

UNIVERSIDAD DE GRANADA
FACULTAD DE ODONTOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE ESTOMATOLOGÍA



“Efecto del envejecimiento en la microfiltración de restauraciones clase V de resina compuesta adheridas con adhesivos autograbadores”

TESIS DOCTORAL

ANA CRISTINA MARQUES SIMÕES DA SILVA

GRANADA, 2007

AGRADECIMIENTOS

A los Directores de esta tesis los Drs. D. Manuel Toledano Pérez, Dña. Raquel Osorio Ruiz y Dña. Estrella Osorio Ruiz, por su confianza y dirección.

A la Dra. Fátima Aguilera, por todo su apoyo.

A Gertrudis Gómez Villaescusa, técnico especialista de laboratorio, por su enorme ayuda en el laboratorio y por su amistad.

A mis compañeros de ISCS por su ayuda y amistad.

A Dr. Mora y Carry, por su amabilidad, buena acogida, ánimo y apoyo.

A mis amigos, por su ánimo y apoyo.

A Dra. Armanda Amorim, por su ánimo y apoyo.

A mis hijos Tomás y Raquel, por el cariño y amor que he recibido de ellos.

Este trabajo fue financiado en parte por el proyecto de investigación CICYT/ FEDER # MAT2001-2843-CO2, Spain; RED CYTED VIII.J.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.Histomorfología del esmalte dental	4
2. Histomorfología de la dentina.....	7
3. Adhesión.....	11
3.1. Concepto de adhesión.....	11
3.2. Adhesión al esmalte.....	13
3.3. Adhesión a la dentina.....	15
3.4. Clasificación de los sistemas adhesivos.....	19
3.4.1. <u>Adhesivos que remueven el barrillo dentinario</u>	21
3.4.2. <u>Adhesivos que modifican el barrillo dentinario</u>	24
3.4.3. <u>Adhesivos que disuelven el barrillo dentinario</u>	25
II. OBJETIVOS.....	33
III. MATERIAL Y METODO.....	36
1. MATERIAL	37
2. ANÁLISIS ESTADISTICO.....	40
IV.RESULTADOS.....	44
V.DISCUSIÓN.....	72
VI. CONCLUSIONES.....	83
VII. BIBLIOGRAFIA.....	85

I.INTRODUCCIÓN

Según la OMS la caries dental es una de las patologías más frecuentes del momento. El tratamiento consiste en la remoción del tejido careado y la reparación de la anatomía dentaria. Durante mucho tiempo sólo se ha usado como material de restauración la amalgama de plata la cual tiene muchas ventajas, pero una desventaja muy importante, la estética. Surge así uno de los mayores problemas de la Odontología que pretende, bajo su acción de reconstruir las partes perdidas de la estructura dentaria, la estética y la adhesión del material restaurador a los tejidos.

Existen muchas definiciones para la palabra adhesión. Según su origen, deriva del latín Adhaesio, que significa unir o pegar una cosa a otra. Según el Dicc. Odont. de Friedenthal 1981: se define como el “fenómeno físico consistente en la unión de dos cosas entre sí, quedando pegadas una a la otra”, o “fuerza que produce la unión de dos sustancias cuando se ponen en íntimo contacto”.

En toda la historia de la Odontología, sin duda, la adhesión al sustrato dental es la innovación más importante, particularmente durante la última mitad del siglo XIX.

Según Mclean (2000) el primer intento para lograr la adhesión a los tejidos dentales se debe al químico suizo Oscar Hagger, quien en 1949 patentó en su país un producto basado en el dimetacrilato del ácido glicerofosfórico que fue comercializado con el nombre de Sevrion Cavity seal.

La aplicación de la técnica del grabado ácido al esmalte permitió adherir resinas compuestas al tejido adamantino (Michael Buonocore, 1955) originando toda una revolución en la Odontología, tanto en sus principios como en los materiales restauradores que, a partir de entonces, se han desarrollado.

Esta Odontología Adhesiva ha hecho posible realizar restauraciones dentales estéticas y diseños cavitarios cada vez más conservadores. Otros campos de la Odontología también se han beneficiado de la posibilidad de adherir diferentes materiales a los tejidos duros dentarios.

Sin embargo, la heterogeneidad y mayor contenido orgánico y acuoso de la dentina ocasionan dificultades para conseguir la adhesión con la técnica del grabado ácido, requiriéndose un mejor conocimiento de su micro estructura y fisiología, así como de un constante desarrollo de múltiples sistemas adhesivos durante las últimas décadas (Marshall *et al.*, 1997).

Estos sistemas adhesivos han ido surgiendo con el fin de mejorar la adhesión, de simplificar el procedimiento adhesivo y reducir su sensibilidad a la técnica. Un claro ejemplo de ello, es la aparición en los últimos años de los adhesivos autograbadores que contienen monómeros acídicos en solución acuosa, capaces de desmineralizar e infiltrar el tejido, simultáneamente, sin necesidad de la aplicación previa de un ácido (Hannig *et al.*, 1999).

La efectividad de estos sistemas autograbadores en el esmalte es controvertida. Algunos autores refieren que la resistencia adhesiva obtenida con ellos es inferior a la que producen los adhesivos que requieren del grabado ácido previo (Hara *et al.*, 1999), mientras que otros los consideran una alternativa clínica eficaz (Pashley y Tay, 2001; Toledano *et al.*, 2001; Osorio *et al.*, 2003). Producen un patrón de grabado más débil, circunstancia que se ha relacionado con una menor resistencia adhesiva al esmalte sin instrumentar o aprismático (Pashley y Tay, 2001). Por último, la presencia de monómeros muy hidrofílicos en su composición parece dar lugar a una degradación mayor y

más rápida en el tiempo, lo que afectaría a la longevidad de las restauraciones (Burrow *et al.*, 1999).

Dada la importancia que el conocimiento de los substratos dentarios ha ejercido en la comprensión del mecanismo de adhesión a los mismos, se hace necesario hacer un breve recordatorio de las características morfológicas e histológicas de los tejidos dentales, substratos adhesivos que serán objeto de estudio en el presente trabajo de investigación.

1. HISTOMORFOLOGÍA DEL ESMALTE DENTAL

El esmalte está constituido químicamente por una matriz orgánica (1- 2%), una matriz inorgánica (95%) y agua (3-5%) (Berkovitz *et al.*, 2002). En la matriz orgánica, el componente más importante es de naturaleza proteica. Destacan las amelogeninas, las enamelinas, las ameloblastinas o amelinas y la tuftelina, presentes en mayor o menor medida según las distintas fases de formación del esmalte. Además de estas proteínas específicas, existen proteínas séricas, enzimas y pequeños porcentajes de condroitín 4-sulfato, condroitín 6-sulfato y lípidos (Gómez de Ferraris y Campos, 1999).

El tejido adamantino se asemeja a otros tejidos mineralizados como son el cemento, la dentina y el hueso. Sin embargo, hay algunas características que hacen del esmalte un tejido único:

1. El esmalte deriva del ectodermo y se forma a partir del órgano del esmalte.
2. Su matriz inorgánica está constituida por sales minerales cálcicas, básicamente de fosfato y carbonato, en forma de cristales de hidroxiapatita. En el esmalte, a diferencia de lo que ocurre en la dentina y en el tejido óseo, los cristales de sales minerales son más voluminosos y no parece existir fosfato cálcico amorfo (LeGercos, 1990).
3. Los cristales de hidroxiapatita del esmalte se hallan densamente empaquetados y son de mayor tamaño que los de otros tejidos mineralizados.

4. Los ameloblastos, que son las células secretoras del esmalte, desaparecen durante la erupción dentaria tras completar su formación. Esto implica que no hay crecimiento ni nueva aposición de esmalte después de la erupción.
5. El esmalte es un tejido acelular, avascular y sin inervación.
6. Es incapaz de repararse, aunque pueden producirse fenómenos de remineralización (Berkovitz *et al.*, 2002).

También se pueden encontrar oligoelementos como potasio, magnesio, hierro, flúor, manganeso, cobre, etc. los iones flúor pueden sustituir a los grupos hidroxilos presentes en el cristal de hidroxiapatita, transformándose en fluorhidroxiapatita. Ésta última es resistente a la acción de los ácidos y, por ende, más resistente a la caries (Ten Cate, 1986).

El agua es el tercer integrante de la composición química del esmalte. Está presente en la periferia del cristal constituyendo la denominada capa de hidratación o capa de agua adsorbida. Su porcentaje en el esmalte disminuye progresivamente con la edad (Gómez de Ferraris y Campos, 1999).

La estructura histológica del esmalte está constituida por la denominada unidad estructural básica, que es el prisma del esmalte, y por las denominadas unidades estructurales secundarias que se originan básicamente a partir de la anterior (Mjor y Pindborg, 1974).

Los prismas son unas estructuras longitudinales que miden alrededor de 4-6 micras de espesor promedio y que se dirigen desde la unión amelodentinaria hasta la superficie del esmalte (Mjor y Pindborg, 1974). La longitud de los prismas es mayor que el propio espesor del esmalte pues su trayecto es sinuoso. El número de prismas varía en relación con el tamaño de la corona, oscilando entre 5 y 12 millones. El conjunto de prismas del esmalte forma el esmalte prismático que constituye la mayor parte de este tejido dentario.

La relación entre los cristales dentro de cada prisma y en la región interprismática es de especial interés. Los cristales confluyen desde el eje

central del prisma, continuando con su inclinación lateral hasta que se ubican perpendicularmente respecto del prisma en la región interprismática (Ten Cate, 1986). La razón por la cual los cristales asumen esta configuración en el esmalte se debe a la acción de los ameloblastos y sus procesos de Tomes durante la formación del mismo.

El aspecto de los prismas y de la región interprismática en un corte transversal se ha comparado con el contorno del ojo de una cerradura (Meckel, 1965). Un modo conveniente de describir el "ojo de cerradura" es dividiéndolo en cabeza y en cola. Los prismas se relacionan entre sí de tal modo que entre dos cabezas se inserta la cola perteneciente a un prisma contiguo (Mjôr y Pindborg, 1974).

La dirección de los prismas del esmalte adquiere importancia clínica durante la preparación de las cavidades. La elección de los instrumentos depende de la localización de la cavidad en el diente. Generalmente los prismas discurren en ángulo recto respecto a la dentina subyacente o a la superficie del diente. Cerca de la unión esmalte-cemento los prismas adoptan una dirección más horizontal. Por tanto, cuando se preparan las superficies del esmalte en una cavidad, dependiendo de la inclinación del corte, los prismas aparecen expuestos en planos tangenciales, oblicuos o longitudinales (Van Meerbeek *et al*, 1996).

Además de la unidad estructural básica, la estructura histológica del esmalte está compuesta de las unidades estructurales secundarias, que se originan a partir de los prismas, como resultado del diferente grado de mineralización o del cambio del recorrido de los prismas y de la interrelación del esmalte con la dentina subyacente o la periferia medioambiental.

Algunas de las unidades estructurales secundarias son las estrías de Retzius, las laminillas o fisuras del esmalte, los penachos de Linderer, las bandas de Hunter-Schreger, el esmalte nudoso, la conexión amelodentinaria, los husos adamantinos, las periquimatías y las líneas de imbricación de Puckerill (Ten Cate, 1986; Gómez de Ferraris y Campos, 1999).

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, el esmalte es casi completamente homogéneo en su estructura y composición, independientemente de su profundidad y localización. Sin embargo, en la unión amelodentinaria y en algunas áreas de su superficie externa su estructura es aprismática (Gwinnett, 1990). Es decir, la sustancia adamantina mineralizada no constituye ni configura prismas (Berkovitz *et al.*, 2002) y los cristales están dispuestos paralelamente entre sí y perpendiculares a la superficie (Van Meerbeek *et al.*, 1996). El espesor de este esmalte aprismático es de unas 30 micras y está presente en todos los dientes primarios y en un 70% de los dientes permanentes. En estos últimos se encuentra ubicado en mayor medida en las regiones cervicales y en las fosas y fisuras, pero está ausente en las superficies cuspideas (Gómez de Ferraris y Campos, 1999).

La estructura prismática altamente mineralizada del esmalte hace de éste tejido el más duro del organismo, sin embargo, este alto contenido mineral también condiciona su elevada fragilidad (Mjor y Pindborg, 1974).

2- HISTOMORFOLOGÍA DE LA DENTINA

La dentina, es un tejido conectivo mineralizado de origen mesodérmico, que contiene los procesos celulares de los odontoblastos, con elevado contenido de materia orgánica y agua, con una dureza semejante al tejido óseo encargado de transmitir los estímulos térmicos, químicos y táctiles, transfiriéndolos por distintos mecanismos a los receptores del plexo nervioso subodontoblástico, otorgándole a la pulpa dentaria una información rápida y efectiva. La característica principal de la dentina es la presencia de los túbulos dentinarios que atraviesan todo su espesor y contienen las prolongaciones citoplasmáticas de los odontoblastos, que una vez formaron la dentina y ahora la mantienen.

La dentina madura, está químicamente, compuesta alrededor de un 70% en peso de material inorgánico, sobre todo de hidroxiapatita, un 18% es matriz orgánica, que en su mayor porción es colágeno tipo I y el 12% es fluido (Myor Pindborg, 1974; Le Geros, 1990). Los cuerpos celulares de los odontoblastos se alinean a lo largo del borde dentinario interno, donde también forman el límite periférico de la pulpa dental. La estructura tubular y el contenido acuoso da la dentina le otorgan sus propiedades viscoelásticas y permiten que sea permeable a estímulos térmicos y mecánicos (Ten Cate, 1986).

La dentina es un complejo hidratado compuesto por cuatro elementos: los túbulos orientados y rodeados por una región peritubular hipermineralizada, que a su vez se halla embebida en una matriz intertubular formada por colágeno Tipo I que engloba cristales de hidroxiapatita y fluido dentinario (Marshall, 1993).

Los túbulos dentinarios se extienden desde la unión amelodentinaria, en la porción coronal del diente y, desde el cemento radicular hasta la predentina, donde convergen. Esto da lugar a la presencia de una mayor densidad tubular cerca de la cavidad pulpar, donde los cuerpos de los odontoblastos se sitúan tapizando la misma. El área tubular y el diámetro de los mismos varían desde un 2.5 μm y un 22%, cerca de la pulpa a 0.8 μm y 1% en la unión amelodentinaria (Pashley, 1989). Los túbulos siguen un trayecto en "S" itálica desde la superficie externa da la dentina hasta su límite con la pulpa en la dentina coronaria. Esta curvatura es menos pronunciada en la dentina radicular y menos pronunciada aún en el tercio cervical da la raíz, así como debajo de los bordes incisales y cuspideos, donde puede tener un curso casi recto (Ten Cate, 1986).

En su interior contienen el proceso odontoblástico, en parte o a lo largo de todo su recorrido y fluido dentinario. La extensión del proceso odontoblástico todavía se desconoce, pero hay evidencias de que alcanza la unión amelodentinaria (Marshall *et al.*, 1997).

La porción terminal de los túbulos se ramifica, dando como resultado, un número mayor de túbulos por unidad de longitud en la dentina del manto. Esta ramificación terminal es especialmente profusa en la dentina radicular. Los túbulos dentinarios también presentan extensiones laterales que se ramifican a partir del túbulo principal, conectando túbulos vecinos a intervalos de 1.0 a 2.0 μm a lo largo de su longitud pudiendo alojar, extensiones citoplasmáticas laterales de los procesos odontoblasticos (Ten Cate, 1986).

Estas variaciones regionales en la estructura de la dentina implican que las propiedades dentinarias y la naturaleza que el substrato presenta para la adhesión varíen con su localización (Marschall, 1993).

La dentina peritubular es un anillo hipermineralizado de dentina que rodea al túbulo dentinario. Está constituida fundamentalmente por cristales de hidroxiapatita y en su matriz orgánica hay muy pocas fibras colágenas.

La formación de la dentina peritubular es un proceso continuo, que puede acelerarse por estímulos ambientales ocasionando una reducción progresiva del tamaño de la luz tubular, que puede incluso obliterarse, disminuyendo la permeabilidad de la dentina (Ten Cate, 1986). Este fenómeno de esclerosis aparece también con la edad y es totalmente fisiológico, siendo más marcado en el tercio apical de la raíz y en la corona, entre el límite amelodentinario y la superficie de la pulpa.

La dentina intertubular está localizada entre dentina la peritubular y constituye el componente mayoritario de la dentina. Es el principal producto secretorio de los odontoblastos y consta, de una red de fibrillas colágenas estrechamente tejida que miden entre 50 y 200 nm de diámetro en las cuales se depositan cristales de apatita. Los cristales se orientan generalmente con sus ejes mayores paralelos a la fibra colágena y la fibrillas colágenas se alinean de forma grosera en ángulos rectos respecto a los túbulos dentinarios y se forman paralelamente al frente de dentina en desarrollo (Ten Cate, 1986).

El contenido mineral de la dentina se reparte en dos áreas, la dentina intertubular, en íntima asociación con las fibras de colágeno y en la dentina peritubular de una forma más concentrada.

La porción inorgánica es constituida, esencialmente, por cristales de hidroxiapatita. Los cristales están formados por varios miles de unidades celulares y tienen una forma laminar, que de perfil adoptan el aspecto de agujas con una longitud de hasta 20 nm y un grosor que puede llegar hasta los 3,5 nm. Son de menor tamaño que los cristales del hueso y el cemento pero mas pequeños que los cristales del esmalte.

Esta porción inorgánica tiene también carbonatos, otros fosfatos cálcicos distintos de la hidroxiapatita, sulfatos y oligoelementos tales como Cobre, Flúor, zinc, hierro (Mjor y Fejerskov, 1989,; Davis, 1986; Melfi, 1994).

El pequeño tamaño de los cristales, compuestos por una apatita defectuosa con un menor contenido cálcico y un mayor contenido de carbonatos, hace que sea una estructura más soluble (Marshall et al., 1997).

El fluido dentinario ocupa el espacio que dejan las prolongaciones de los odontoblastos dentro de los túbulos y comunica con el fluido tisular de la pulpa. Según la teoría hidrodinámica (Brannstron y Asrrom, 1972) una vez que el esmalte se pierde y la dentina queda expuesta, estímulos externos causan un movimiento del líquido a lo largo de los túbulos y pueden activar las terminaciones nerviosas de la pulpa y causar dolor. Este movimiento de fluido dentro de los túbulos se ha llamado permeabilidad transdental (Pashley, *et al.*, 1993) y es responsable de la sensibilidad dentinaria tanto en la dentina expuesta como de la sensibilidad postoperatoria (Brannstron y Asrrom, 1972).

3. ADHESIÓN

3.1. Concepto de adhesión

La adhesión se define como el estado en el que dos superficies se mantienen unidas mediante fuerzas o energías interfaciales basadas en mecanismos químicos, mecánicos o ambos, con la mediación de un adhesivo. La superficie o substrato al cual se adhiere es denominado adherente. El adhesivo se define como el material que una vez aplicado sobre las superficies de dos sustancias es capaz de mantenerlas juntas, resistiendo a su separación (Packham, 1992 Y Kinloch, 1987) y el espacio que hay entre estas dos superficies se denomina interfase.

En el caso de la Odontología entran en juego tres substratos: el diente, el material de restauración y el adhesivo. Por consiguiente, siempre se crean dos interfases: adhesivo-diente y material de restauración- adhesivo.

La adhesión puede conseguirse por medio de dos mecanismos: adhesión mecánica o adhesión química. La adhesión mecánica depende de la penetración o imbricación del adhesivo en las zonas retentivas del adherente. Cuando las irregularidades superficiales responsables de la adhesión tienen dimensiones microscópicas se denomina adhesión micromecánica, mientras que si son apreciables a simple vista se denomina adhesión macromecánica (Nakabayashi y Pashley, 1998).

La adhesión química está basada en fuerzas de valencia primarias como enlaces covalentes e iónicos, que producen enlaces más resistentes. La adhesión que depende de atracciones producidas por fuerzas de Van der Waals, por las fuerzas de dispersión de London o por puentes de hidrógeno se

denomina adhesión física y produce enlaces relativamente más débiles (Nakabayashi y Pashley, 1998).

Cualquiera que sea el mecanismo de adhesión utilizado, el adhesivo debe ser capaz de humedecer el substrato (esmalte, dentina o cemento), para que se establezca un contacto íntimo entre ambos.

La capacidad de un adhesivo para humectar una superficie puede evaluarse midiendo el ángulo de contacto que se forma cuando se aplica una gota de este adhesivo sobre la superficie. Para obtener una buena humectación se requiere que el ángulo de contacto sea bajo, idealmente cerca de 0°. Ángulos de contacto elevados indican un mojado deficiente y la formación de glóbulos (McCabe, 1988; Milosevic, 1992; Erickson, 1992; Perdigão y Ritter, 2001). Por tanto, la humectabilidad es el primer requisito para la adhesión (Erickson, 1992) y depende de dos parámetros físicos fundamentales: la tensión superficial del adhesivo la energía superficial libre del adherente.

La condición que ha de cumplirse para que la humectabilidad sea máxima es que la tensión superficial del líquido aplicado (adhesivo) sea menor que la energía superficial del substrato dentario. La humectabilidad también está directamente relacionada con la rugosidad del substrato (Wenzel, 1936).

Se puede establecer que el proceso de adhesión en odontología se fundamenta en el siguiente proceso:

- acondicionamiento del adherente con el fin de adherir su morfología y/o su estructura química;
- imprimación del adherente, gracias a la aplicación de una sustancia química previa con la finalidad de hacer el substrato o adherente más receptivo al adhesivo;
- aplicación del adhesivo.

Estos tres pasos no tienen por que darse siempre, ni de forma diferenciada. Pueden darse de forma simultánea o faltar alguno de ellos.

3.2. Adhesión al esmalte

La adhesión al esmalte es uno de los problemas mejor solventados en Odontología desde que Buonocore, en 1955, tras comprobar que el uso industrial del ácido fosfórico mejoraba la adhesión de tintas y resinas a las superficies metálicas, lo aplica al esmalte de dientes extraídos para hacerlo más receptivo a un procedimiento adhesivo. Buonocore concluyó que las resinas acrílicas podían ser adheridas a una superficie de esmalte humano grabada con ácido fosfórico al 85% durante 30 segundos (Buonocore, 1955). El desarrollo posterior de las resinas sin carga ha dado lugar a que el mecanismo de adhesión de las mismas al esmalte grabado sea tan eficaz que, aún en nuestros días, siga siendo el principal pilar del éxito en las restauraciones con resinas compuestas.

Los objetivos del grabado ácido del esmalte son eliminar el barrillo generado durante la instrumentación, crear microporosidades en su superficie por la disolución parcial de las estructuras prismática e interprismática, lo que eleva su rugosidad microscópica (Retief *et al.*, 1986) y la superficie de contacto entre el esmalte y la resina. Además, aumenta su energía superficial lo que permite la perfecta imbricación de la resina en el tejido adamantino (Busscher *et al.*, 1987).

Desde la descripción de la técnica de grabado ácido, la concentración de ácido ortofosfórico y el tiempo de aplicación del mismo se han ido reduciendo, de tal forma que actualmente se recomienda su uso en una concentración que oscila entre el 30 y el 40% (Silverstone, 1975) durante 15-30 segundos, puesto que es el que crea un patrón más retentivo. Este ácido remueve aproximadamente 10 μm de la superficie del esmalte, generando una capa porosa de entre 5 y 50 μm de profundidad (Retief, 1973; Silverstone, 1974; Gwinnett, 1971) y da lugar a tres patrones morfológicos distintos. El más

común, llamado de tipo I, comprende fundamentalmente la remoción del núcleo de los prismas del esmalte, permaneciendo intacta la periferia. El patrón del tipo II es exactamente opuesto al tipo I: los tejidos de al periferia de los prismas se disuelven y los núcleos permanecen intactos. El patrón es menos homogéneo y se pueden encontrar regiones similares a las de los patrones I y II (Gwinnett, 1971; Silverstone, 1975). Esta clasificación tiene una finalidad didáctica, ya que clínicamente no es muy importante porque la realidad es que en una misma superficie de esmalte aparecen siempre mezclados los tres tipos de grabado, incluso en una zona muy pequeña, ya que los prismas se disponen en forma de haces que se curvan y retuercen arbitrariamente.

Por motivos conservadores se ha investigado la aplicación de ácidos más débiles o en concentraciones más bajas que la actualmente aceptada. Algunos estudios comprobaron que ácidos como el fosfórico al 10%, el ácido nítrico al 2.5% y el ácido maleico al 10% grababan el esmalte con la misma eficacia que el ácido fosfórico al 37% (Berry, 1990; Blosser, 1990; Gwinnett y García-Godoy, 1992). Sin embargo, los resultados de otros estudios indicaron que ácidos en concentraciones mas bajas producen valores menores de adhesión *in vitro* cuando se aplicaban durante el tiempo recomendado por los fabricantes (Triolo, 1993) y originaban patrones morfológicos cualitativamente distintos a los obtenidos con el ácido ortofosfórico del 32 al 37% (Perdigão y Ritter, 2001).

Es importante considerar que la superficie intacta del esmalte suele ser más resistente al grabado, ya que en ella el esmalte puede ser aprismático y con frecuencia tiene un mayor contenido de flúor (García Barbero y Kessler, 1997). Además, el grabado del esmalte cortado actúa en función de la zona de los prismas que se exponen al ácido. El mejor efecto se consigue cuando el ácido ataca las cabezas de los prismas porque produce una descalcificación mayor en el centro que en la periferia, de forma que se crean unos microporos de 5 a 15 micras de profundidad que son altamente retentivos.

Una vez grabado el esmalte, se aplica una resina con unas propiedades físicas específicas para humectar correctamente la superficie; como son de baja viscosidad y tensión superficial, los monómeros penetran en las

microporosidades por atracción capilar y copolimerizan entre sí. La resina envuelve los cristales de apatita y los hace resistentes al ácido (Gwinnett y Matsui, 1967; Hotta *et al.*, 1992); además, se imbrica formando prolongaciones dentro de las microporosidades (*tags*), estableciéndose una capa híbrida (Nakabayashi *et al.*, 1991).

Por tanto, el mecanismo por el que se establece la adhesión al esmalte es micromecánico, basado en la penetración de los monómeros en las microporosidades del sustrato. Si la capa híbrida que se forma es de calidad, ofrecerá resistencia al ataque ácido; un ejemplo de ello es el éxito clínico de la aplicación de los selladores de fosas y fisuras (Nakabayashi y Pashley, 1998). Además, la traba mecánica generada contrarresta la fuerza de contracción de polimerización de la resina (Davidson *et al.*, 1984), lo que permite la retención de las restauraciones. Aunque es fundamental que los monómeros tengan capacidad de difundir a través de la superficie desmineralizada del esmalte (Gwinnett y Matsui, 1967), no existe una correlación clara entre la profundidad de penetración de la resina en el esmalte grabado y la fuerza de adhesión resina-esmalte producida (Legler *et al.*, 1989).

Este proceso de hibridación cambia completamente las propiedades físico-químicas de las superficies y subsuperficies de los sustratos dentarios, considerándolo algunos autores un tipo de ingeniería tisular (Nakabayashi y Pashley, 1998).

3.3 Adhesión a la Dentina

Desde el desarrollo de la técnica de adhesión al esmalte se intentó aplicar estos conocimientos a la superficie dentinaria, sin embargo, no fue hasta los años ochenta cuando se consiguió un sistema adhesivo que ofreciera propiedades relevantes para su aplicación clínica (Bowen *et al.*, 1982).

Los adhesivos de primera generación se basaban en un concepto de adhesión química a la porción orgánica, inorgánica o a ambas. En la porción orgánica la adhesión se establecía al colágeno por la presencia de hidroximetilmetacrilato (HEMA) o gluteraldehído y en el de la porción inorgánica el adherente era la hidroxiapatita por quelación. En la mayoría de los casos los resultados de fuerza de adhesión no permitían su aplicación clínica por su bajo valor (Asmussen y Hansen, 1993; Marschal *et al.*; 1997).

Una vez demostrado que no se podía hablar de adhesión química entre las resinas y la dentina (Eliades *et al.*; 1990), se estableció que el mecanismo por el que se conseguía se debía a una retención micromecánica. La adhesión micromecánica se basa en la formación de tags de resina en el interior de los túbulos y en la formación de una estructura híbrida entre la dentina y la resina, denominada capa híbrida o zona de interdifusión (Nakabayashi *et al.*, 1982; Nakabayashi 1992). Según Pashley y Carvalho (1997) el resto de la adhesión se debe a un fenómeno superficial, dado que la adhesión química, en caso de existir, parece contribuir muy poco y puede estar enmascarada por la adhesión mecánica.

Nakabayashi (1982) describe que la formación de la capa híbrida, requiere la desmineralización de la dentina, quedando la matriz colágena expuesta y permeable para ser infiltrada por la resina que, al polimerizar, da lugar a la formación de un conglomerado terapéutico integrado por una matriz de resina y un polímero fibroso biológico que es el colágeno (Pashley y Carvalho, 1997; Nakabayashi *et al.*, 1995).

Este conglomerado, de resina adhesiva polimerizada de colágeno mezclado con resina y cristales de hidroxiapatita encapsulados por resina, ofrece una unión duradera y resistente al ataque ácido (Nakabayashi *et al.*, 1982; Tay *et al.*, 1994 y Nakabayashi *et al.*, 1982), han demostrado *in vivo* la presencia de la capa híbrida.

Para conseguir una buena adhesión micromecánica y el sellado de la dentina, la resina tiene que infiltrar el colágeno expuesto de la dentina

intertubular y intratubular para formar *tags* de resina junto con una capa híbrida continua (Nakabayashi *et al.*, 1982; Pashley y Carvalho, 1997).

Tras la desmineralización, las fibras del colágeno de la dentina peritubular adquieren un patrón predominantemente circular, permitiendo la difusión lateral de la resina a los espacios interfibrilares (Perdigão *et al.*, 1995), lo que posibilita la hibridación de la dentina peritubular, que será máxima en las 2-3 micras más superficiales de los *tags* de resina (Pashley y Carvalho, 1997).

Esta infiltración intratubular de las resinas formará *tags* de resina que, asumiendo que se unen firmemente a las paredes de los túbulos (Pashley y Carvalho, 1997), los sellarán (Tay *et al.*, 1994; Nakabayashi *et al.*, 1995), previniendo la microfiltración y bloqueando la sensibilidad, además de contribuir a la retención de la restauración.

La formación de los *tags* de resina se ve dificultada por la presencia de fluido dentinario (Tay *et al.*, 1996), por la presión intrapulpar y la presencia de núcleos minerales en el caso de la dentina esclerótica (Pashley y Carvalho, 1997).

Además, la mayoría de los tubúlos contienen ramas laterales múltiples que se irradian de 2 - 6 micras desde a luz tubular, ofreciendo una nueva vía para la hibridación tubular (Nakabayashi y Pashley, 1998). Esto permite la formación de *tags* de resina laterales (Perdigão *et al.*, 1995), que han sido propuestos como un factor potencialmente contribuyente a la adhesión micromecánica a la dentina (Tay *et al.*, 1996). Aunque, los *tags* laterales, no pueden contribuir mucho a la retención de las resinas por su pequeño tamaño, pueden ser decisivos a la hora de facilitar la infiltración de los monómeros dentro de la mitad más profunda de la zona desmineralizada (Nakabayashi y Pashley, 1998).

Según Gwinnet (1993), la adhesión total de los adhesivos a la dentina se debe a la suma de los efectos individuales no solo de la formación de los *tags* de resina y la capa híbrida, incluyendo un tercer mecanismo que sería la

adhesión superficial. Esta adhesión superficial no consistiría más que en el contacto entre la resina y la capa de dentina parcialmente desmineralizada (Gwinnet, 1993). La retención la proporcionarían las irregularidades de la superficie y sería una unión mecánica a tejido mineral.

Según Pashley (1995), la resistencia adhesiva depende de la profundidad dentinaria y de la resistencia del adhesivo. Se asume que las diferencias que existen entre la densidad tubular y el área de dentina sólida entre la dentina profunda y la superficial, condicionan la resistencia adhesiva. En una situación ideal, al haber menos túbulos en la dentina superficial que en la profunda la mayor parte de la fuerza de adhesión se debería a la infiltración de la resina dentro de la dentina intertubular. En la dentina profunda los túbulos dentinarios son mucho más abundantes; por eso, la infiltración intratubular de las resinas sería la responsable de la mayor parte de la retención total y del sellado (Pashley y Carvalho, 1997).

Los *tags* de resina generarían retención mecánica, simplemente porque infiltran la dentina desde diferentes direcciones aportando una retención que no es paralela. De tal modo, que no hay un patrón posible de remoción, a no ser que algunos *tags* se fracturen (Pashley y Carvalho, 1997). Idealmente los *tags* de resina se adherirían a las paredes del túbulo lo suficientemente fuerte como para exceder la resistencia cohesiva de la resina adhesiva; de este modo, la dentina siempre quedaría sellada. Este modelo no considera el grosor de la capa híbrida ni la longitud de los *tags*, factores determinantes de la resistencia adhesiva final, puesto que los factores principales están relacionados con la porosidad del substrato adhesivo y la resistencia de la resina adhesiva (Pashley *et al.*, 1995).

Hay que destacar que el mojado de la superficie de la dentina por los monómeros es un paso inicial necesario en la adhesión pero por sí solo no es suficiente para garantizar una adhesión exitosa, porque no asegura la penetración de los monómeros dentro de la superficie. La permeabilidad de la red dentinaria intertubular desmineralizada a los monómeros es también una variable crítica en la adhesión dentinaria (Nakabayashi *et al.*, 1992)

3.4. Clasificación de los sistemas Adhesivos

El mecanismo de adhesión a la dentina ha sido ampliamente estudiado y discutido y en algunos casos no debidamente comprobado. Al comienzo del desarrollo de la odontología adhesiva se buscó una adhesión química al calcio o a las fibras de colágeno de la estructura dentaria. EL primer intento para lograr un adhesivo corresponde a Hagger (1951). En 1955, Buonocore intentó una nueva técnica que no tuvo éxito clínico debido a la pobre unión que las resinas de la época tenían.

En 1965, Gwinnett y Buonocore describieron *in vitro*, un fenómeno adhesivo en dentina semejante al del esmalte. En 1979 Fusuyama prueba un sistema adhesivo constituido por Bis-GMA y fenil-metacriloxietil-fenil-hidroxifosfato. Fusuyama, en 1980, publicó resultados de la acción del ácido fosfórico al 40% simultáneamente sobre esmalte y dentina, idea que difundió como acondicionamiento ácido total, basado en la formación de los *tags* de resina que penetraban dentro de los túbulos dentinarios (Fusuyama 1993).

Nunes *et al*, 1990 ha demostrado que se puede hablar de adhesión química y de adhesión mecánica o, mas concretamente, adhesión micromecánica (Nakabayashi *et al*, 1991; Van Meerbeek *et al*, 1992; Van Meerbeek *et al*, 1999).

La adhesión a la dentina está basada en tres mecanismos (Gwinnet, 1993)

- Adhesión por infiltración de la dentina intertubular y la formación de la capa híbrida;
- Adhesión por infiltración de los túbulos dentinarios y sus ramas laterales;
- Adhesión superficial, por contacto entre el sustrato dentinario y el adhesivo.

La clasificación de los sistemas adhesivos más comúnmente utilizada es la que se basa en la cronología de la aparición de estos materiales en el mercado y los separa en generaciones. Sin embargo, esta clasificación carece de soporte científico, no aclara de forma objetiva el número de pasos clínicos realizados durante la aplicación de estos adhesivos, ni tampoco como interactúan con el sustrato (Van Meerbeek *et al*, 1999).

Van Meerbeek *et al.* (1998), propusieron una clasificación de los sistemas adhesivos basada en el modo de interacción con el sustrato o mecanismo de adhesión, contemplando también el número de pasos clínicos requeridos durante su aplicación:

1. Removiendo completamente el barrillo dentinario (adhesivos con 2 o 3 pasos);
2. Modificando el barrillo dentinario e incorporándolo en el proceso de unión (adhesivos con 1 o 2 pasos) ;
3. Disolviendo el barrillo (adhesivos con 1 o 2 pasos).

3.4.1 Adhesivos que remueven el barrillo dentinario

Estos son la mayoría de los adhesivos utilizados actualmente, también conocidos como sistemas de grabado total. En su presentación inicial estos materiales se aplicaban en tres pasos: grabado de los sustratos dentinarios, imprimación y aplicación de la resina adhesiva.

Una vez desmineralizados los tejidos, la función de los imprimadores (*primers*) es transformar la superficie dental hidrofílica en hidrofóbica para conseguir así la unión de la resina adhesiva.

Para ello, estos agentes contienen en su composición monómeros polimerizables con propiedades hidrofílicas, como el HEMA, disueltos en acetona, agua y/o etanol. Estos sirven como vehículos para transportar los monómeros a través del tejido grabado (Inoue *et al.*, 2000).

En 1996 Tay *et al.* describieron los sistemas adhesivos que contienen solventes orgánicos volátiles, como el etanol y la acetona, se fundamentan en la capacidad de estos para desplazar el agua remanente, facilitando así la penetración de los monómeros polimerizables a través de las microporosidades generadas por el grabado ácido en la estructura prismática del esmalte, dentro de los túbulos dentinarios abiertos y a través de los nanoespacios de la red colágena en la dentina (Tay *et al.*, 1996a). De esta forma se conseguiría una infiltración completa de los tejidos, al crearse una estrecha relación física con la microestructura tisular, siempre que los tejidos estén previamente humedecidos (Tay *et al.*, 1996b).

Los imprimadores solubles en agua contienen fundamentalmente HEMA y ácido polialquenoico. Estos materiales basan su mecanismo de acción en que, tras su aplicación, y al secar la superficie con aire, el agua se evapora, aumentando la concentración de HEMA. Este principio de diferencia de volatilidades del solvente frente al soluto es muy importante. El agua tiene una presión de vapor mucho más alta que el HEMA; de hecho, a presión atmosférica el HEMA se considera casi no volátil. Esto permite su retención, puesto que su solvente, el agua, se evapora durante el secado (Nakabayashi y Pashley, 1998).

El procedimiento de imprimación termina con una dispersión utilizando un chorro suave de aire que tiene la finalidad de remover el solvente y dejar una película homogénea y brillante en la superficie. El tercer paso consiste en la

aplicación de un agente de unión hidrofóbico, el cual se unirá químicamente con la resina compuesta aplicada a continuación.

El resultado de este procedimiento de tres pasos es lo que se llama generalmente de hibridación o formación de la capa híbrida (Nakabayashi *et al.*, 1982) o zona de interdifusión (Van Meerbeek *et al.*, 1993a), además de la formación de *tags* de resina, las cuales son factores muy importantes para la adhesión micromecánica de los materiales.

Con el surgimiento de las adhesivos en un sólo bote (*one-bottle*), el procedimiento convencional de aplicación de las sistemas adhesivos removedores de barrillo dentinario de tres pasos se redujo a dos pasos, debido a la combinación de las agentes imprimador y de unión en una sola solución. Básicamente, el actual mecanismo de adhesión empleado por estos sistemas simplificados no difiere del realizado por sus precursores de tres pasos.

A pesar del procedimiento clínico utilizándose estos sistemas de dos pasos ser más sencillo, el tiempo de aplicación no ha sido sustancialmente reducido, ya que se recomienda la aplicación de estas materiales en varias capas, sobretodo de los adhesivos con alto contenido en acetona, para garantizar un espesor suficiente de adhesivo en el tope de la capa híbrida que hará el papel de amortiguador de tensiones. El nanorelleno incorporado a algunos de estos materiales también colabora para el establecimiento de una capa de resina uniforme que estabilice la capa híbrida.

Algunos de los sistemas adhesivos de grabado total de dos pasos más utilizados actualmente son el Excite (Vivadent), el Optibond Solo Plus (Kerr), el Syntac Single-Component (Vivadent), el Prime & Bond NT (Dentsply DeTrey), el Scotchbond 1 (Single Bond) (3M-ESPE) y el One Step (BISCO), siendo estas dos últimos objetos de estudio en el presente trabajo.

Estos sistemas adhesivos necesitan que se aplique una técnica de adhesión húmeda al no realizarse el paso de imprimación de forma independiente.

El tejido debe mantenerse húmedo para evitar que, en el caso de la dentina, el colágeno desmineralizado se colapse impidiendo la infiltración completa del adhesivo. Sin embargo, para el clínico, conseguir el grado de humedad óptimo es muy difícil y por ello esta técnica se considera bastante sensible a la técnica (Frankenberger *et al.*, 2000).

Estudios hechos en esmalte grabado húmedo y seco demostraron que no había diferencias significativas entre los valores de resistencia adhesiva obtenidos, utilizándose resinas adhesivas hidrofílicas con acetona (Moll *et al.*, 2002) o etanol-agua como solventes (Jain y Stewart, 2000).

El problema de la técnica de adhesión húmeda es cuantificar clínicamente el grado de humedad, sobre todo en la dentina. Es fácil distinguir cuándo la superficie está seca, pero no lo es tanto diferenciar si está o no demasiado húmeda. Esto conlleva el riesgo de que los monómeros hidrófilos del imprimador no puedan desplazar toda la humedad de la superficie dentinaria, situación que es clínicamente real. Tay *et al.* (1996 a y c) la denominaron fenómeno de sobrejado (*overwetting*), documentándola ultramorfológicamente. Este exceso de agua afecta a la polimerización de la resina dentro de la capa híbrida, originando una fase de separación de los componentes monoméricos hidrófilos e hidrófobos que da lugar a la aparición de formaciones en ampollas y globulares en la interfase dentina-resina. Estas deficiencias en la interfase indudablemente debilitan la unión y dan lugar a un sellado incompleto de los túbulos (Tay *et al.*, 1996 a y b).

Por otro lado, cuando los adhesivos libres de agua se aplican en condiciones secas, se produce una infiltración incompleta de la dentina, formándose lo que Tay *et al.* (1996b), definieron como capa híbridoide.

Para evitar los fenómenos adversos, tanto del exceso de humedad como de secado de los sustratos dentarios, se recomienda utilizar una técnica de secado por absorción, removiendo el excedente con una bolita de algodón seca o papel absorbente después de acondicionar (Kanca, 1992; Tay *et al.*, 1996a).

Una superficie suficientemente húmeda se evidencia clínicamente por una superficie uniformemente brillante en la que no hay agua en movimiento.

A pesar del éxito clínico de la técnica de grabado total, recientemente han aparecido nuevos sistemas adhesivos cuyo uso no requiere del grabado ácido previo de las superficies, con el fin de simplificar el procedimiento adhesivo (Tanumiharja *et al.*, 2000) y reducir la sensibilidad de la técnica, sobre todo en lo que se refiere al grado de humedad en la dentina (Pashley y Tay, 2001). Estos adhesivos son los sistemas autograbadores, los cuales serán comentados en el apartado 3.4.3.

3.4.2. Adhesivos que modifican el barrillo dentinario

Los sistemas adhesivos modificadores del barrillo dentinario evolucionaron a partir del concepto de que este barrillo funciona como una barrera natural para la pulpa, protegiéndola contra una invasión bacteriana e impidiendo que el fluido dentinario pueda afectar la eficacia de la adhesión.

Clínicamente, este grupo de materiales incluyen básicamente a los antiguos sistemas adhesivos que requerían un grabado ácido selectivo del esmalte como un paso separado. Muchos de estos materiales ya no se utilizan debido a su efectividad clínica insatisfactoria. Sin embargo algunos materiales utilizados actualmente, como es el caso de los agentes imprimadores utilizados previamente a la aplicación de resinas modificadas por poliácidos o compómeros también están incluidos en este grupo (Inoue *et al.*, 2000).

La ineficacia de estos primeros sistemas adhesivos que se unían directamente al barrillo dentinario se explica por el hecho de que no conseguían penetrar a través de él. La máxima resistencia al cizallamiento que se obtenía con estas agentes era de 5 MPa. El análisis posterior de las superficies adhesivas mediante microscopía electrónica de barrido mostró que

estaban cubiertas de partículas de barrillo dentinario. Esto significaba que los 5 MPa se correspondían con los valores de las fuerzas cohesivas de las propias partículas del barrillo. La verdadera fuerza de adhesión interfacial entre la resina y la parte más superficial del barrillo era superior a 5 MPa, pero desconocida (Inoue *et al.*, 2000).

Dada la limitada resistencia del barrillo, las dos opciones que quedaban eran eliminarlo o desarrollar agentes que penetraran a través del mismo en el sustrato dentario subyacente. Ambos procedimientos se han aplicado posteriormente con éxito (Eick *et al.*, 1970; Eick *et al.*, 1991; Eick *et al.*, 1992; Watanabe *et al.*, 1994; Tay *et al.*, 2000).

3.4.3. Adhesivos que disuelven el barrillo dentinario

Los sistemas adhesivos clasificados como disolventes del barrillo dentinario son los actualmente conocidos como autograbadores que se caracterizan por presentar el procedimiento clínico más simplificado. Estos materiales disuelven el barrillo y simultáneamente desmineralizan la superficie del sustrato, y como no son lavados, el barrillo se incorpora al proceso de unión y se reducen los problemas asociados a la sensibilidad técnica (Fritz y Finger, 1999).

El concepto de sistemas adhesivos autograbadores ha sido introducido a través de una antigua generación de adhesivos, como por ejemplo el Scotchbond 2 (3M), Coltène ART Bond (Coltène), Ecusit Primer- Mono (DMG) y Syntac (Vivadent). Sin embargo, estos materiales estaban indicados para uso exclusivo en dentina y, por lo tanto, un paso separado de grabado ácido del esmalte era necesario.

Tradicionalmente, los sistemas adhesivos diseñados para ser aplicados sobre el barrillo dentinario pueden hacerse acídicos de tres formas genéricas. La primera de ellas utiliza monómeros resinosos metacrilados polimerizables que contienen moléculas de ácidos sulfónico, carboxílico, fosfórico o sus ésteres (Hasegawa *et al.*, 1989). La segunda incorpora minerales o ácidos orgánicos como aditivos a monómeros resinosos no acídicos hidrofílicos. La tercera es mezclar minerales o ácidos orgánicos con monómeros acídicos hidrofílicos. En la tercera estrategia, ácidos inorgánicos fuertes (ácido fosfórico), ácidos anhídridos o ácidos orgánicos no polimerizables (ácido cítrico) pueden ser añadidos a monómeros resinosos acídicos para aumentar la acidez de la mezcla para mejorar el grabado del esmalte (Tay y Pashley, 2001).

Los sistemas autograbadores actuales fueron desarrollados basándose en modificaciones de la primera y segunda estrategia. El concepto de adhesión a los sustratos dentarios cubiertos por barrillo dentinario no es nuevo, pero no ha sido reconocido como una técnica exitosa hasta hace poco. El resurgir del uso de los sistemas adhesivos autograbadores está basado en las experiencias adquiridas debido a las deficiencias de las primeras generaciones de los adhesivos que se adherían al barrillo dentinario (Tay y Pashley, 2001).

La primera estrategia que utiliza monómeros resinosos acídicos basados en metacrilatos es atractiva puesto que el ácido y los grupos funcionales polimerizables están dentro de la misma molécula. Estos monómeros invariablemente penetran en toda la zona desmineralizada del sustrato cubierto por barrillo. Fosfonatos como el ácido vinilfosfónico y el ácido vinilbencilfosfónico se usaron durante más de veinticinco años como adhesivos en el esmalte y en la dentina (Anbar *et al.*, 1974). Sin embargo, fueron desarrollados cuando el concepto adhesivo vigente en esa época era que las resinas se quelaban con el calcio del sustrato. Por tanto, estos ácidos eran neutralizados para maximizar su potencial quelante, lo que anulaba su efecto potencial acondicionador en los tejidos duros dentales.

Los ésteres del ácido fosfórico, como el fenil-P también fueron investigados como componentes potenciales de los adhesivos dentinarios (Yamauchi *et al.*, 1981).

Sin embargo, la concentración inicial de estos monómeros era del 5% en peso y la resistencia adhesiva era baja. Una serie comercial de imprimadores basados en ésteres fosforados del dipentaeritritol-pentacrilato (PENTA) también fueron desarrollados para la adhesión a la dentina cubierta por barrillo (Billington *et al.*, 1985). Puesto que estos imprimadores son ligeramente ácidos, no podían atravesar el barrillo y desmineralizar la dentina subyacente (Yu *et al.*, 1991). Este fracaso en la desmineralización dio lugar a uniones débiles debido a la ausencia total de una auténtica capa híbrida en la dentina intertubular subyacente (Eick *et al.*, 1991). La resistencia adhesiva de estas primeras generaciones de sistemas adhesivos era baja puesto que la unión establecida no excedía la adhesión del barrillo a la dentina,

El uso reciente de monómeros ácidos polimerizables con grupos funcionales del ácido fosfórico, como el fenil-P y el MDP ha aumentado su concentración desde un 5% original hasta un 20-30% (Tani *et al.* 1993; Hayakawa *et al.* 1998). La mejora en el potencial grabador de los imprimadores autograbadores dio lugar a la formación de un complejo hibridizado de un espesor muy reducido consistiendo en una zona superficial de barrillo dentinario hibridizado y una capa híbrida subsuperficial auténtica (Watanabe *et al.*, 1994). A pesar de la presencia de un complejo hibridizado delgado que generalmente es inferior a 2 μ , se han descrito valores de resistencia adhesiva iniciales altos a la dentina sana (Pereira *et al.*, 1999).

Los sistemas autograbadores actuales proporcionan grabado ácido e imprimación simultáneos del esmalte y de la dentina, resultando en una simplificación del procedimiento clínico de aplicación de estos materiales, debido a la reducción en el número de pasos y a la falta de necesidad de un lavado tras el grabado. Por esta razón, el uso de los sistemas adhesivos autograbadores parece ser prometedor; intenta evitar problemas clínicos importantes, como el colapso de las fibras colágenas debido al secado tras el

grabado ácido de la dentina, o el fenómeno de sobremojado resultante de una eliminación insuficiente de la humedad de la superficie grabada en la técnica de adhesión-húmeda (Tay *et al.*, 1994; Tay *et al.*, 1997).

La relación entre la profundidad de desmineralización y la extensión de la penetración de la resina es la clave para crear una capa híbrida de calidad. Una infiltración pobre de la resina adhesiva dentro del sustrato desmineralizado deja nano-espacios dentro de la capa híbrida (Sano *et al.*, 1995; Spencer, 1999) y esta región puede ser susceptible a la degradación por los fluidos orales (Sano *et al.*, 1999). En el caso de los sistemas autograbadores, como estas materiales desmineralizan la superficie del sustrato dentario y sus monómeros infiltran simultáneamente a través de las microporosidades generadas y a continuación se polimerizan *in situ*, teóricamente no hay diferencia entre la profundidad de desmineralización y la extensión de penetración de dichos materiales (Nakabayashi y Saimi, 1996). La profundidad de desmineralización durante la aplicación del adhesivo depende del tipo de monómero ácido, de la duración de la aplicación y de la composición del sustrato dentario (Miyazaki *et al.*, 2002a).

Los adhesivos autograbadores se dividen en de dos pasos y de un paso ("*All-in-one*"). Los primeros se presentan en dos frascos separados conteniendo en uno de ellos el agente autograbador (monómeros ácidos y agentes imprimadores) y en el otro el agente de unión. Los de un solo paso combinan los pasos de grabado, imprimación y adhesión en una única solución.

Scotchbond 2 (3M-ESPE), Clearfil Liner Bond 2 (Kuraray), Clearfil liner bond 2V (Kuraray), Clearfil SE Bond (Kuraray), NRC + Prime & Bond NT (Dentsply De Trey) y Resulcin (Merz Dental) son algunos ejemplos de sistemas autograbadores de dos pasos y AQ Bond (Sun Medical), One-up Bond F (Tokuyama), Xeno CF Bond (Sankin), Etch & Prime 3.0 (Degussa) y Prompt-L-Pop (3M-ESPE) son algunos de Las autograbadores de un solo paso más utilizados actualmente.

En lo que se refiere a la composición, materiales como HEMA y agua están presentes en casi todos los adhesivos autograbadores, además de moléculas acídicas como monómeros fosfatados (MDP, PENTA, di-HEMA fosfato y ésteres) y moléculas acídicas orgánicas (4-MET, ácidos maleico e itacónico). En todos los sistemas adhesivos autograbadores, el agua es un componente fundamental, ya que permite la ionización de los monómeros acídicos para que haya una desmineralización de los tejidos dentales duros.

3.5. .El estado del arte en adhesión a los sustratos dentales sobre el manejo de las variables del estudio ácido ortofosfórico, hipoclorito sódico, dos tiempos, dos capas y según fabricante.

Aunque los sistemas adhesivos autograbadores sean más fáciles y rápidos de utilizar (Finger y Fritz, 1998) su efectividad en el esmalte es todavía controvertida. Algunos estudios *in vitro* (Hannig *et al.*, 1999) han determinado que los sistemas autograbadores son equivalentes a los sistemas de grabado total en lo que se refiere a la resistencia adhesiva al esmalte y a la dentina (Hannig *et al.*, 2001; Oberlander *et al.*, 2001; Hayakawa *et al.*, 1998; Miyazaki *et al.*, 2002b; Toledano *et al.*, 2001) y a la resistencia a la microfiltración (Gordan *et al.*, 1998a; Osorio *et al.*, 2003). Sin embargo, parece ser que la resistencia adhesiva que aportan al esmalte instrumentado es inferior en comparación con los sistemas de grabado total (Hara *et al.*, 1999) y se ha descrito la formación de zonas secas relacionadas con áreas en las que la capa de adhesivo es tan delgada que no se polimeriza de forma adecuada. Además, algunos autores han considerado que la capacidad de descalcificación de los adhesivos autograbadores en el esmalte es insuficiente para la creación de una adhesión eficiente, dado que su acidez es generalmente más débil (Gordan *et al.*, 1998b).

Para contrarrestar esta limitación, se ha propuesto realizar un grabado ácido previa con ácido ortofosfórico y así conseguir un patrón de grabado más marcado que permita la infiltración de la resina formando *tags* más anchos y

consistentes, lo que se reflejaría en un aumento en la resistencia adhesiva (Gordan *et al.*, 1998b; Toril, *et al.*, 2002). Otros autores han confirmado su efecto beneficioso en la reducción de la microfiltración en el esmalte en cavidades de Clase V (Kubo *et al.*, 1996).

Otro método propuesto para optimizar la infiltración de los monómeros resinosos y consecuentemente crear uniones más estables y resistentes es alargar su tiempo de difusión (Pioch *et al.*, 1998). De hecho, esta influencia del tiempo durante el que está en contacto el imprimador con la superficie dentinaria en la resistencia adhesiva producida ha sido puesta de manifiesto en el caso de las adhesivos de tres pasos

Las instrucciones de los fabricantes no especifican el tiempo de espera entre la imprimación y las siguientes pasos o entre la aplicación de la resina adhesiva y su polimerización. Sin embargo, una espera que permitiera al imprimador y a la resina adhesiva permanecer durante más tiempo en contacto con la superficie dentaria podría crear una unión más fuerte entre la resina compuesta y el tejido dental (El-din y El- Mohsen, 2002). Ese mayor tiempo de aplicación del material favorecería una penetración más profunda y uniforme dentro del tejido desmineralizado.

Una de las propiedades atribuidas a la capa híbrida es la de absorción del estrés generado durante la contracción de polimerización de las resinas restauradoras. Este estrés generalmente se concentra en la interfase adhesiva y en caso de ser superior a la resistencia adhesiva fracasaría la unión. En una situación clínica esta puede causar problemas postoperatorios como hipersensibilidad, irritación pulpar, y caries secundarias (Zheng *et al.*, 2001, Unterbrick y Liebenberg, 1999).

De este modo la efectividad inicial y la longevidad de la interfase entre la resina compuesta y los tejidos dentarios puede describirse como una relación entre la resistencia adhesiva y el estrés generado por la contracción de polimerización (Montes *et al.*, 2001).

La capa híbrida tiene un módulo de elasticidad relativamente bajo, en comparación con la resina restauradora y el tejido dentario, capaz de liberar el estrés de la contracción de polimerización permitiendo al material absorber y resistir la deformación y disminuir el efecto de una contracción rígida en la interfase (Labella *et al.*, 1999; Davidson *et al.*, 1984a).

Por tanto, una forma práctica de resolver los efectos de la contracción de polimerización del composite sería colocar una capa relativamente gruesa de resina adhesiva entre el composite y el diente, cuyo módulo de elasticidad relativamente bajo podría actuar absorbiendo el estrés generado por el composite durante la contracción de polimerización (Van Meerbeek *et al.*, 1993b). El uso de adhesivos con relleno sigue el mismo principio, puesto que facilitaría que se crearan capas híbridas y de resina adhesiva más gruesas capaces de absorber un estrés mayor (Unterbrick Y Liebenberg, 1999; Labella *et al.*, 1999).

Clínicamente, el deterioro de las márgenes de las restauraciones de composite sigue siendo el factor responsable de la disminución de la vida útil de las restauraciones adhesivas (Van Meerbeek *et al.*, 2001). Por tanto, la evaluación de las propiedades de la interfase adhesiva a largo plazo es esencial, teniendo en cuenta que la adhesión entre la restauración y la estructura dental sólo es significativa si es duradera (Gwinnett y Yu, 1995; Burrow *et al.*, 1996).

Las conclusiones más fiables sobre los sistemas adhesivos dentales deben estar basadas en estudios clínicos a largo plazo, o bien, en estudios *in vitro* con almacenamiento en agua a largo plazo o con ciclado térmico (Miyazaki *et al.*, 2000; Burrow *et al.*, 1993; Burrow *et al.*, 1996). Un factor degradante de la unión diente-composite muy conocido es la exposición al

agua (Gwinnet y Yu, 1995; Sano *et al.*, 1999; Armstrong *et al.*, 2001). Otros factores degradantes son la presencia de solvente residual del adhesivo o remoción insuficiente del agua (De Munck *et al.*, 2003).

En el esmalte, la unión conseguida con el grabado ácido ha demostrado ser estable y duradera en el tiempo tanto *in vitro* (Miyazaki *et al.*, 2000) como *in vivo* (Türkün, 2003), ejerciendo además un efecto de sellado o protector de la interfase dentina-adhesivo (De Munck *et al.*, 2003), tanto en el caso de adhesivos de tres pasos como de dos. En el caso de las adhesivos autograbadores los autores se cuestionan si la formación de *tags* de resina más estrechos y con un menor número, por el patrón de grabado más suave, supondría un deterioro más rápido de la interfase una vez que inmerso en un medio acuoso se sometiera a estrés (Miyazaki *et al.*, 2000). También influiría el carácter más hidrofílico de estos sistemas adhesivos que favorecerían la absorción de agua (Burrow *et al.*, 1999; Torii *et al.*, 2002).

II. OBJETIVOS

Los objetivos del presente estudio fueron los siguientes:

1. Evaluar la microfiltración en cavidades de clase V de resina compuestas con sistemas adhesivos de grabar y lavar *versus* sistemas adhesivos autograbadores aplicados según fabricante después de distintos tiempos de envejecimiento en agua destilada.

2. Estudiar la microfiltración en cavidades de clase V de resina compuesta con sistemas adhesivos de grabar y lavar *versus* sistemas adhesivos autograbadores aplicando las siguientes variables de manipulación:
 - a. Doble capa de primer.
 - b. Doble de tiempo del imprimador.

3. Evaluar el efecto del grabado ácido previo y de la desproteinización con NaOCl de la superficie de dentina en restauraciones de clase V de resina adheridas con sistemas adhesivos autograbadores dos pasos.

4. Evaluar la microfiltración de cavidades de clase V de resina compuesta realizadas en cinco sistemas adhesivos diferentes cuatro autograbadores y uno convencional, alterando las siguientes condiciones de aplicación de los mismos::
 - a. realizar un grabado ácido previo de la dentina,
 - b. desproteinización de la superficie de la dentina

5. Cuantificar la resistencia a la microfiltración de diferentes sistemas adhesivos de grabar y lavar *versus* autograbadores, siguiendo las instrucciones de los fabricantes.

- 6 Evaluar el efecto del almacenamiento en agua destilada en la longevidad de la adhesión durante 24h 6 meses, 12 meses y 24 meses en los sistemas adhesivos evaluados.

III. MATERIAL Y MÉTODOS

1.1. Técnica de preparación de cavidades

En este estudio se han utilizado 600 terceros molares humanos sanos extraídos. Una vez obtenidos se limpiaron para eliminar los restos de tejido orgánico y sarro que pudieran tener y se almacenaron en una solución de timol al 1% a 4° C por un periodo no superior a 6 meses.

A cada diente se le realizó dos cavidades de clase V, una en la cara vestibular y otra en la cara lingual, con la turbina e irrigación y una fresa de carburo de tungsteno #329 (Komet Gebr. Brasseler GmbH, Lemgo, Germany).

Las preparaciones se centraron en la unión amelocementaria de forma que el margen gingival quedaba situado en cemento y el margen oclusal en esmalte; en este último, se realizó un bisel de 45° usando una fresa de diamante (Komet Gebr. Brasseler GmbH, Lemgo, Germany), desgastando aproximadamente la mitad del espesor del esmalte (0.5 mm de profundidad) (Toledano M, *et al* 2000).

Después de una inspección visual para comprobar los márgenes de la cavidad, los dientes se distribuyeron aleatoriamente en 5 grupos experimentales (n= 25), correspondientes a cada uno de los sistemas adhesivos estudiados y que se muestran en la tabla 1.

Los sistemas adhesivos se aplicaron en esmalte y dentina siguiendo tres protocolos diferentes:

1. Siguiendo estrictamente las instrucciones del fabricante (tabla 1);
2. Después de acondicionar las superficie con ácido fosfórico en gel al 37% (Uni-Etch, Bisco, Schaumburg, IL, USA) durante 15 segundos.
3. Después de acondicionar la superficie con ácido fosfórico en gel al 37% (Uni-Etch, Bisco, Schaumburg, IL, USA) durante 15 segundos y tratarla con una solución al 10% de hipoclorito sódico (Panreac Química, Barcelona, Spain) durante 2 minutos con agitación constante (Toledano M, *at al*, 1999). Las cavidades se lavaron con agua y se secaron con aire para aplicar rápidamente le sistema adhesivo seleccionado y fueron restauradas con un composite híbrido (Tetric Ceram, Ivoclar-Vivadent, Schaan, Liechtenstein), colocándolo en dos incrementos y fotocurándolo durante 40 segundos (intensidad: 600 mW/cm², Optilux 400, Demetron Research Corp, Danbury, CT, USA).

El acabado y el pulido de las restauraciones se realizaron con discos Sof-lex (3M Dental Products Division, St Paul, MN, USA). Los dientes restaurados de cada grupo se dividieron de forma aleatoria en cuatro subgrupos (n=5) y se almacenaron en una solución salina a 37° C durante 24 horas, 6 meses, 1 año y 2 años. Después de completar los tiempos de almacenaje, se sellaron los ápices de los molares con una cera pegajosa (Kerr USA, Romulus, MI, USA) y toda la superficie de los molares fue barnizada con esmalte de uñas excepto a 1 mm del margen de las restauraciones.

Posteriormente fueron incluidos en una solución de fuccina básica al 0.5% durante 24 horas a 37° C y lavados con agua y secados con aire hasta poder visualizar el margen de las restauraciones. Para facilitar el corte de los dientes se incluyeron en un bloque de resina autopolimerizable (Technovit 7200 VLC, Kulzer, Norderstedt, Germany).

Figura 1 y 2

Molares barnizados con ápices sellados incluidos en fuccina



Cada diente se cortó longitudinalmente en secciones de 6 mm de espesor con un disco de diamante a baja velocidad y con irrigación (Isomet 4000; Buehler Ltd. Lake Bluff, IL, USA) para evaluar el sellado marginal. Las secciones se separaron, y las superficies correspondientes a la porción mesial, distal y central de la interfase de las restauraciones se examinaron a nivel de los márgenes oclusal y gingival con un esteromicroscopio (SZ-4045TR Olympus Co., Tokyo, Japan) a x40 de magnificación.

La penetración de la tinción en ambos márgenes se registró de acuerdo con el siguiente baremo:

Grado 0: no hay penetración

Grado 1: la penetración no pasa de la mitad de las paredes gingival u oclusal de la restauración.

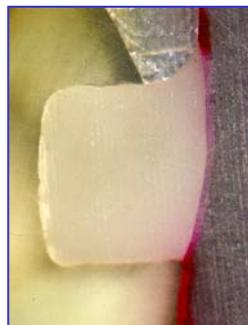
Grado 2: la penetración no pasa del ángulo de dichas paredes con la pared axial.

Grado 3: la penetración también afecta la pared axial.

Figura 3, 4, 5 y 6



Grado 0



Grado 1



Grado 2



Grado 3

1.2. Microscopia Electrónica de Barrido (MEB)

Las secciones seleccionadas fueron incluidas en una solución fijadora de glutaraldehído al 2% en agua durante 24 horas, tras las cuales se desecaron durante 48 horas (Simple Dry Beeper Samplatec Corp., Japón) y se cementaron en portamuestras de aluminio para su estudio microscópico.

Tras ser metalizadas con oro con una unidad de cobertura Polaron E500 (Polaron Equipment Ltd., Watford, Inglaterra) se observaron en un microscopio electrónico de barrido (ZEISS DMS-950, Kart-Zeiss, Germany) con un voltaje de aceleración de 20 kV para examinar la morfología de las interfases.

2. Análisis estadístico

Los datos de microfiltración obtenidos en los márgenes gingival y oclusal de las cavidades en cada grupo experimental se analizaron con el test Kruskal-Wallis ($p < 0.05$). Si existían diferencias significativas en algún margen se aplicó el test de Mann-Whitney U ($p < 0.01$). La comparación entre grupos se completó con usando el test de Wilcoxon para muestras apareadas ($p < 0.05$) (Osorio R, *at al*, 200

Tabla 1: Composición química y modo de aplicación según fabricante de los adhesivos autograbadores utilizados en el estudio.

Sistemas adhesivos autograbadores	Composición	Modo de aplicación
<p>Clearfil SE Bond (CSEB) Kuraray Co,ltd, Osaka, Japón (pH=1.9)</p>	<p><i>Imprimador:</i> 10-MDP; HEMA; dimethacrilato hidrophilic; dl-camphorquinona; N,N-diethanol-p-toluidino, agua.</p> <p><i>Adhesivo:</i> 10-MDP; Bis-GMA; HEMA; dimethacrylato hydrophobic; dl-camphorquinona; N,N-diethanol-p-toluidino; silice coloidal silanizado.</p>	<p>Aplicar Primer 20s. Secar suavemente con aire. Aplicar el adhesivo. Secar suavemente. fotopolimerizar 10s.</p>
<p>Adper Prompt L-Pop (PLP; 3M ESPE) (pH=0.7)</p>	<p><i>Blister rojo:</i> Bis-GMA, esteres fosforicos methacrilatos, CQ, estabilizadores.</p> <p><i>Blister amarillo:</i> agua, HEMA, acido polialquenoico, estabilizadores.</p>	<p>Aplicar el adhesive durante 15s. Secar suavemente. Fotopolimerizar 10s.</p>
<p>One-Up bond F (OUB) Tokuyama Europe) (pH=1.3)</p>	<p><i>Blister A:</i> Monomero fosforico , MAC-10, monomero metacrilico multifuncional , co-iniciador.</p> <p><i>Blister B:</i> HEMA,,agua fluoroaluminosilicato microrrelleno, catalizador.</p>	<p>Misturar lo bote A+ B (1:1). Aplicar la mistura durante 20s. Secar suavemente. Fotopolimerizar 20s.</p>
<p>Futurabond (Voco) (pH =1)</p>	<p>Bis-GMA, diuretanedimethacrilate, Hidroxietilmetacrilato, BTH, Acetona, acido organico..</p>	<p>Misturar lo bote A+ B (1:1), 5s. Aplicar lo adhesivo durante 30s. Secar suavemente. Fotopolimerizar 20s. Secar suavemente. Repetir aplicación del adhesivo. Fotopolimerizar 20s.</p>

Abreviaturas: 10-MDP: 10-methacriloxidecil dihidrogen fosfato; HEMA: 2-hidroxietyl metacrilato; Bis-GMA: bisfenol A diglicidil éter dimetacrilato; TEGDMA: trietilen glicol-dimetacrilato; CQ: d,camforoquinona; BPDM: bifenil dimetacrilato; MAC-10: Metacrililoiloxialquil acido fosfato; BTH: hidroxi tolueno butilato.

Tabla 2: Composición química y modo de aplicación según fabricante de los sistemas adhesivos de grabar y lavar utilizados en el estudio.

Sistemas adhesivos de grabar y lavar	Composición	Modo de aplicación
<p>One Step (Bisco) (pH= 3.8)</p>	<p>Bis-GMA, BPDM, HEMA, CQ, ácido p-dimethylaminobenzoico (co-iniciador), acetona.</p>	<p>Grabado ácido 15 s, lavar con agua and secar. Aplicación del adhesivo. Secar suavemente y esperar 30s, fotopolimerizar 20s. Repetir aplicación hasta aspecto brillante.</p>

Abreviaturas: Bis-GMA: bisfenol A diglicidil éter dimetacrilato; BPDM: bifenil dimetacrilato; HEMA: 2-hidroxietil metacrilato; CQ: camforoquinona

IV. RESULTADOS

Para estudiar el sellado marginal de los sistemas adhesivos de grabado total *versus* los sistemas adhesivos autograbadores después de su envejecimiento en agua estudiando la influencia del grabado ácido y del tratamiento de la dentina con hipoclorito sódico, los resultados obtenidos se muestran en las tablas 2-4.

En los márgenes de esmalte, Clearfil SE Bond y Adper Prompt L-Pop aplicados según las instrucciones del fabricante presentaron un incremento estadísticamente significativo de la microfiltración a lo largo del tiempo ($p < 0.05$). No existieron diferencias estadísticamente significativas con el sistema adhesivo One Step. Después de 24h, 6 meses y 1 año no existieron diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas adhesivos, aunque One Step obtuvo mejores resultados después de 1 año de almacenamiento.

Después de la aplicación de ácido ortofosfórico, la microfiltración fue estadísticamente mayor con el sistema adhesivo Adper Prompt L-Pop después de 1 y 2 años y Clearfil SE Bond después de 2 años. No hubo diferencias estadísticamente significativas entre los sistemas adhesivos a las 24 horas y 6 meses de almacenamiento en agua. Existió una reducción significativa en el sellado marginal con el sistema adhesivo Adper Prompt L-Pop después de 1 y 2 años.

El grabado ácido y la aplicación de NaOCl no previno la microfiltración: hubo diferencias estadísticamente significativas después de 1 y 2 años en los sistemas adhesivos

Adper Prompt L-Pop y Clearfil SE Bond. Para el resto de los sistemas adhesivos no existían diferencias.

Los datos muestran una microfiltración extensa en la interfase con la dentina no existiendo diferencias estadísticamente significativas a lo largo del tiempo para los sistemas adhesivos Adper Prompt L-Pop aplicado de acuerdo con las instrucciones del fabricante. El sistema adhesivo Adper Prompt L-Pop permitió mayor microfiltración que One Step y Clearfil SE Bond después de 24 horas y 6 meses de almacenamiento en agua. Todos los sistemas adhesivos testados eran estadísticamente similares después de 1 y 2 años de almacenamiento en agua.

El grabado ácido previo produjo un aumento de la filtración solamente con el sistema adhesivo Clearfil SE Bond después de 6 meses y One Step a partir de 1 año. Todos los adhesivos se comportaron de forma similar a los 2 años de su almacenamiento en agua.

Después del grabado ácido y la aplicación de NaOCl los sistemas adhesivos Clearfil SE Bond y Adper Prompt L-Pop mantenían un nivel de filtración estable. Al contrario, el sellado marginal con One Step fue dispar al año y a los 2 años.

Los sistemas adhesivos se comportaron de forma similar después de 1 y 2 años de envejecimiento en agua. El test de Wilcoxon registró una filtración estadísticamente mayor en los márgenes de dentina confirmada por diferencias estadísticamente significativas entre la microfiltración en el margen de esmalte y e de dentina para el sistema adhesivo Adper Prompt L-Pop, independientemente del tiempo de envejecimiento y la variable de manipulación alterada. Los sistemas adhesivos Clearfil SE Bond y One Step permitieron una filtración mayor en los márgenes de dentina después de 24 meses de envejecimiento.

Para evaluar la influencia del envejecimiento en agua de los adhesivos de un solo paso se muestran los resultados obtenidos en las tablas 5-7.

Cuando los adhesivos se aplicaron de acuerdo a las instrucciones del fabricante, hubo un incremento significativo en la microfiltración en los márgenes de esmalte después de 1 año de almacenamiento con los sistemas adhesivos One-Up Bond y Adper Prompt L-Pop y después de 2 años para el sistema adhesivo Futurabond. La microfiltración con los sistemas adhesivos fue estadísticamente similar a las 24 horas, 6 meses y 1 año. Al año, Futurabond mostró mejor sellado marginal.

Los datos de la extensión de la microfiltración en los márgenes de dentina no revelaron diferencias estadísticamente significativas entre los tiempos de almacenamiento solamente

cuando se aplica Adper Prompt L-Pop. Este adhesivo mostró los peores niveles de microfiltración a las 24 horas.

Hubo una reducción significativa del sellado marginal en esmalte después del grabado ácido en todos los grupos a partir del año. No hubo diferencias entre los tres adhesivos después de 24 horas y 6 meses en agua. El margen de dentina con el adhesivo One Up Bond sufrió un incremento de la filtración después de los 6 meses.

La duplicación de la capa de adhesivo no previene la filtración: hubo diferencias estadísticamente significativas después del envejecimiento en todos los grupos experimentales. El uso de doble capa de adhesivo mejora el margen de esmalte en la restauración con los adhesivos One Up Bond y Prompt L-Pop durante los primeros 6 meses y no tiene efecto en el margen de dentina. En esmalte, la microfiltración era estadísticamente similar a las 24 horas, 6 meses y 1 año. En el margen de dentina, no hubo diferencias después de 1 año y 2 años.

El aumento del tiempo de aplicación no mejora el sellado marginal en el esmalte. Todos los sistemas adhesivos permitieron microfiltración después de 6 meses. Por el contrario, el sellado en dentina con Futurabond mejoró al duplicar el tiempo de aplicación. No hubo diferencias entre los adhesivos evaluados. El test de Wilcoxon mostró un aumento significativo de la filtración en los márgenes de esmalte, independientemente de la variable de manipulación alterada.

Tabla 2. Distribución de los valores de microfiltración entre los sistemas adhesivos aplicados de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

Sistema Adhesivo	Margen	24 h					6 m					12 m					24 m				
		0	1	2	3		0	1	2	3		0	1	2	3		0	1	2	3	
One Step	Oclusal	10	0	0	0	1A	2	7	1	0	1A	7	3	0	0	1C	0	9	1	0	1A
	Gingival	6	1	3	0	1a	2	5	3	0	1c	1	5	3	1	12a	0	3	3	4	2a*
CSEB	Oclusal	7	0	3	0	1A	2	6	2	0	12A	0	10	0	0	1A	0	5	4	1	2A
	Gingival	6	3	1	0	1a	5	5	0	0	1ac	2	2	3	3	2a	0	4	3	3	2a
PLP	Oclusal	7	2	1	0	1A	1	6	3	0	2A	0	5	3	2	2B	0	5	4	1	2A
	Gingival	0	1	3	6	1b*	0	2	2	6	1b*	1	3	2	4	1a*	0	3	1	6	1a*

*En cada columna, los grupos con la misma letra son estadísticamente similares ($p > 0.05$). En cada fila, los grupos con el mismo número son estadísticamente similares ($p > 0.05$). * indica diferencias significativas entre los valores en gingival y oclusal en el mismo grupo experimental ($p < 0.05$).*

Tabla 3. Distribución de los valores de microfiltración entre los sistemas adhesivos aplicados después de grabar con 37% H₃PO₄ (15s)

Sistema Adhesivo	Margen	24 h					6m					12m					24m				
		0	1	2	3		0	1	2	3		0	1	2	3		0	1	2	3	
One Step	Oclusal	10	0	0	0	1A	2	7	1	0	1A	2	7	1	0	1A	3	7	0	0	1A
	Gingival	6	1	3	0	1a	2	5	3	0	1a	0	4	1	5	12ab*	0	2	2	6	2a*
CSEB	Oclusal	8	2	0	0	1A	2	6	2	0	1A	7	3	0	0	1A	0	9	1	0	2A
	Gingival	8	0	2	0	1a	2	3	3	2	2ab	1	5	3	1	2a	0	3	3	4	2a*
PLP	Oclusal	8	2	0	0	1A	5	4	1	0	1A	0	6	1	3	2B	0	0	7	3	2B
	Gingival	1	0	2	7	1b*	0	0	2	8	1b*	0	1	2	7	1b*	0	0	4	6	1a

*En cada columna, los grupos con la misma letra son estadísticamente similares ($p>0.05$). En cada fila, los grupos con el mismo número son estadísticamente similares ($p>0.05$). * indica diferencias significativas entre los valores en gingival y oclusal en el mismo grupo experimental ($p<0.05$).*

Tabla 4. Distribución de los valores de microfiltración de todos los adhesivos aplicando previamente 37% H₃PO₄ (15s) y 5% NaOCl_{aq} (2 min).

Sistema Adhesivo	Margen	24 h					6m					12m					24m				
		0	1	2	3		0	1	2	3		0	1	2	3		0	1	2	3	
One Step	Oclusal	10	0	0	0	1A	8	2	0	0	1A	2	8	0	0	1A	1	9	0	0	1A
	Gingival	2	2	6	0	1a*	3	4	0	3	1a	1	2	3	4	12a*	0	0	5	5	2a*
CSEB	Oclusal	6	2	0	2	1A	8	2	0	0	1A	0	9	1	0	12A	5	1	2	2	2A
	Gingival	5	2	0	3	1a	1	4	2	3	1a*	3	2	3	2	1a	0	1	7	2	1a*
PLP	Oclusal	9	0	1	0	1A	2	7	1	0	1A	0	6	3	1	2A	0	5	0	5	2A
	Gingival	0	2	3	5	1b*	1	0	3	6	1b*	0	4	2	4	1a	0	2	3	5	1a

*En cada columna, los grupos con la misma letra son estadísticamente similares ($p>0.05$). En cada fila, los grupos con el mismo número son estadísticamente similares ($p>0.05$). * indica diferencias significativas entre los valores en gingival y oclusal en el mismo grupo experimental ($p<0.05$).*

Tabla 5. Distribución de los valores de microfiltración entre los sistemas adhesivos de un solo paso aplicados de acuerdo con las instrucciones del fabricante

Adhesivo	Margen	24 h					6 m					12 m					24 m				
		0	1	2	3		0	1	2	3		0	1	2	3		0	1	2	3	
OUP	Oclusal	9	1	0	0	1A	0	9	1	0	1A	1	2	2	5	2A	0	1	2	7	2A
	Gingival	3	1	3	3	1a*	4	2	1	3	1a	0	3	3	4	2a	0	3	0	7	2a
PLP	Oclusal	7	2	1	0	1A	1	6	3	0	12A	0	5	3	2	2AB	0	5	4	1	2AB
	Gingival	0	1	3	6	1a*	0	2	2	6	1a*	1	3	2	4	1b	0	3	1	6	1b
Futurabond	Oclusal	9	1	0	0	1A	4	5	1	0	1A	4	4	1	1	1B	0	5	3	2	2B
	Gingival	3	4	1	2	1a*	2	5	0	3	1a*	0	2	3	5	2a	0	2	2	6	2b

*En cada columna, los grupos con la misma letra son estadísticamente similares ($p > 0.05$). En cada fila, los grupos con el mismo número son estadísticamente similares ($p > 0.05$). * indica diferencias significativas entre los valores en gingival y oclusal en el mismo grupo experimental ($p < 0.05$).*

Tabla 6. Distribución de los valores de microfiltración entre los sistemas adhesivos después de la aplicación de 37% H₃PO₄ (15s) en esmalte.

Sistemas Adhesivos	Margen	24 h					6m					12m					24m				
		0	1	2	3		0	1	2	3		0	1	2	3		0	1	2	3	
OUP	Oclusal	10	0	0	0	1A	4	3	2	1	1A	0	3	3	4	2A	0	2	2	6	2A
	Gingival	3	5	1	1	1a	0	1	3	6	2a*	0	0	2	8	2a	0	0	3	7	2a
PLP	Oclusal	8	2	0	0	1A	5	4	1	0	1A	0	6	1	3	12B	0	0	7	3	2A
	Gingival	1	0	2	7	1b*	0	0	2	8	1a*	0	1	2	7	1a*	0	0	4	6	1a
Futurabond	Oclusal	4	6	0	0	1A	3	5	1	1	12A	0	5	3	2	2B	0	2	7	1	12B
	Gingival	0	4	0	6	1b*	0	0	7	3	1a*	0	1	5	4	1a*	0	0	5	5	1a

*En cada columna, los grupos con la misma letra son estadísticamente similares ($p > 0.05$). En cada fila, los grupos con el mismo número son estadísticamente similares ($p > 0.05$). * indica diferencias significativas entre los valores en gingival y oclusal en el mismo grupo experimental ($p < 0.05$).*

Tabla 7. Distribución de los valores de microfiltración después de aplicar doble capa de adhesivo.

Sistema Adhesivo	Margen	24 h				6m				12m				24m							
		0	1	2	3		0	1	2	3		0	1	2	3		0	1	2	3	
OUP	Oclusal	9	1	0	0	1A	4	6	0	0	1A	0	1	7	2	2A	0	2	8	0	2A
	Gingival	6	2	2	0	1a	4	3	2	1	1a	0	4	2	4	2a	0	1	6	3	2a
PLP	Oclusal	6	4	0	0	1A	1	6	3	0	12A	0	3	6	1	2A	0	3	5	2	2AB
	Gingival	2	3	4	1	1a*	0	2	8	0	2b	0	2	5	3	12a	0	1	7	2	2a
Futurabond	Oclusal	2	8	0	0	1A	1	5	4	0	12A	0	5	4	1	12A	0	5	0	5	2B
	Gingival	2	4	4	0	1a	0	3	4	3	12b*	0	0	5	0	2a	0	0	7	3	2a

*En cada columna, los grupos con la misma letra son estadísticamente similares ($p>0.05$). En cada fila, los grupos con el mismo número son estadísticamente similares ($p>0.05$). * indica diferencias significativas entre los valores en gingival y oclusal en el mismo grupo experimental ($p<0.05$).*

Tabla 8. Distribución de los valores de microfiltración entre los sistemas adhesivos después de duplicar el tiempo de aplicación.

Sistema Adhesivo	Margen	24 h				6m				12m				24m							
		0	1	2	3		0	1	2	3		0	1	2	3		0	1	2	3	
OUP	Oclusal	10	0	0	0	1A	0	5	3	2	2A	0	4	2	4	2A	0	1	5	4	2A
	Gingival	3	1	5	1	1a*	0	4	3	3	1a	0	2	0	7	2a	0	0	5	5	2a
PLP	Oclusal	8	2	0	0	1A	1	5	2	2	12A	0	2	2	6	2A	0	1	6	3	2A
	Gingival	1	0	7	2	12a*	2	2	5	1	1a*	0	0	4	6	13a	0	0	3	7	23a
Futurabond	Oclusal	8	2	0	0	1A	0	6	3	1	2A	0	3	2	5	2A	0	0	7	3	2A
	Gingival	2	1	3	4	1a*	1	3	3	3	12a*	0	2	3	4	1a	0	2	3	5	12a

*En cada columna, los grupos con la misma letra son estadísticamente similares ($p>0.05$). En cada fila, los grupos con el mismo número son estadísticamente similares ($p>0.05$). * indica diferencias significativas entre los valores en gingival y oclusal en el mismo grupo experimental ($p<0.05$).*

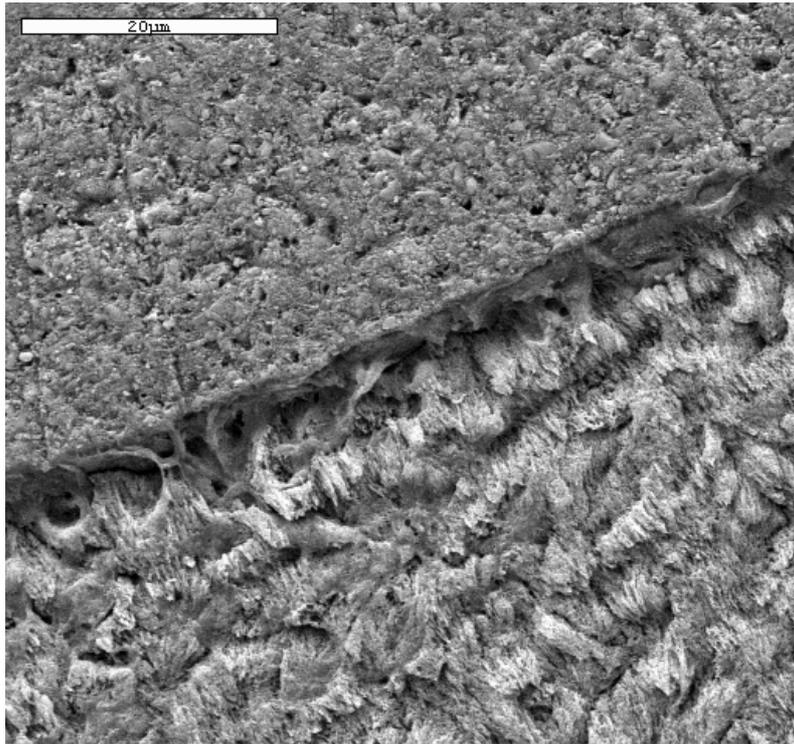


Figura 1. Imagen de SEM x2000 aumentos de la interfase resina-esmalte cuando se usa el sistema adhesivo CSEB. Se pueden observar los microtags de resina en el esmalte

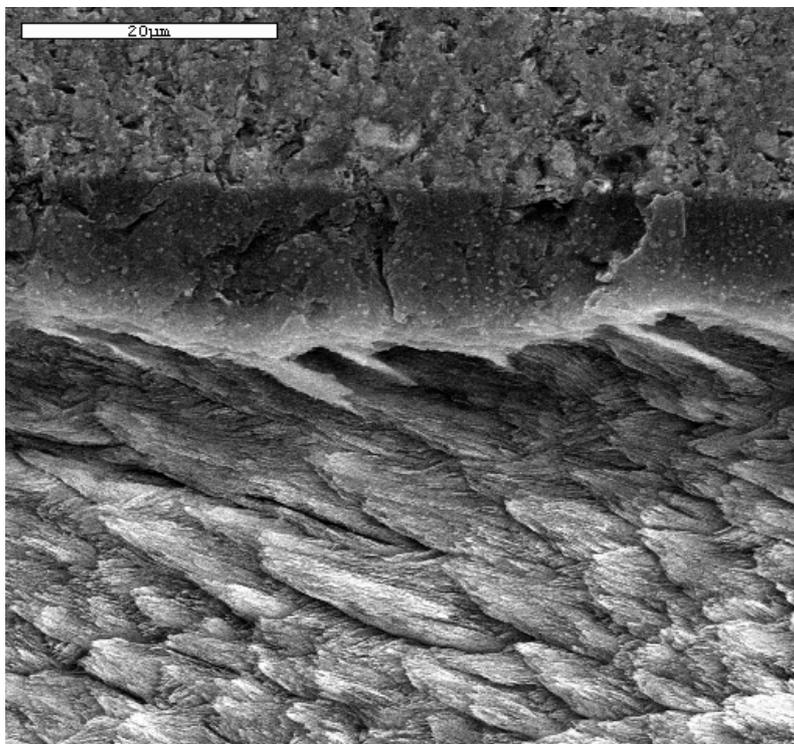


Figura 2. Imagen de SEM x2000 aumentos de la interfase resina-esmalte cuando se graba la superficie con ácido ortofosfórico y se lava antes de usar el sistema adhesivo CSEB. Se puede observar una mayor capa híbrida y mayores tags de resina.

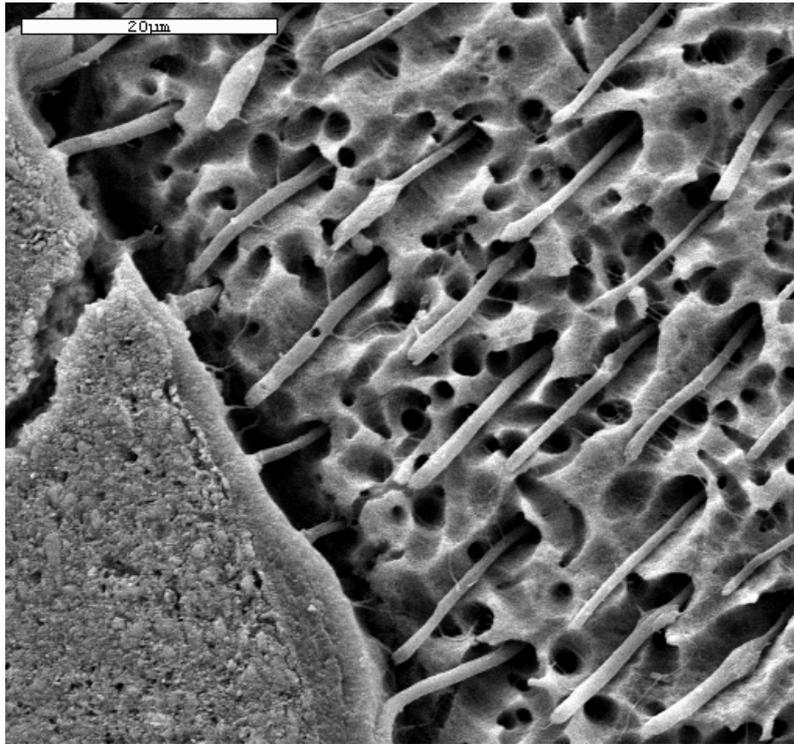


Figura 3. Imagen de SEM x2000 aumentos de la interfase resina-dentina cuando se usa el sistema adhesivo CSEB. Se puede observar la capa híbrida y los tags de resina penetrando en unos túbulos abiertos.

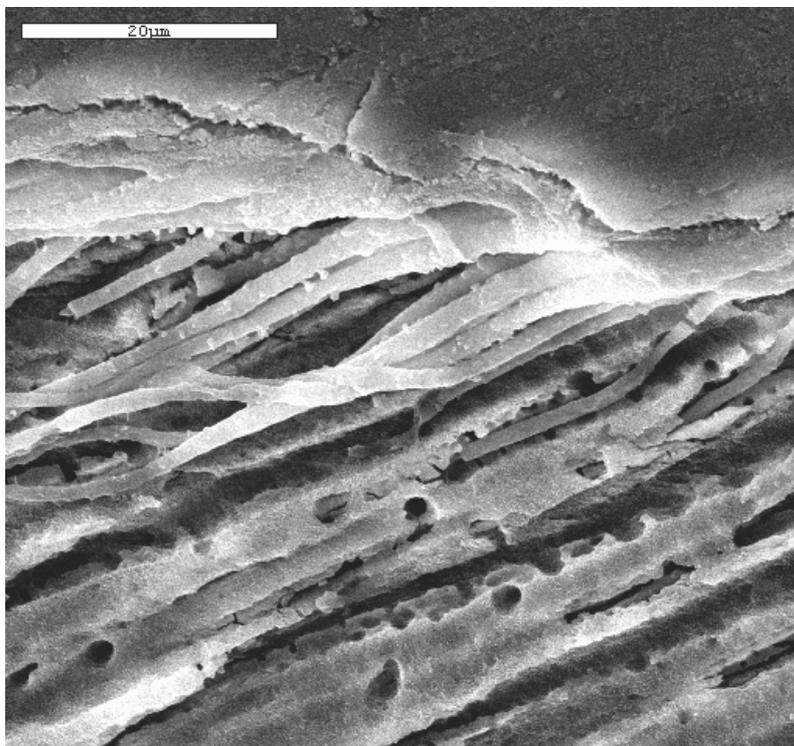


Figura 4. Imagen de SEM x2000 aumentos de la interfase resina-dentina cuando se graba con ácido ortofosforico y se lava la superficie antes de aplicar el sistema adhesivo CSEB. Se puede observar la capa híbrida más gruesa y unos tags de resina más numerosos y con forma cónica.

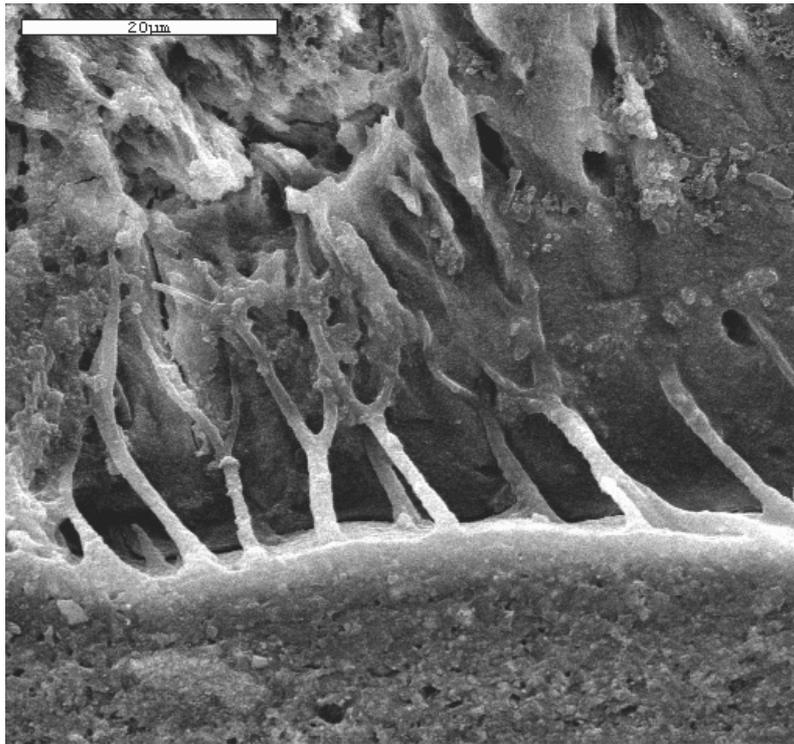


Figura 5. Imagen de SEM x2000 aumentos de la interfase resina-dentina cuando se graba con ácido ortofosforico y se aplica NaOCl en la superficie antes de aplicar el sistema adhesivo CSEB.

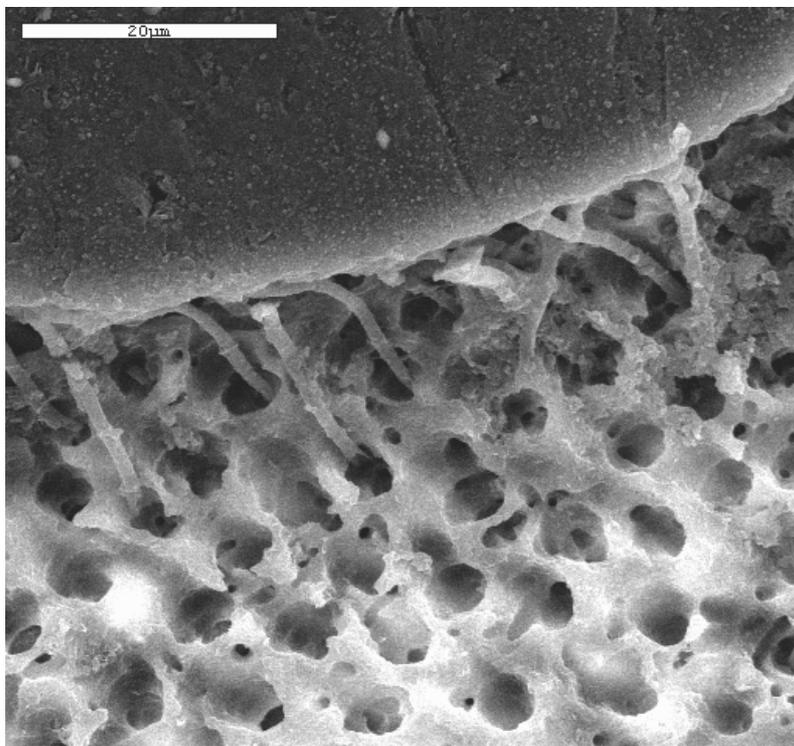


Figura 6. Imagen de SEM x2000 aumentos de la interfase resina-dentina cuando se duplica el tiempo de aplicación del sistema adhesivo CSEB. Se puede observar una capa híbrida engrosada, los tags de resina son largos

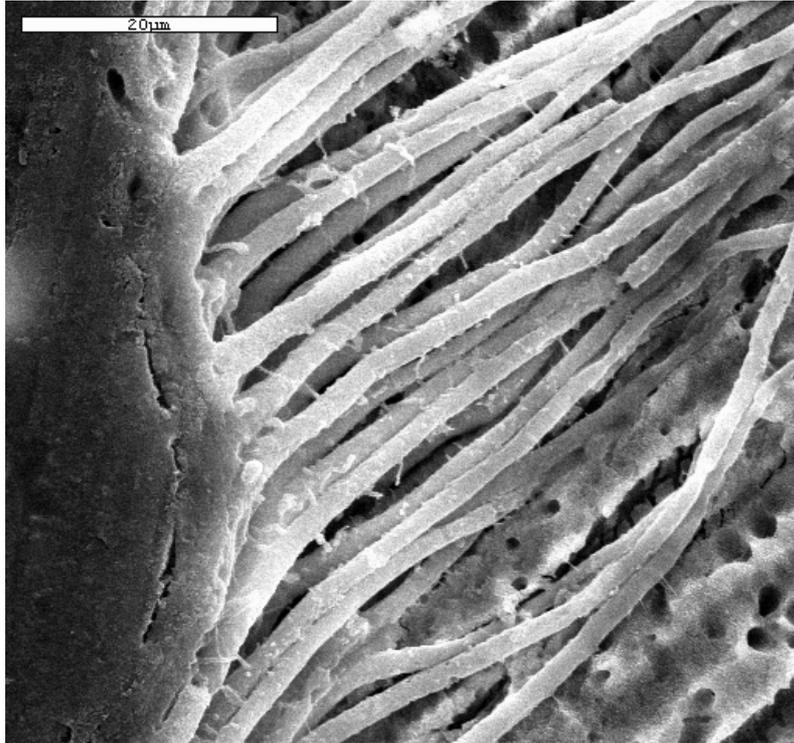


Figura 7. Imagen de SEM x2000 aumentos de la interfase resina-dentina cuando se aplican dos capas de primer del sistema adhesivo CSEB. Se puede observar una capa híbrida engrosada, los tags de resina son gruesos, largos y más numerosos.

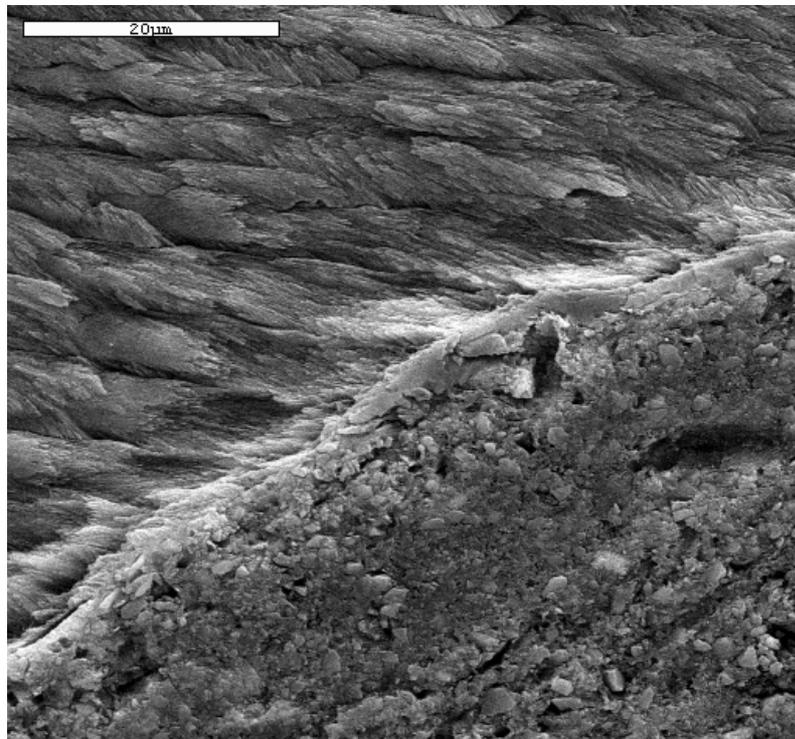


Figura 8. Imagen de SEM x2000 aumentos de la interfase resina-esmalte cuando se aplica del sistema adhesivo One Step. Se puede observar la capa híbrida y los microtags penetrando el esmalte

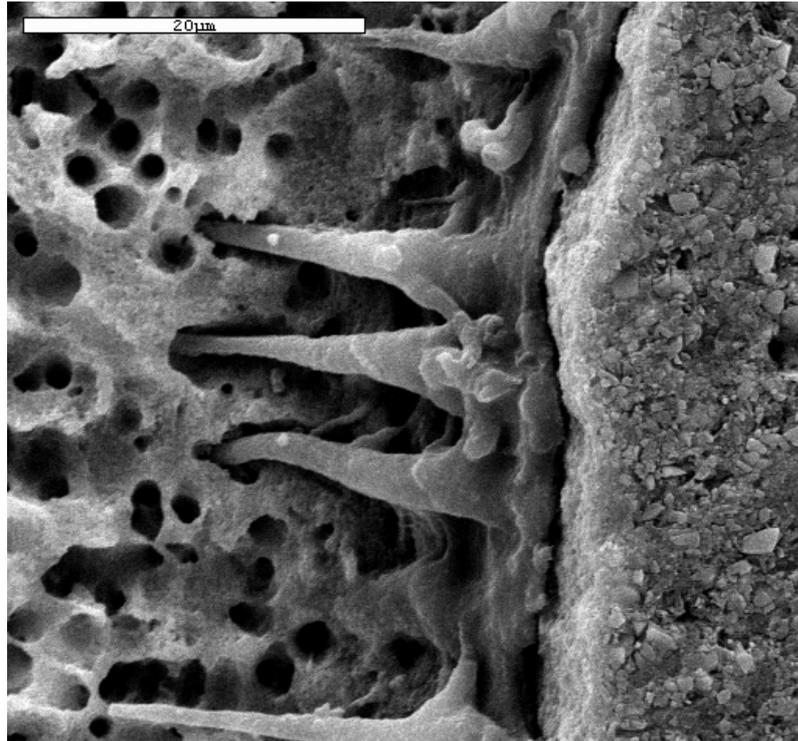


Figura 9. Imagen de SEM x2000 aumentos de la interfase resina-dentina cuando se aplica del sistema adhesivo One Step. Se puede observar la capa híbrida y los tags penetrando en la dentina grabada.

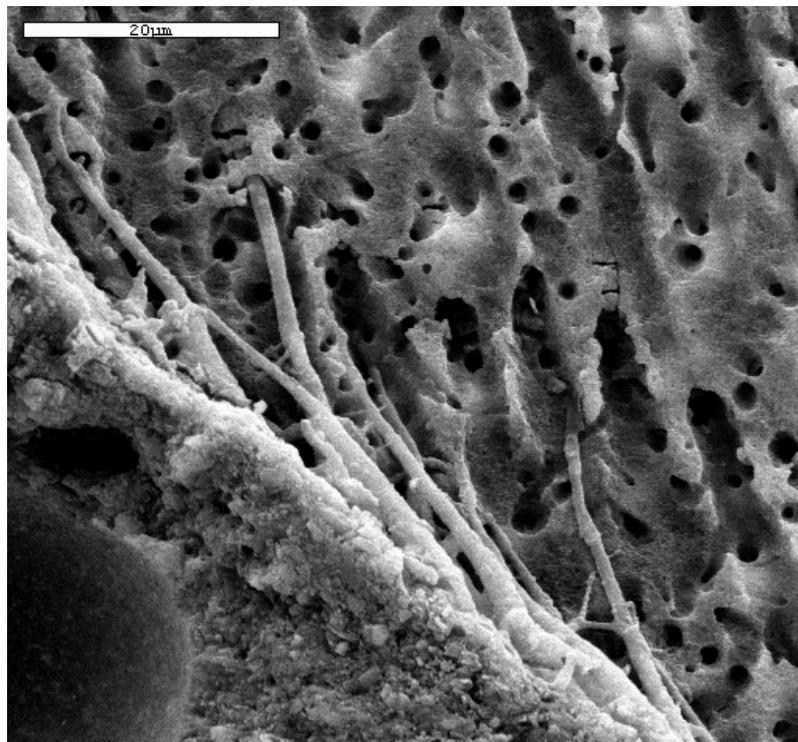


Figura 10. Imagen de SEM x2000 aumentos de la interfase resina-dentina cuando se aplica NaOCl antes del sistema adhesivo One Step. Se puede observar la capa híbrida casi inexistente y los tags más finos.

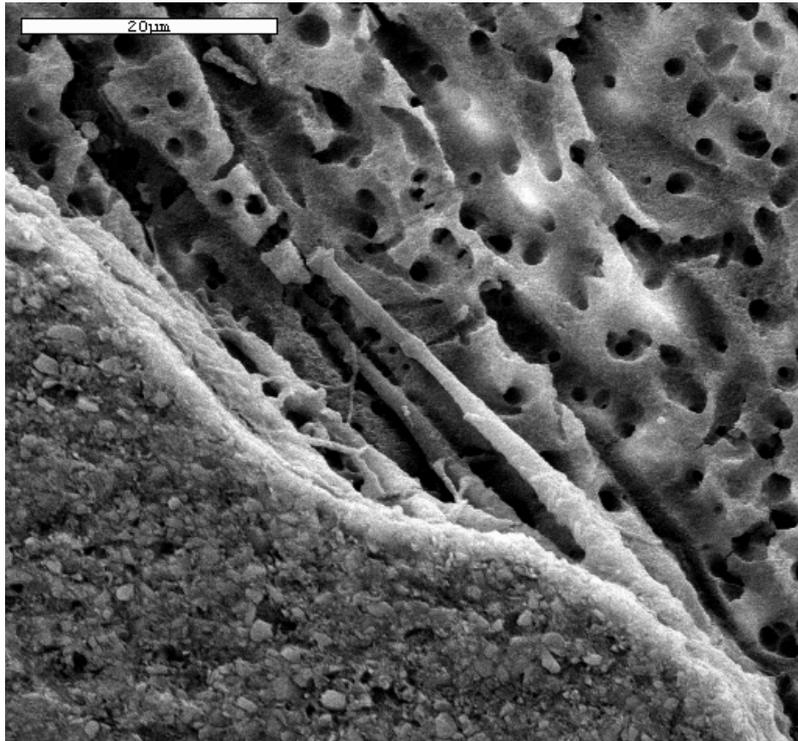


Figura 11. Imagen de SEM x2000 aumentos de la interfase resina-dentina cuando se duplica el tiempo de aplicación del sistema adhesivo One Step. Se puede observar la capa híbrida y los tags de mayor diámetro.

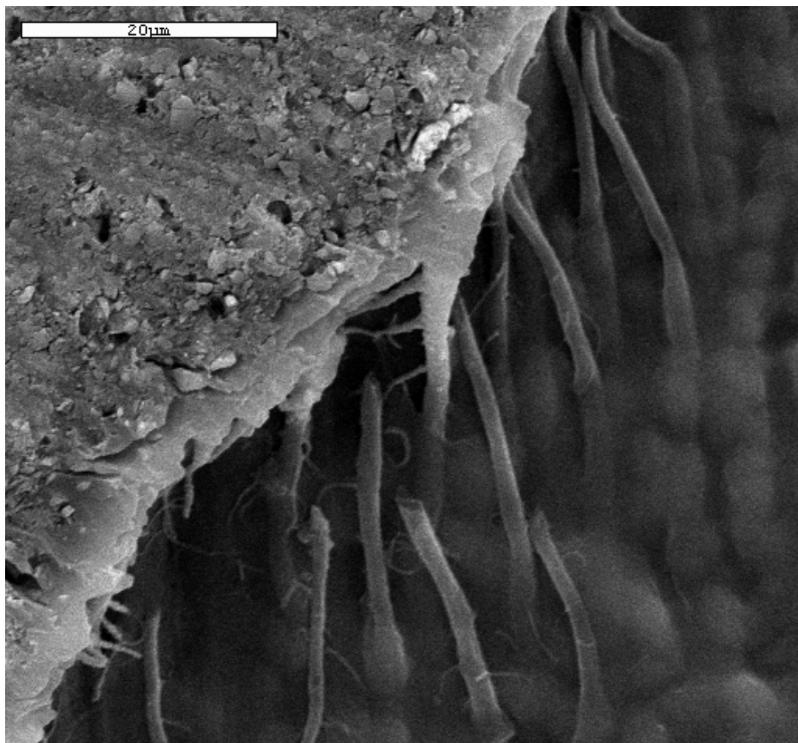


Figura 11. Imagen de SEM x2000 aumentos de la interfase resina-dentina cuando se aplica doble capa del sistema adhesivo One Step. Se puede observar la capa híbrida muy engrosada y los tags de resina cónicos.

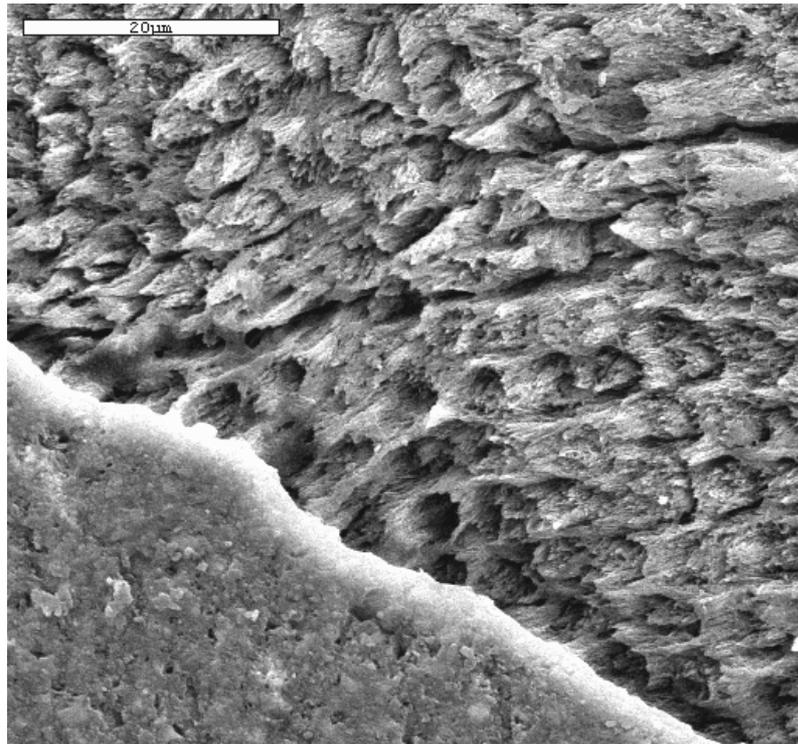


Figura 12. Imagen de SEM x2000 aumentos de la interfase resina-esmalte cuando se aplica el sistema adhesivo One Up Bond. Se puede observar una capa híbrida fina y los microtags casi inexistentes.

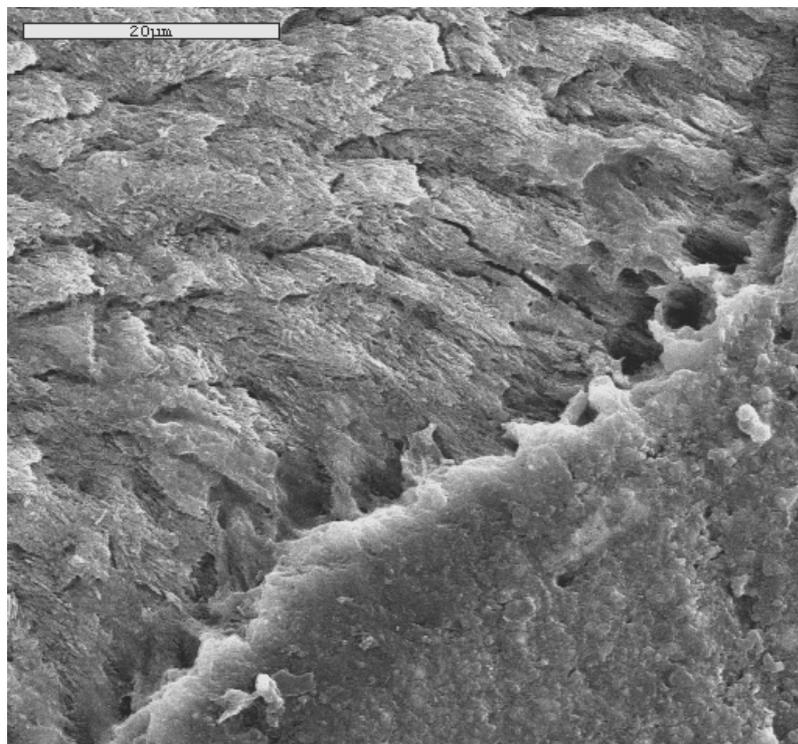


Figura 13. Imagen de SEM x2000 aumentos de la interfase resina-esmalte cuando se graba con ácido ortofosfórico y se lava antes de aplicar el sistema adhesivo One Up Bond. Se puede observar mayor número de microtags.

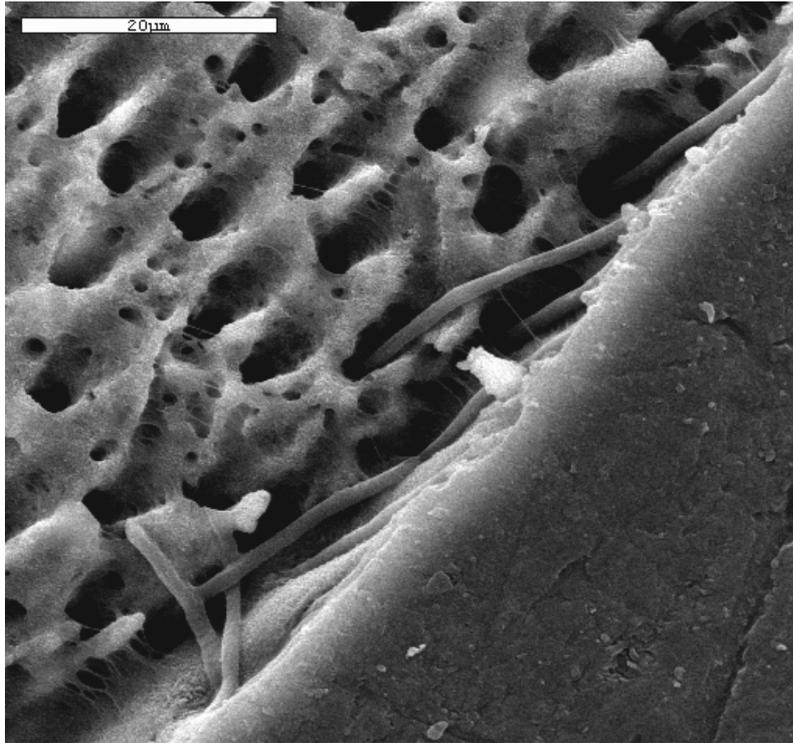


Figura 14. Imagen de SEM x2000 aumentos de la interfase resina-dentina cuando se aplica el sistema adhesivo One Up Bond. Se puede observar una capa híbrida fina y pocos tags de resina.

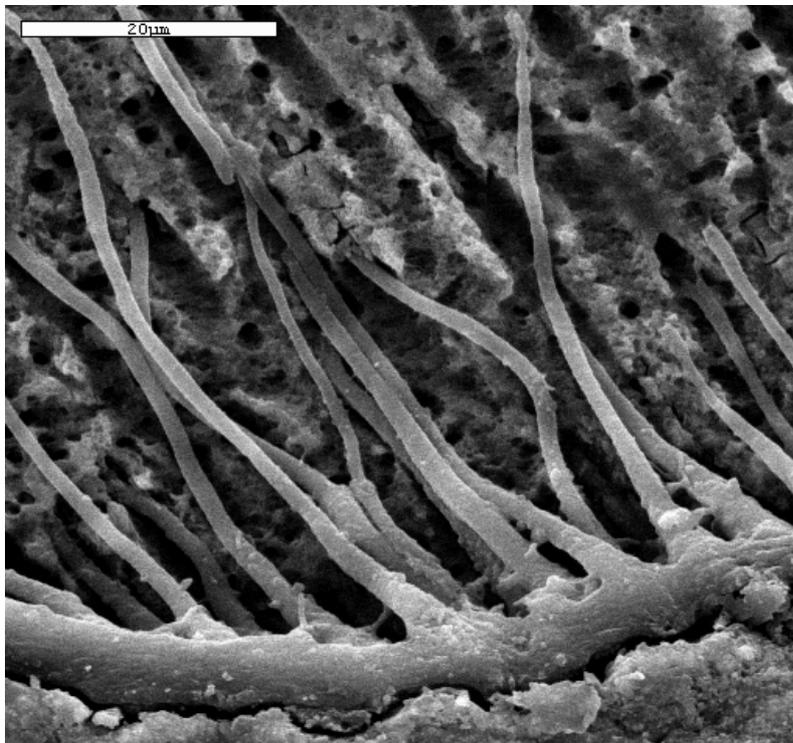


Figura 15. Imagen de SEM x2000 aumentos de la interfase resina-dentina cuando se graba con ácido ortofosfórico y se lava antes de aplicar el sistema adhesivo One Up Bond. Se puede observar una capa híbrida engrosada y mayor número de tags de resina con forma cónica.

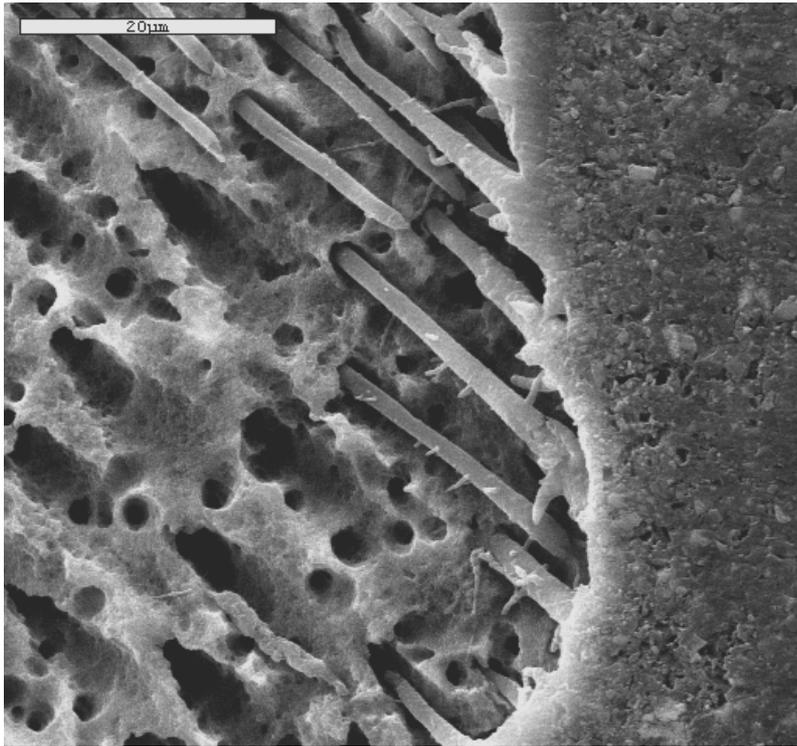


Figura 16. Imagen de SEM x2000 aumentos de la interfase resina-dentina cuando se graba con ácido ortofosfórico y se trata con NaOCl antes de aplicar el sistema adhesivo One Up Bond. Se puede observar una capa híbrida muy fina y tags de resina largos y estrechos.

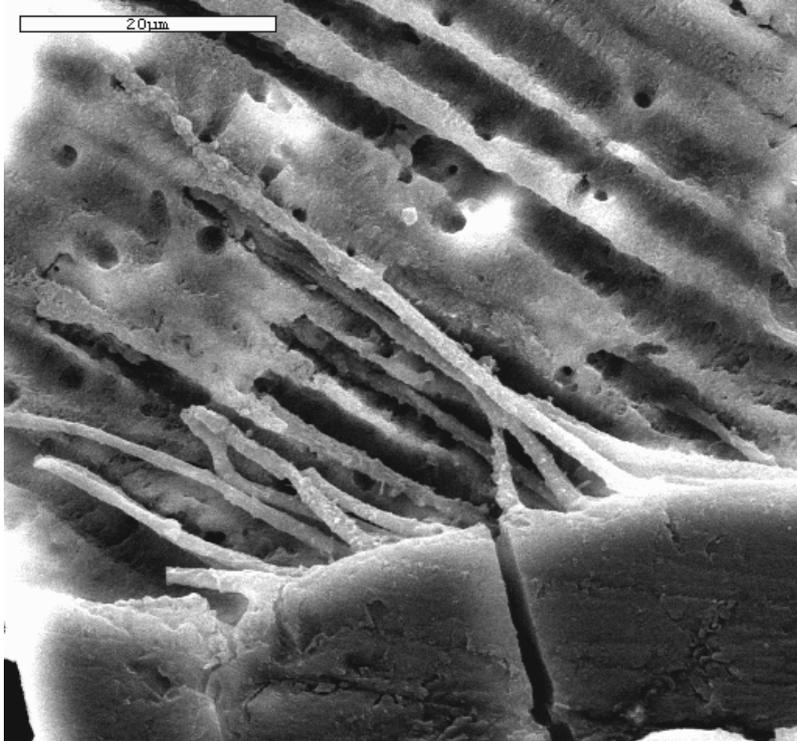


Figura 17. Imagen de SEM x2000 aumentos de la interfase resina-dentina cuando se duplica el tiempo de aplicación del sistema adhesivo One Up Bond. Se puede observar una capa híbrida muy fina y tags de resina largos y estrechos.

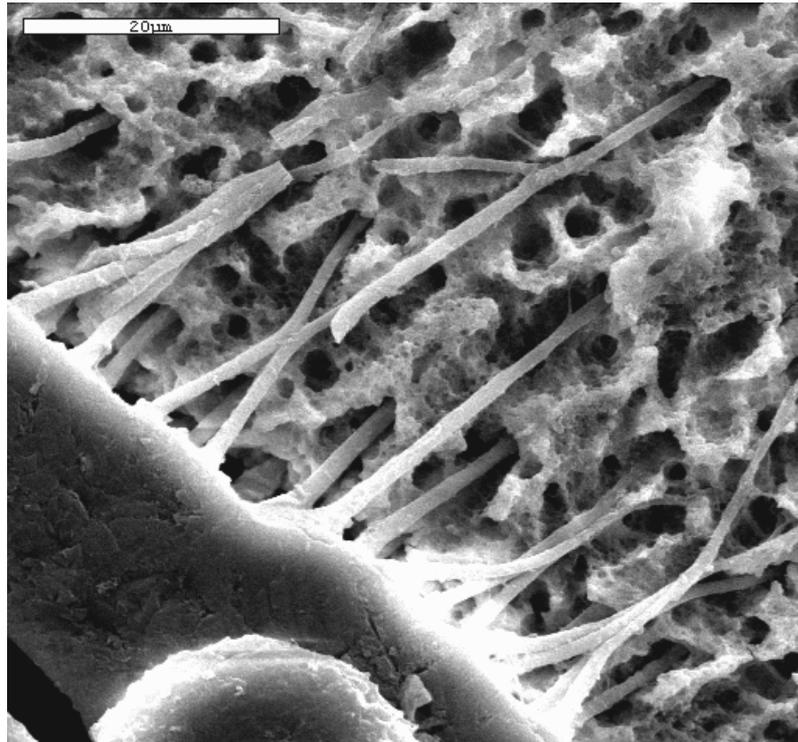


Figura 18. Imagen de SEM x2000 aumentos de la interfase resina-dentina cuando se aplican dos capas del sistema adhesivo One Up Bond. Se puede observar una capa híbrida más gruesa y tags de resina largos y estrechos.

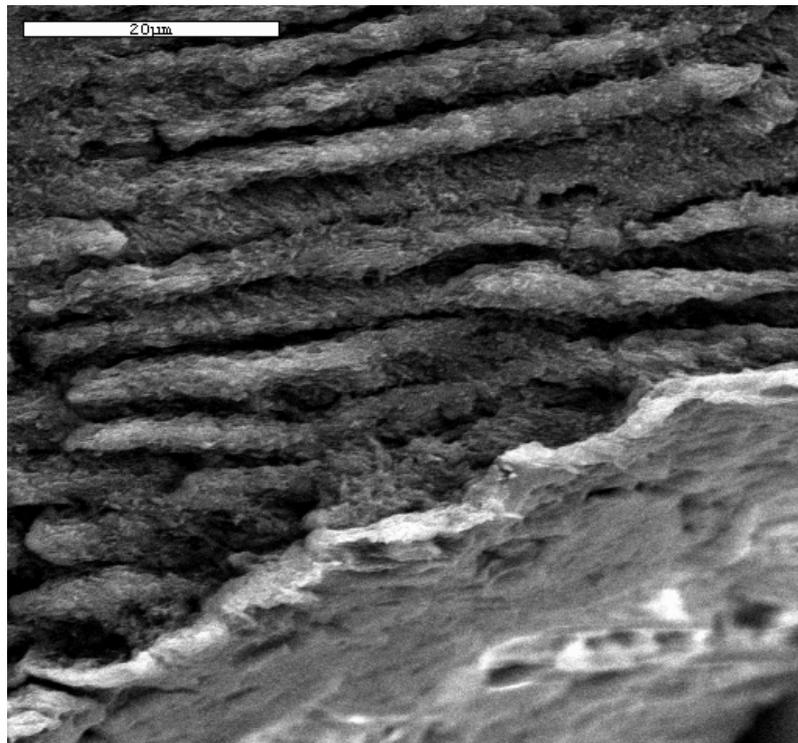


Figura 19. Imagen de SEM x2000 aumentos de la interfase resina-esmalte cuando se aplica el sistema adhesivo Prompt L Pop. Se puede observar una capa híbrida fina y los microtags casi inexistentes.

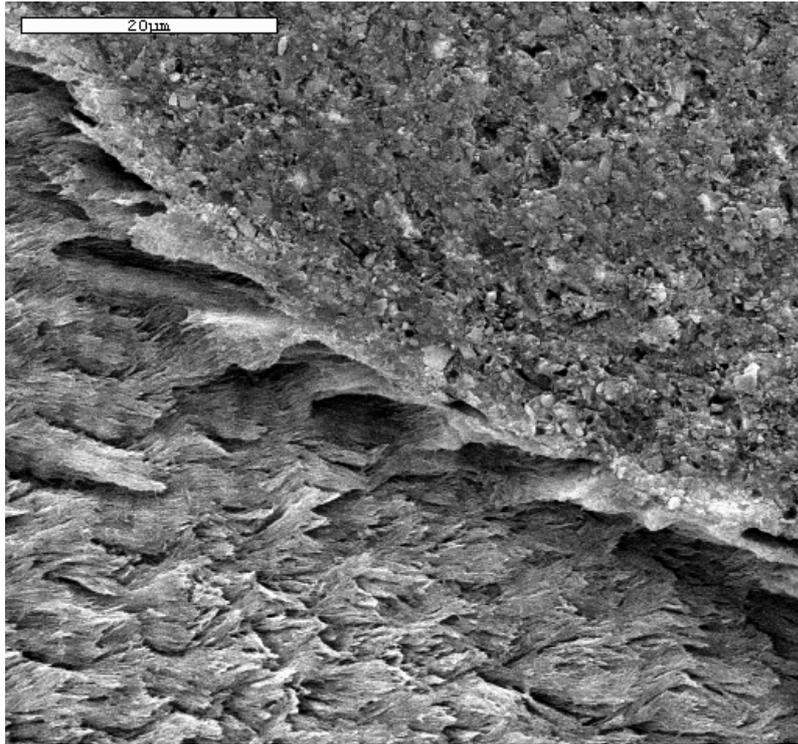


Figura 20. Imagen de SEM x2000 aumentos de la interfase resina-esmalte cuando se graba con ácido ortofosfórico y se lava antes de aplicar el sistema adhesivo Prompt L Pop. Se pueden observar mayor número de microtags

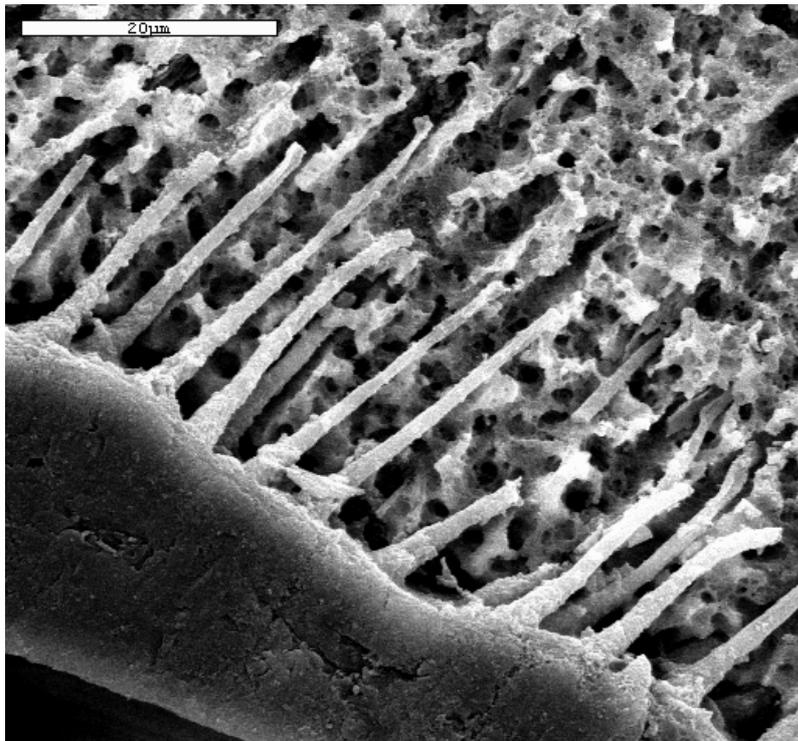


Figura 21. Imagen de SEM x2000 aumentos de la interfase resina-dentina cuando se aplica el sistema adhesivo Prompt L Pop. Se puede observar una capa híbrida fina y los tags de resina finos.

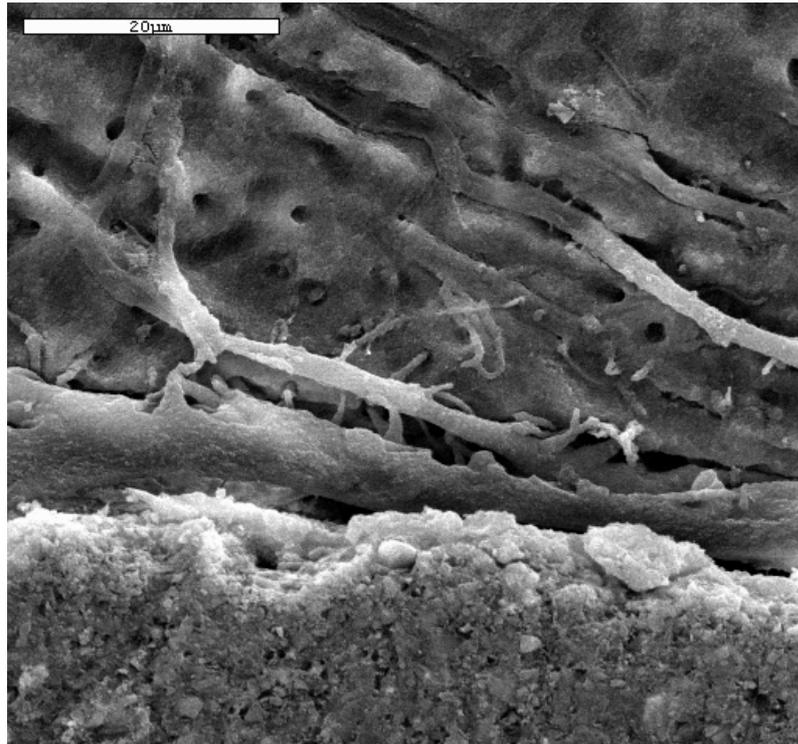


Figura 22. Imagen de SEM x2000 aumentos de la interfase resina-dentina cuando se graba con ácido ortofosfórico y se lava antes de aplicar el sistema adhesivo Prompt L Pop. Se puede observar una capa híbrida engrosada y mayor número de tags de resina con forma cónica y con ramas laterales.

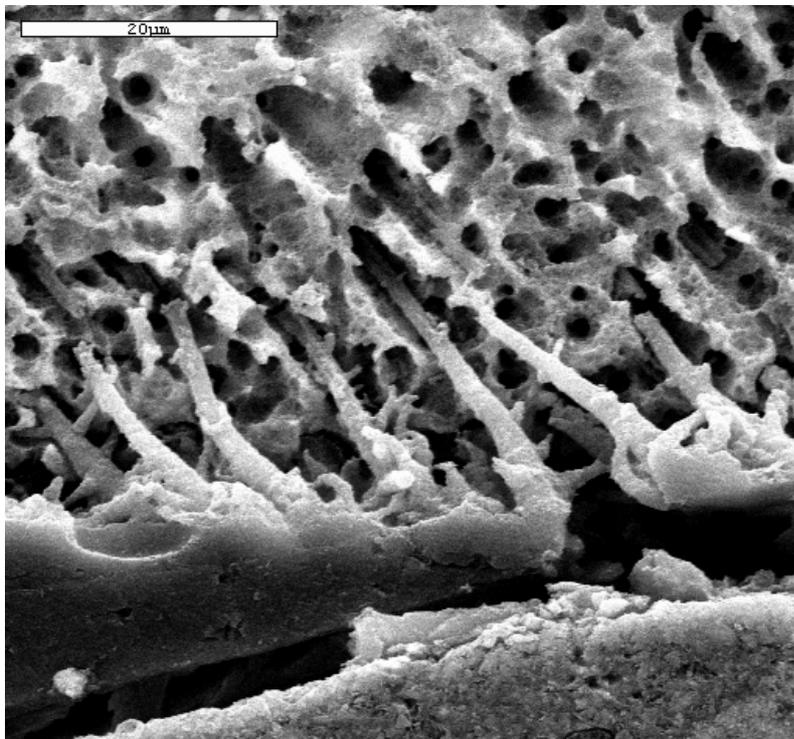


Figura 23. Imagen de SEM x2000 aumentos de la interfase resina-dentina cuando se graba con ácido ortofosfórico y se trata con NaOCl antes de aplicar el sistema adhesivo Prompt L Pop. Se puede observar una capa híbrida fina y tags de resina largos y estrechos.

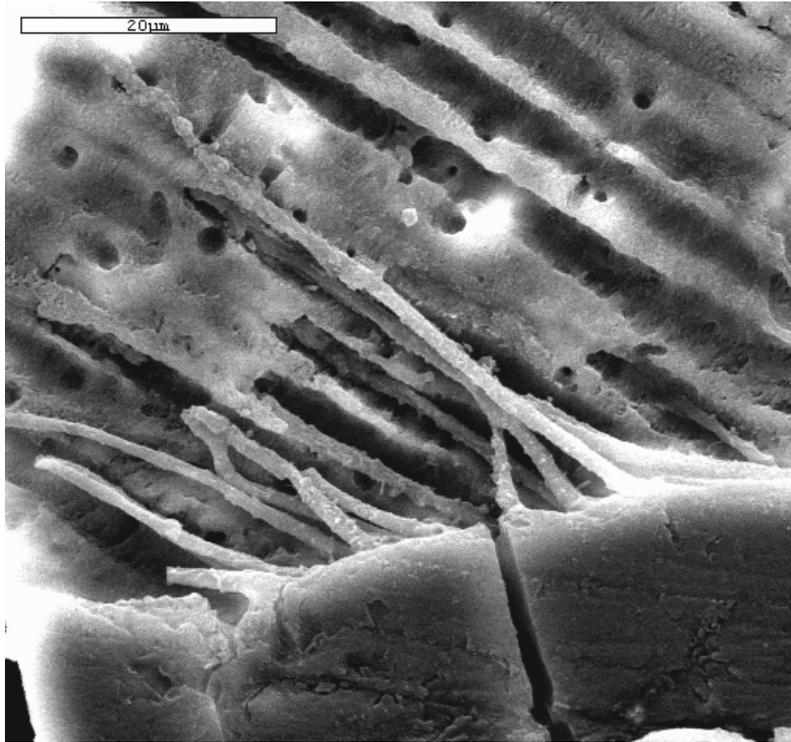


Figura 24. Imagen de SEM x2000 aumentos de la interfase resina-dentina cuando se duplica el tiempo de aplicación del sistema adhesivo One Up Bond. Se puede observar una capa híbrida muy fina y tags de resina largos y estrechos.

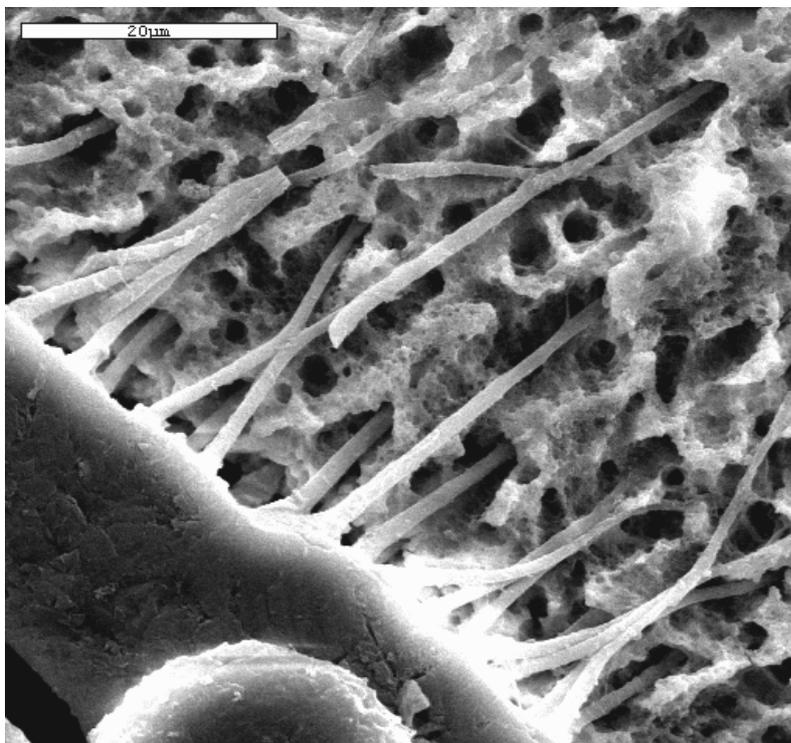


Figura 25. Imagen de SEM x2000 aumentos de la interfase resina-dentina cuando se aplican dos capas del sistema adhesivo Prompt L Pop. Se puede observar una capa híbrida muy gruesa y tags de resina muy largos.

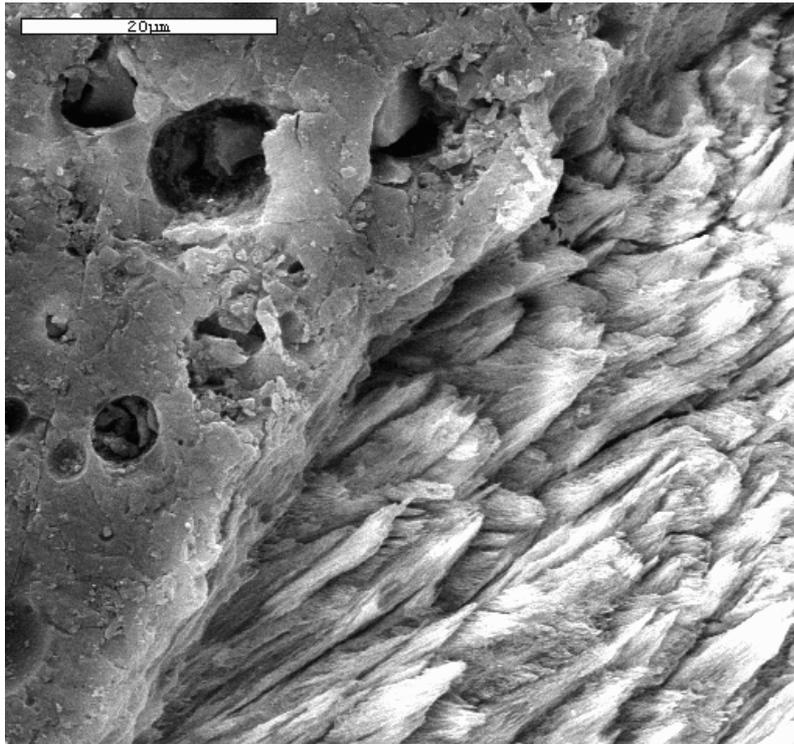


Figura 26. Imagen de SEM x2000 aumentos de la interfase resina-esmalte cuando se aplica el sistema adhesivo Futurabond. Se puede observar los microtags casi inexistentes.

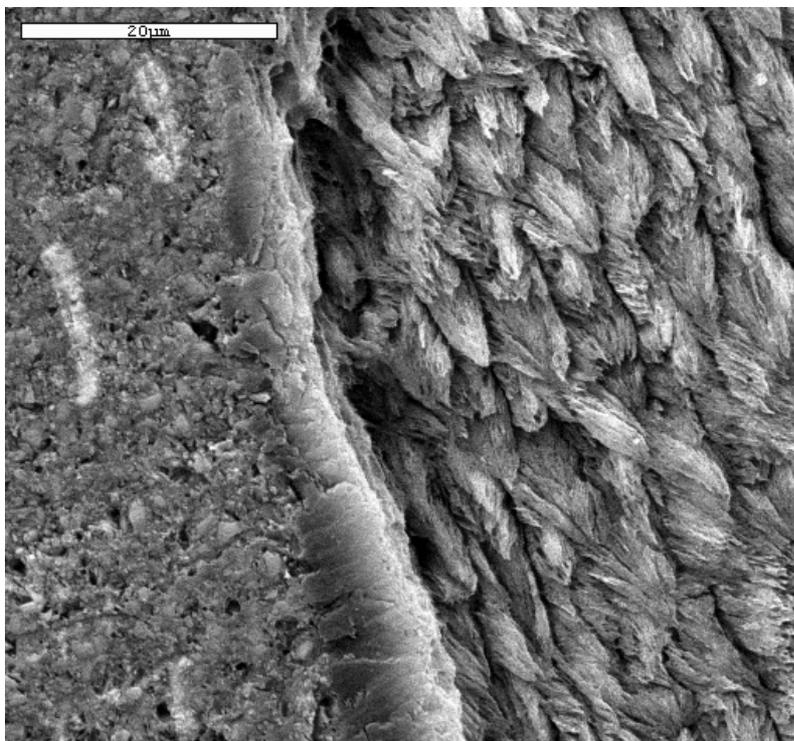


Figura 27. Imagen de SEM x2000 aumentos de la interfase resina-esmalte cuando se graba con ácido ortofosfórico y se lava antes de aplicar el sistema adhesivo Futurabond. Se pueden observar la capa híbrida y mayor número de microtags.

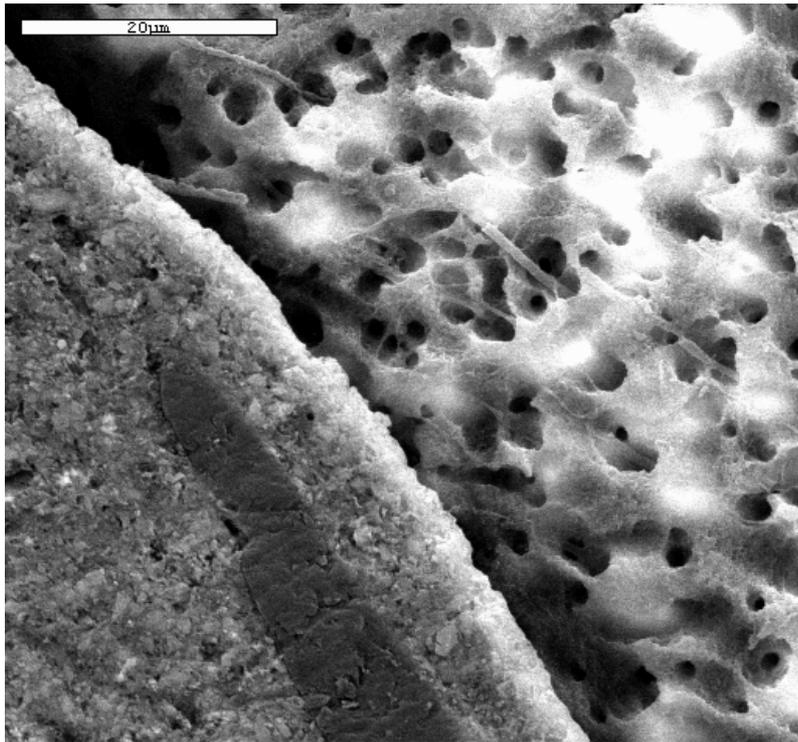


Figura 28. Imagen de SEM x2000 aumentos de la interfase resina-dentina cuando se aplica el sistema adhesivo Futurabond. Se puede observar una capa híbrida casi inexistente y sin tags de resina.

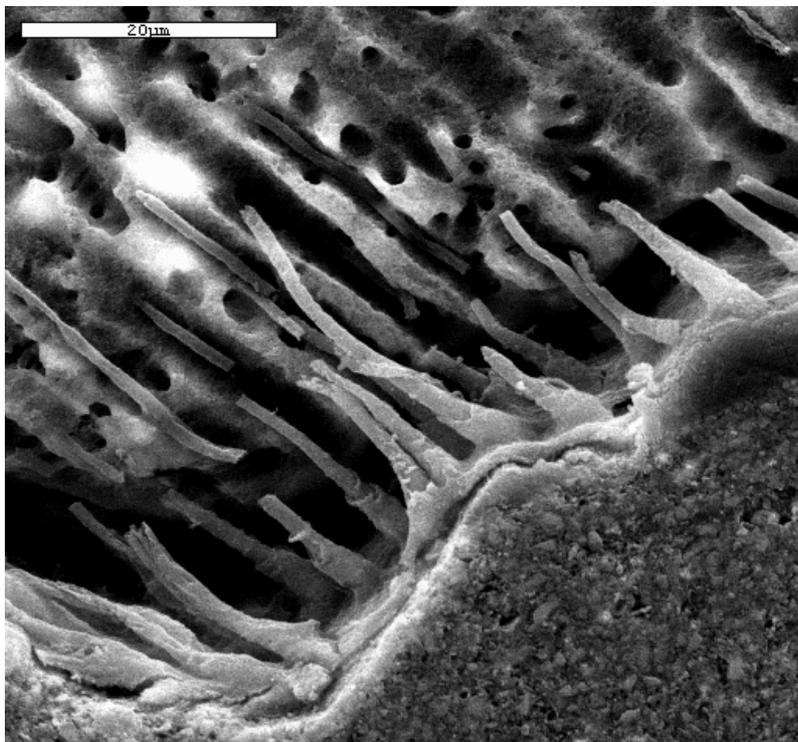


Figura 29. Imagen de SEM x2000 aumentos de la interfase resina-dentina cuando se graba con ácido ortofosfórico y se lava antes de aplicar el sistema adhesivo Futurabond. Se puede observar una capa híbrida engrosada y mayor número de tags de resina con forma cónica.

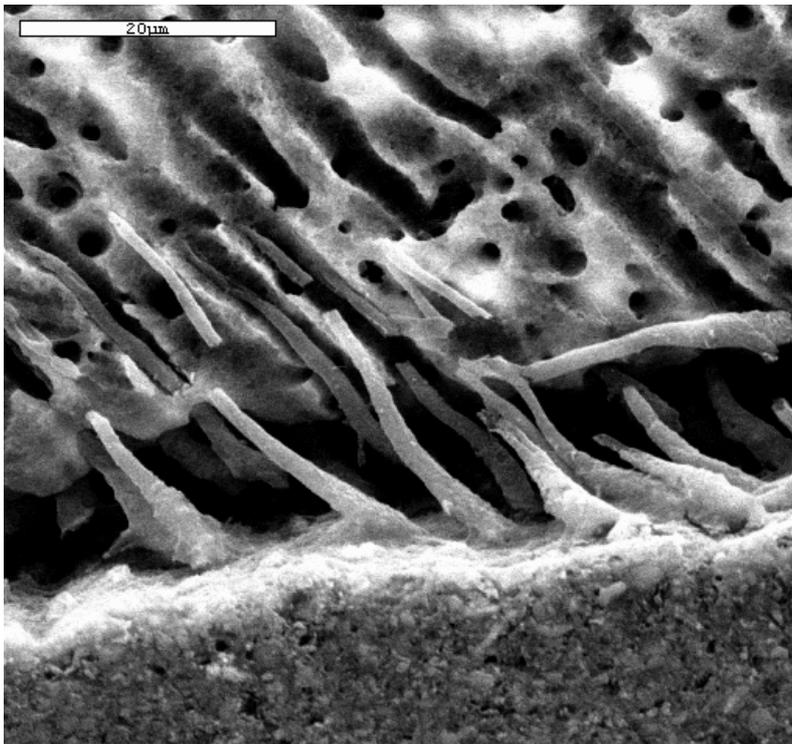


Figura 30. Imagen de SEM x2000 aumentos de la interfase resina-dentina cuando se graba con ácido ortofosfórico y se trata con NaOCl antes de aplicar el sistema adhesivo Futurabond. Se puede observar una capa híbrida fina y tags de resina largos y estrechos

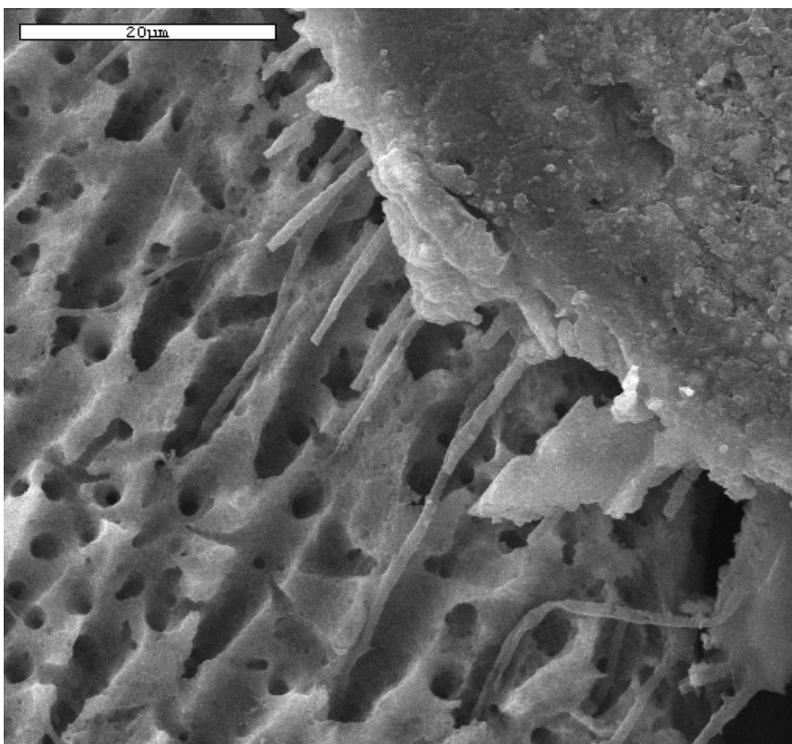


Figura 31. Imagen de SEM x2000 aumentos de la interfase resina-dentina cuando se duplica el tiempo de aplicación del sistema adhesivo Futurabond. Se puede observar una capa híbrida muy fina y tags de resina largos y estrechos

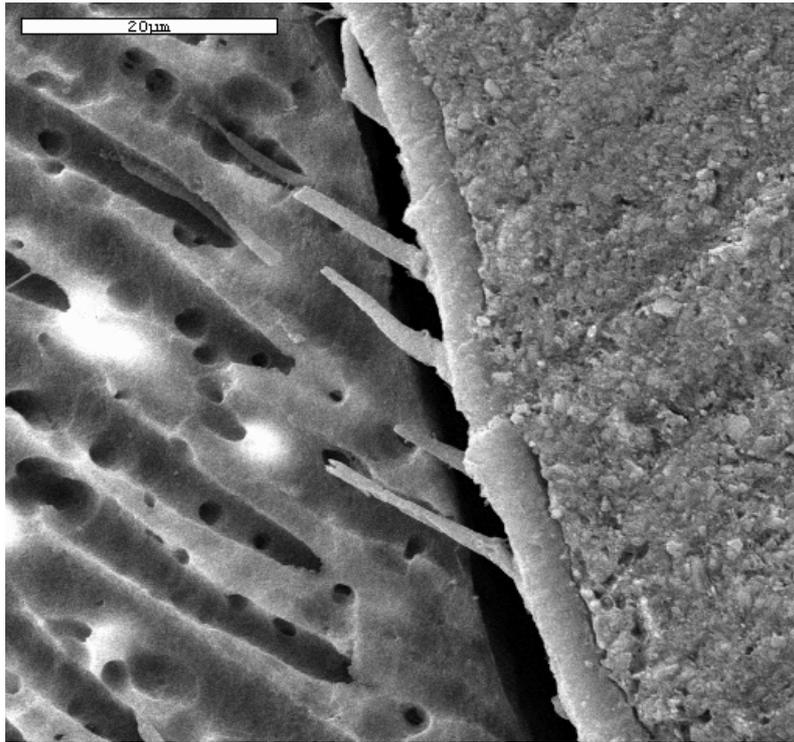


Figura 32. Imagen de SEM x2000 aumentos de la interfase resina-dentina cuando se aplican dos capas del sistema adhesivo Futurabond. Se puede observar una capa híbrida muy gruesa y tags de resina muy finos.

V. DISCUSIÓN

La restauración de cavidades de clase V se considera condicionada por un factor C alto producido por el diseño de la cavidad (Brackett *et al.*, 2006). La contracción de polimerización de los composites crea una contracción cavo-superficial que compromete la unión bajo una tensión severa con el riesgo de la formación de gaps marginales y de microfiltración. (Calheiros *et al.*, 2004). Este fenómeno se puede prevenir si la unión interfacial es capaz de soportar el estrés, preservando la adaptación marginal.

El grabado ácido está aceptado y es una técnica fiable cuando se adhiere a esmalte. La habilidad retentiva del esmalte acondicionado parece estar en función del aumento del área superficial y la humedad del sustrato dental (Moura SK, *et al.*, 2006).

Los *primers* autograbadores y los sistemas adhesivos “todo en uno” representan la respuesta al deseo de los clínicos de usar materiales más sencillos de aplicar y con menos sensibilidad a la técnica. Con estos sistemas el número de pasos que se necesita para la adhesión se reduce, simplificando el procedimiento clínico (Peumans *et al.*, 2005) (Ikeda *et al.*, 2005). Estos sistemas adhesivos son mezclas complejas con un aumento del contenido en solvente y diferentes grados de acidez, dependiendo de la concentración de monómero ácido en las formulaciones (Moszner *et al.*, 2005).

La introducción de los sistemas autograbadores ha cambiado el pensamiento convencional de que el grabado con ácido fosfórico es necesario para la formación de la capa híbrida y la adhesión a los sustratos dentales (Hanning *et al.*, 1999) (Hara *et al.*, 1999).

Aunque, los tapones de barrillo dentinario no se eliminan antes de su aplicación, la formación de la auténtica capa híbrida ha sido demostrada incluso con la aplicación de los *primers* autograbadores de acidez media (Tay *et al.*, 2001) (Pashley *et al.*, 2001). Los datos de laboratorio indican que los productos autograbadores son equivalentes a los adhesivos de grabar y lavar cuando unen a dentina (Osorio *et al.*, 2003). De todas formas, los sistemas adhesivos autograbadores son menos influenciados por la localización de la dentina o la orientación tubular en las paredes de la preparación cavitaria, resultando más versátiles que los sistemas de grabar y lavar (Phrukkanon *et al.*, 1999) (Yoshiama *et al.*, 1996).

Por otro lado, el grabado de la dentina se ha probado que reduce la fuerza de adhesión y puede ser perjudicial (Brackett *et al.*, 2006) (Torii *et al.*, 2002). Estudios recientes indican que la fuerza de adhesión de algunos sistemas adhesivos autograbadores de un paso a dentina

pueden mejorar aplicando capas múltiples, mejorando, mediante las capas consecutivas o el aumento del tiempo de aplicación la interacción de los componentes acídicos con el sustrato (King *et al.*, 2005) (Pashley *et al.*, 2002).

La adhesión a dentina con adhesivos de grabar y lavar se describe como un procedimiento sensible a la técnica: la red de colágeno desmineralizada se considera en un estado relativamente inestable, susceptible de degradación hidrolítica si no es infiltrada adecuadamente por la resina. Un sobre-secado o sobre-mojado de la superficie de la dentina puede entorpecer enormemente la adhesión, debido a una separación de fases de la mezcla del adhesivo o a la pérdida de soporte físico, causando espacios, que son necesarios para la infiltración alrededor de las fibras de colágeno, para desaparecer (Prati C, *et al.*, 1999) (Toledano M, *et al.*, 2005).

Los procedimientos actuales de adhesión pueden involucrar el uso de sustancias aplicadas a un sustrato para modificarlo y favorecer la infiltración de la resina (Osorio R, *et al.*, 2003) (Toledano M, *et al.*, 2000). Se sugirió la aplicación del ácido por separado (Torii Y, *et al.*, 2002) (Van Landuyt KL, *et al.*, 2006) y/o un paso de acondicionamiento proteolítico (Osorio R, *et al.*, 2003) (Toledano M, *et al.*, 2000) para eliminar el barrillo dentinario y mejorar la adhesión de los adhesivos autograbadores a los sustratos dentarios.

La eliminación de la matriz de colágeno expuesta o la reducción de su grosor puede, posiblemente, minimizar el problema que plantea su incompleta infiltración por la resina. Un procedimiento que use un agente proteolítico como el hipoclorito de sodio (NaOCl) permite la formación de una microestructura porosa y provee una superficie de dentina con apatita en la que la resina adhesiva se puede aplicar (de Castro AK, *et al.*, 2000). Como resultado, el sustrato es más permeable (o penetrable), facilitando la difusión de la resina adhesiva sin la formación de una red de colágeno reforzada (Inaba D, *et al.*, 1995) (Inai N, *et al.*, 1998) (Marshall GW, *et al.*, 2001) (Perdigao J, *et al.*, 1999) (Prati C, *et al.*, 1999) y proveyendo resultados equivalentes o superiores para algunos sistemas adhesivos (de Castro AK, *et al.*, 2000). La dentina tratada con NaOCl se convierte en rica en cristales de hidroxiapatita expuesta (similar al esmalte) y puede resultar un sustrato más estable a lo largo del tiempo por que esta formada esencialmente por mineral (Gwinnett AJ, 1994) (Gwinnett AJ, *et al.*, 1994) (Toledano M, *et al.*, 2005) (Wakabayashi Y, *et al.*, 1994). Aunque el efecto de los agentes desproteinizantes en las fuerzas de adhesión inmediatas ha sido evaluado ampliamente (de Castro AK, *et al.*, 2000), algunos permanecen considerando la influencia de la modificación del sustrato de dentina en el potencial de sellado de los adhesivos. En particular, puede ser interesante evaluar si distintas condiciones de dentina puede influir en el comportamiento de los adhesivos autograbadores, especialmente a lo largo del tiempo.

Por otro lado, la aplicación de un sistema autograbador en esmalte todavía presenta controversia. Cuando la efectividad de la adhesión a esmalte con adhesivos autograbadores se compara con los sistemas adhesivos convencionales de grabar y lavar, esta última se considera todavía la mejor (De Munck J, *et al*, 2005) (Moura SK, *et al*, 2006). La baja efectividad de adhesión a esmalte es atribuida a su relativa acidez: se ha publicado un aumento en la fuerza de adhesión con la aplicación previa del grabado convencional (Delipieri *et al*, 2006).

Por tanto y de acuerdo con la propuesta autogradora, la infiltración del sustrato por la resina sucede simultáneamente con el proceso de grabado. Los productos de desmineralización no se eliminan, pero se incorporan dentro de la capa híbrida como resultado de la interacción química con los monómeros funcionales de los sistemas adhesivos (Tay FR, *et al*, 2001). La agresividad del grabado de los adhesivos autograbadores no es la única responsable de la eficacia adhesiva. Su comportamiento en esmalte y en dentina puede depender de las propiedades de la resina adhesiva (De Munck J, *et al*, 2005) (Pashley DH, Tay FR, 2001).

Aunque algunos autores publicaron sensibilidad a la técnica y una decoloración marginal similar producida con los sistemas autograbadores y con los de grabar y lavar, se valora el sellado marginal a lo largo del tiempo en las restauraciones (Perdigao *et al*, 2003). El sellado de restauraciones de clase V se evalúa comúnmente con estudios de microfiltración (Osorio R, *et al*, 2003) (Toledano M, *et al*, 2000). En este estudio, la adaptación de los sistemas restauradores a los márgenes de dentina y de esmalte se evaluó mediante un envejecimiento artificial, ya que no se puede obtener información relevante con medidas a las 24 horas.

Todos los sistemas adhesivos evaluados en este estudio mostraron microfiltración en ambos márgenes coronal (esmalte) y gingival (dentina). Ninguno de los procedimientos de aplicación probados elimina completamente la microfiltración que aumenta a lo largo del tiempo de almacenaje. Con lo que la hipótesis nula del trabajo ha sido rechazada.

Ninguna de las estrategias de aplicación evaluadas en este estudio evitó completamente la microfiltración en el margen de esmalte a lo largo del tiempo, sugiriendo que el pH de las formulaciones de los sistemas adhesivos no es el único factor involucrado en la adhesión a esmalte (Pneumans *et al*, 2005). La posible explicación para este comportamiento inadecuado depende de la alta hidrofobicidad de sus formulaciones, haciendo que las interfases adheridas actúen como membranas permeables incluso después de la polimerización (De Munck *et al*, 2004). Como una consecuencia del alto contenido en solvente, es difícil obtener una capa de adhesivo con un grosor uniforme y sin burbujas derivadas del solvente residual. Tal escenario puede ser el peor cuando estos sistemas se usan en

cavidades clínicamente relevantes como una consecuencia del acumulo de adhesivo en los ángulos internos de la cavidad, dejando sólo una fina capa de adhesivo en las paredes de la misma (Opdam *et al.*, 1998) (el-Kalla, 1999).

El diseño de la cavidad usado en el presente estudio tiene un bisel en el esmalte a lo largo del margen cavo-superficial (Toledano *et al.*, 2000): este procedimiento se realiza para favorecer la habilidad de sellado especialmente cuando se usan adhesivos autograbadores, gracias al aumento de la superficie a adherir (Milton *et al.*, 1999) (Crawford *et al.*, 1987) (Perdigao and Gerardeli, 2003).

La adhesión a esmalte protege a la interfase dentina-resina contra la degradación hidrolítica (Koshiro *et al.*, 2004). La unión más duradera se puede conseguir mediante el grabado con ácido fosfórico seguido de la aplicación de una resina hidrofóbica (De Munck *et al.*, 2005). Estudios previos sugieren que incluso cuando algunos adhesivos autograbadores con un pH bajo pueden grabar adecuadamente el esmalte (Brackett *et al.*, 2004), adicionalmente la aplicación selectiva de ácido ortofosfórico previa a la aplicación del adhesivo autograbador se podría recomendar para obtener una fuerza de adhesión alta y un buen sellado marginal (Brackett *et al.*, 2006).

Algunos de los adhesivos autograbadores evaluados en la literatura producen una adhesión a dentina que es peor que la producida por los sistemas de grabado total (Tay FR, Pashley DH, 2001). La problemática se mantiene con respecto a la habilidad de tales productos a sellar adecuadamente los márgenes de esmalte si se compara con los sistemas de grabado total (One Step) (Pashley DH, Tay FR 2001).

La adhesión a esmalte se basa en la interdigitación micromecánica de la resina de baja viscosidad dentro de las microporosidades: la extensión y la profundidad del patrón de grabado puede influir en el comportamiento del adhesivo (Van Landuyt KL, *et al.*, 2006). La aplicación de ácido ortofosfórico aumenta el área de adhesión, debido a que aumenta la rugosidad superficial. Es más probable, la unión potencial de Adper Prompt L-Pop puede mejorar mediante el aumento de la porosidad del esmalte, resultando con un sellado marginal inicial superior.

En el caso de la dentina el sistema adhesivo todo en uno autograbador Adper Prompt L-Pop aplicado según las instrucciones del fabricante no sella de forma efectiva el sustrato, dañando la formación de una capa híbrida duradera. Este aspecto puede no sólo estar correlacionado con la acidez del sistema, sino también con la hidrofobicidad de los monómeros contenidos en el adhesivo (Pashley DH, Tay Fr, 2001) (Sano H, *et al.*, 1999). La separación de fases y/o el bajo rango de polimerización de los sistemas adhesivos simplificados se ha comprobado como resultado de la formación de interfases más débiles con las fibras de

colágeno expuestas, las cuales posiblemente se degradan con el tiempo (Nakaoki Y, *et al.* 2005).

Una extensión similar de microfiltración se muestra en Clearfil SE Bond (CSEB) sin grabar y CSEB grabado en los tiempos de almacenamiento primeros (24h y 6 meses) puede depender de la formación de una unión microrretentiva relativamente uniforme en esmalte, a pesar de la baja agresividad de la acidez del primer. Algunos estudios recientes han publicado resultados satisfactorios del CSEB después de su aplicación clínica, incluso cuando el esmalte fue grabado previamente (Pneumans M, *et al.*, 2005) (Phrukkanon S, *et al.* 2000). No obstante, continúan algunos problemas con respecto a la efectividad del sellado marginal de los sistemas adhesivos autograbadores al esmalte.

El resultado de esta evaluación de la microfiltración indica que el grabado con ácido fosfórico puede tener un efecto adverso en el comportamiento específico de los adhesivos autograbadores en la dentina. Cuando se une a dentina acondicionada, el potencial del adhesivo CSEB se reduce significativamente. De acuerdo con Yoshida *et al.* (2004), el monomero ácido 10-MDP tiene la habilidad de grabar y reaccionar químicamente con la hidroxiapatita (Hap). Asumiendo que las interacciones quelantes se pueden producir entre el monomero ácido y la dentina mineralizada, una reducción en la disponibilidad de los cristales de Hap después del grabado ácido puede limitar su eficacia adhesiva. Además, los adhesivos autograbadores se aplican de acuerdo a la técnica seca de adhesión en la dentina preacondicionada, en la cual posiblemente se produce un colapso y contracción de la red de colágeno.

Aunque el primer de CSEB contiene agua podría reexpandir esas fibras, el relleno de la resina del CSEB podría estorbar la infiltración apropiada en los espacios interfibrilares (Finger WJ, Balkenhol M, 2000).

La morfología de la dentina grabada y desproteinizada se caracteriza por un aumento del diámetro tubular debido a la pérdida de la dentina desmineralizada peritubular y una reducción de la dentina intertubular residual. El tratamiento con ácido fosfórico/ NaOCl produce una nueva porosa y mineralizada superficie de dentina, como sugiere Inaba *et al.* (1995).

La elección del sistema adhesivo que incluye monómeros resinosos con un potencial alto de difusión es aconsejable para asegurar la hibridación de la dentina tratada con NaOCl desmineralizada. El sistema adhesivo One Step contiene HEMA (MW =130) que no debe tener dificultad en penetrar la matriz de colágeno parcialmente disuelta por el NaOCl (Van Meerbeek B, *et al.* 1996). Además, la evaluación de la microfiltración mostró que el uso de NaOCl no tiene ninguna ventaja sobre el grabado ácido convencional en la mejora del sellado marginal de los adhesivos dentinarios de grabar y lavar. (Inai N, *et al.* 1998) (Phrukkanon S, *et al.*, 2000) (Prati C, *et al.* 1999).

El NaOCl, a parte de ser un agente desproteínizante efectivo, es también un oxidante biológico potente. El NaOCl induce una disrupción de los enlaces cruzados de piridinolina en el colágeno tipo I de la dentina permitiendo la formación de cloraminas y radicales derivados de proteínas (Habelitz S, *et al* 2002). Estos radicales residuales pueden competir con la propagación de los radicales libres generados durante la activación por luz del adhesivo, resultando una terminación prematura de las cadenas de polímero y posiblemente dañando la polimerización. La formación de una capa híbrida de baja calidad puede perjudicar la efectividad del sellado a lo largo del tiempo de los sistemas adhesivos evaluados.

Por otro lado, la dentina tratada con NaOCl y grabada resulta un sustrato más permeable para la infiltración y difusión de los monómeros de resina hidrofílicos y altamente ácidos del CSEB a través de la dentina libre de barrillo dentinario (Toledano M, *et al*, 1999). Los adhesivos autograbadores evaluados proveen de un sellado marginal satisfactorio en los primeros tiempos de almacenaje en agua: la discrepancia entre la profundidad de desmineralización y la de infiltración puede retrasar la sorción de agua interfacial de los componentes no polimerizados del adhesivo (King NH, *et al*, 2005)

Los monómeros ácidos de los adhesivos “todo en uno” eliminan o modifican el barrillo dentinario, permitiendo la difusión de la resina en la dentina subyacente. La infiltración pobre y/o el bajo rango de polimerización de los adhesivos resulta en la exposición de fibras de colágeno, que posiblemente se degradan con el tiempo (Nakaoki *et al.*, 2005). La aplicación múltiple puede ser un suplemento adicional de adhesivo que puede mejorar la infiltración de los monómeros de resina dentro de la dentina intertubular desmineralizada, previniendo los defectos antes mencionados (Pashley *et al.*, 2002) (Hashimoto *et al.*, 2004) (Rees *et al.*, 1999).

Con respecto a la presentación, algunos de los sistemas adhesivos evaluados se presentan como dos componentes para mezclar inmediatamente antes del uso. De los tres sistemas adhesivos “todo en uno”, Adper Prompt L-Pop (3M ESPE) y Futurabond (Voco) no tiene relleno, mientras que One Up Bond F (Tokuyama) es una versión que contiene un relleno liberador de flúor.

Algunos autores mantienen que cuando los adhesivos “todo en uno” agresivos se aplican en dentina, los túbulos se abren permitiendo que el agua penetre en el adhesivo y lo diluya. En el caso de la aplicación de una sola capa de adhesivo, el adhesivo puede no ser lo suficientemente eficiente para tratar la superficie (Osorio *et al.*, 2006) (Torii *et al.*, 2002). Las capas múltiples de adhesivo se recomiendan para obtener mejor resultado con el sistema adhesivo Adper Prompt L-Pop, previniendo la polimerización incompleta de la interfase resina-dentina. (Pashley *et al.*, 2002). Tal efecto beneficioso se consigue sólo parcialmente y no mejora el sellado marginal a lo largo del tiempo. Un grado de conversión diferente puede caracterizar las áreas de la película de adhesivo interna y externa: una profundidad de

polimerización pobre de la resina contiene monómeros acídicos e hidrofílicos residuales que pueden facilitar el transporte osmótico de agua desde el sustrato a la parte superior de la capa adhesiva (Tay and Pashley, 2003).

Por otro lado, la prolongación del tiempo de aplicación puede acelerar la desmineralización de la dentina, lo cual se conoce como “sobre-grabado” y no contribuye a la formación de una interfase rica en resina. Cuando Futurabond se aplica dilatando el tiempo de aplicación, es probable que los monómeros específicos autograbadores tengan más tiempo para interactuar con el sustrato, realzando su potencial de adhesión (el-Din *et al.*, 2002) (Yoshida *et al.*, 2004).

El adhesivo no contiene agua en su composición con lo cual se haría necesario disociar el ácido débil en forma ionizada para que penetre el barrillo dentinario y desmineralice el sustrato subyacente. Como quiera, la presencia de altas concentraciones de monómeros iónicos solubles en agua así como en acetona como solvente es probable que promueva un flujo osmótico de agua desde la dentina profunda. Aumentando el tiempo entre la aplicación y el secado con aire puede mejorar la disociación de los grupos ácidos funcionales y la evaporación del agua/solvente, incluso la infiltración de resina (Toledano *et al.*, 2006). El adhesivo era capaz de resistir la inmersión en agua manteniendo un buen sellado marginal, previniendo la porción interfacial de agua y la hidrólisis de los componentes del adhesivo no polimerizados completamente (King *et al.*, 2005).

One Up Bond F es un adhesivo autograbador medio de entre los sistemas “todo en uno” evaluados. Es posible que la aplicación de una capa simple tenga un efecto autograbador insuficiente, y el suplemento de adhesivo mejore la infiltración de los monómeros de resina dentro del esmalte parcialmente desmineralizado cuando se siguen las instrucciones del fabricante.

Sin tener en cuenta la aplicación doble o simple, el alto pH del adhesivo puede reducir su capacidad de disolver la gruesa capa de barrillo dentinario e incluso el mecanismo de adhesión a la dentina, resultando un sellado marginal similar (Ferrari M *et al.*, 1997). Además la acción bufer ejercida por los componentes mineralizados del barrillo dentinario induce una disminución inmediata de la acidez, afectando al mecanismo de desmineralización de la dentina. Como un resultado, dará lugar a una dentina pobremente infiltrada, empobreciendo la longevidad de la unión dentina-resina (Toledano *et al.*, 2006a).

A pesar del esfuerzo por simular la situación clínica real, los resultados de este estudio *in vitro* da, solamente, una indicación de la posible aplicación de los sistemas adhesivos y no se debe extrapolar directamente al medio clínico. De todas formas, revela que el sellado de las restauraciones clase V en esmalte y dentina disminuye con el tiempo.

Los adhesivos autograbadores de un solo paso comparten un límite común, e el que las capas de adhesivo polimerizado están unidas a la resina del composite sin la cobertura de la capa de resina hidrofóbica protectora. Estrategias de adhesión alternativas no mejoran el sellado marginal de los adhesivos simplificado que son proclives a la degradación. Tanto las propiedades del adhesivo y el protocolo original de manipulación se deben de considerar antes de adoptar nuevas metodologías.

VI. CONCLUSIONES

1. Ningún sistema adhesivo evaluado evita completamente la microfiltración en ninguno de los márgenes de la restauración a lo largo del tiempo.
2. Los adhesivos de grabado total son los que mejor sellado marginal producen en esmalte.
3. La microfiltración que se produce en los márgenes de esmalte es menor que en los márgenes de dentina en todos los sistemas adhesivos estudiados.
4. El envejecimiento en agua aumenta la microfiltración en ambos márgenes con todos los sistemas adhesivos estudiados.
5. Las estrategias alternativas de aplicación de los sistemas adhesivos y el grabado ácido previo pueden mejorar la eficacia de los sistemas adhesivos, dependiendo del sistema, pero no a lo largo del tiempo.
6. Tanto las propiedades de cada sistema adhesivo como el protocolo original de manipulación deben ser consideradas antes de adoptar nuevas metodologías de aplicación.