. (2022). Role of the smear layer in adhesive dentistry and the clinical applications to improve bonding performance. *The Japanese Dental Science Review*, 58, 59–66. <https://doi.org/10.1016/j.jdsr.2021.12.001>
- Sano, H., Takatsu, T., Ciucchi, B., Horner, J. A., Matthews, W. G. y Pashley, D. H. (1995). Nanoleakage: leakage within the hybrid layer. *Operative Dentistry*, 20(1), 18–25. <https://doi.org/10.2341/1559-2863-20-1-1>
- Suh, B. I., Feng, L., Pashley, D. H. y Tay, F. R. (2003). Factors contributing to the incompatibility between simplified-step adhesives and chemically-cured or dual-cured composites. Part III. Effect of acidic resin monomers. *The Journal of Adhesive Dentistry*, 5(4), 267–282.
- Tay, F. R. y Pashley, D. H. (2003). Have dentin adhesives become too hydrophilic?. *Journal of the Canadian Dental Association*, 69(11), 726–731. <http://www.cda-adc.ca/jcda/vol-69/issue-11/726.html>
- Thanatvarakorn, O., Prasansuttiorn, T., Takahashi, M., Thittaweerat, S., Foxton, R. M., Ichinose, S., Tagami, J. y Nakajima, M. (2016). Effect of Scrubbing Technique with Mild Self-etching Adhesives on Dentin Bond Strengths and Nanoleakage Expression. *The Journal of Adhesive Dentistry*, 18(3), 197–204. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a36033>
- Tjäderhane, L., Nascimento, F. D., Breschi, L., Mazzoni, A., Tersariol, I. L., Geraldeli, S., Tezvergil-Mutluay, A., Carrilho, M. R., Carvalho, R. M., Tay, F. R. y Pashley, D. H. (2013). Optimizing dentin bond durability: control of collagen degradation by matrix metalloproteinases and cysteine cathepsins. *Dental Materials*, 29(1), 116–135. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2012.08.004>
- Toledano, M., Osorio, R., Moreira, M. A., Cabrerizo-Vilchez, M. A., Gea, P., Tay, F. R. y Pashley, D. H. (2004). Effect of the hydration status of the smear layer on the wettability and bond strength of a self-etching primer to dentin. *American Journal of Dentistry*, 17(5), 310–314.
- Van Meerbeek, B., Yoshihara, K., Van Landuyt, K., Yoshida, Y. y Peumans, M. (2020). From Buonocore's pioneering acid-etch technique to self-adhering restoratives. A status perspective of rapidly advancing dental adhesive technology. *The Journal of Adhesive Dentistry*, 22(1), 7–34. <https://doi.org/10.3290/j.jad.a43994>
- Wilson, N. H., Cowan, A. J., Unterbrink, G., Wilson, M. A. y Crisp, R. J. (2000). A clinical evaluation of Class II composites placed using a decoupling technique. *The Journal of Adhesive Dentistry*, 2(4), 319–329.
- Zou, L., Shen, Y., Li, W., y Haapasalo, M. (2010). Penetration of sodium hypochlorite into dentin. *Journal of Endodontics*, 36(5), 793–796. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2010.02.005>

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

Dirección para correspondencia

Cátedra de Odontología Restauradora
Facultad de Odontología
Universidad de Buenos Aires
Marcelo T de Alvear 2142, Piso 9A
Ciudad Autónoma de Buenos Aires, C1122AAH
francisco.pilguillem@odontologia.uba.ar

La Revista de la Facultad de Odontología de la Universidad de Buenos Aires se encuentra bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Argentina

