



**UNIVERSIDAD DE MURCIA**

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO

TESIS DOCTORAL

“Eficacia de un adhesivo de ionómero de vidrio frente a la  
prevención de manchas blancas”

IBÁN JESUS MUÑOZ GÓMEZ

2023





---



**DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD  
DE LA TESIS PRESENTADA PARA OBTENER EL TÍTULO DE DOCTOR**

*Aprobado por la Comisión General de Doctorado el 19-10-2022*

D./Dña. **IBÁN JESÚS MUÑOZ GÓMEZ**

doctorando del Programa de Doctorado en

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA SALUD**

de la Escuela Internacional de Doctorado de la Universidad Murcia, como autor/a de la tesis presentada para la obtención del título de Doctor y titulada:

“Eficacia de un adhesivo de ionómero de vidrio frente a la prevención de manchas blancas”

y dirigida por,

D./Dña. Dr. Antonio José Ortiz Ruiz

D./Dña. Dra. Esther Fernández Miñano

**DECLARO QUE:**

La tesis es una obra original que no infringe los derechos de propiedad intelectual ni los derechos de propiedad industrial u otros, de acuerdo con el ordenamiento jurídico vigente, en particular, la Ley de Propiedad Intelectual (R.D. legislativo 1/1996, de 12 de abril, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, modificado por la Ley 2/2019, de 1 de marzo, regularizando, aclarando y armonizando las disposiciones legales vigentes sobre la materia), en particular, las disposiciones referidas al derecho de cita, cuando se han utilizado sus resultados o publicaciones.

*Si la tesis hubiera sido autorizada como tesis por compendio de publicaciones o incluyese 1 o 2 publicaciones (como prevé el artículo 29.8 del reglamento), declarar que cuenta con:*

- *La aceptación por escrito de los coautores de las publicaciones de que el doctorando las presente como parte de la tesis.*
- *En su caso, la renuncia por escrito de los coautores no doctores de dichos trabajos a presentarlos como parte de otras tesis doctorales en la Universidad de Murcia o en cualquier otra universidad.*

Del mismo modo, asumo ante la Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría o falta de originalidad del contenido de la tesis presentada, en caso de plagio, de conformidad con el ordenamiento jurídico vigente.

En Murcia, a 11 de 5 de 2023

Fdo.:

*Esta DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD debe ser insertada en la primera página de la tesis presentada para la obtención del título de Doctor.*

| Información básica sobre protección de sus datos personales aportados |  |
|---|--|
| Responsable:  | Universidad de Murcia.<br>Avenida teniente Flomesta, 5. Edificio de la Convalecencia. 30003; Murcia.<br>Delegado de Protección de Datos: dpd@um.es   |
| Legitimación:   | La Universidad de Murcia se encuentra legitimada para el tratamiento de sus datos por ser necesario para el cumplimiento de una obligación legal aplicable al responsable del tratamiento. art. 6.1.c) del Reglamento General de Protección de Datos   |
| Finalidad:  | Gestionar su declaración de autoría y originalidad   |
| Destinatarios:  | No se prevén comunicaciones de datos   |
| Derechos:   | Los interesados pueden ejercer sus derechos de acceso, rectificación, cancelación, oposición, limitación del tratamiento, olvido y portabilidad a través del procedimiento establecido a tal efecto en el Registro Electrónico o mediante la presentación de la correspondiente solicitud en las Oficinas de Asistencia en Materia de Registro de la Universidad de Murcia |



UNIVERSIDAD DE  
MURCIA

**D. Antonio José Ortiz Ruiz**, profesor Titular de Universidad del Área de Estomatología en el Departamento de Dermatología, Estomatología, Radiología y Medicina Física, AUTORIZA:

La presentación de la Tesis Doctoral titulada "**Eficacia de un adhesivo de ionómero de vidrio frente a la prevención de manchas blancas**", realizada por **D. Ibán Jesús Muñoz Gómez**, bajo mi inmediata dirección y supervisión, y que presenta para la obtención del grado de Doctor por la Universidad de Murcia.

En Murcia, a 30 de abril de 2023

ORTIZ RUIZ  
ANTONIO  
JOSE -  
28997281P

Firmado digitalmente por  
ORTIZ RUIZ  
ANTONIO JOSE -  
28997281P  
Fecha: 2023.04.30  
13:09:33 +02'00'

Mod:T-20



UNIVERSIDAD DE  
MURCIA

**D<sup>a</sup>. Esther Fernández Miñano**, profesora Asociada doctora del Área de Estomatología en el Departamento de Dermatología, Estomatología, Radiología y Medicina Física, AUTORIZA:

La presentación de la Tesis Doctoral titulada "**Eficacia de un adhesivo de ionómero de vidrio frente a la prevención de manchas blancas**", realizada por **D. Ibán Jesús Muñoz Gómez**, bajo mi inmediata dirección y supervisión, y que presenta para la obtención del grado de Doctor por la Universidad de Murcia.

FERNANDEZ MIÑANO  
ESTHER - 23021199Q

Firmado digitalmente por FERNANDEZ  
MIÑANO ESTHER - 23021199Q  
Fecha: 2023.04.30 14:56:08 +02'00'

En Murcia, a 30 de abril de 2023

Mod:T-20



# **“Eficacia de un adhesivo de ionómero de vidrio frente a la prevención de manchas blancas”**

Memoria presentada por

Ibán Jesús Muñoz Gómez

Para optar al Grado de

Doctor en Odontología

por la Universidad de Murcia

**Directores:**

**Dr. Antonio José Ortiz Ruiz**

**Dra. Esther Fernández Miñano**



## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Desmineralización del esmalte por la biopelícula.

Figura 2. Remineralización del esmalte bajo la presencia de iones de flúor en la biopelícula y/o saliva.

Figura 3. Remineralización del esmalte bajo la presencia de iones de flúor en la biopelícula y/o saliva.

Figura 4. Diagrama de un nanocomplejo de fosfopéptidos de caseína y el fosfato de calcio amorfo.

Figura 5. Imagen de MEB que muestra una superficie de esmalte a la que se ha aplicado MI Varnish™.

Figura 6. El Fosfato Tricálcico (TCP) se mezcla con ácido fumárico dando como resultado un ingrediente bioactivo: el fosfato tricálcico funcionalizado.

Figura 7. Imagen de MEB que muestra una superficie de esmalte cubierta por una capa de Clinpro™ White Varnish.

Figura 8. Diagrama de la metáfora del Iceberg de la caries dental.

Figura 9. Diagrama de flujo del estudio.

Figura 10. Zonas donde se realizan las medidas del EDX.

Figura 11. Área circular sobre el esmalte seleccionada para medir la composición por EDX.

Figura 12. Imagen de la superficie de un bracket obtenida a través del programa MIP4.



Figura 13. Base del bracket tras la descementación. En la figura 13A todo el cemento ha quedado en el esmalte. En la figura 13B parte del cemento permanece en la base del bracket.

Figura 14. Posición de los puntos donde se midió el grado de mineralización con DIAGNOdent™.

Figura 15. Valores de resistencia a las fuerzas de cizalla.

Figura 16. Porcentaje de adhesivo remanente.

Figura 17. Evolución de los valores de DIAGNOdent™ a lo largo del tiempo de estudio.



## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Valores de referencia de DIAGNOdent™.

Tabla 2. Composición de los materiales usados para la cementación de Brackets.

Tabla 3. Resistencia a las fuerzas de cizalla (MPa).

Tabla 4. Porcentaje de adhesivo remanente (%).

Tabla 5. Evolución de los valores de DIAGNOdent™ a lo largo del tiempo de estudio.

Tabla 6. Valores de los elementos químicos detectados en la superficie del esmalte mediante EDX en los tiempos T=0, desmineralización y T=12s.



## AGRADECIMIENTOS

Tengo que comenzar por la persona por la que hoy defiendo mi Tesis, Antonio José Ortiz Ruiz, mi mentor. En lo personal me ayudó, me apoyó, me dio consejo y me guió como un padre. En lo profesional, me trasmitió su manera de entender la odontología como una ciencia que debe ser estudiada y actualizada. Su pasión por investigación y la docencia traspasan fronteras mediante su calidez humana.

De la misma manera, agradecer a mi Directora de Tesis Esther Fernández Miñano por su dedicación y horas de su tiempo.

Mi familia, mi núcleo principal, mis padres Juanma y Pili y mi hermano mayor Juanma. Dos adolescentes encerrados en cuerpos de adulto. Su dedicación, su paciencia, su amor, su preocupación, su constancia, su esfuerzo y su sacrificio en cada uno de mis días. Lo mucho o poco que tengo no hubiera sido posible sin ellos. Mi hermano mayor y mi referente, un ejemplo de cómo afrontar la vida con seguridad y a luchar con insistencia para conseguir lo que quieres. Me dio el mayor regalo de poder ser tito y así disfrutar de un amor que no conoce fronteras.

Mis 4 abuelos, Santiago, Paca, Juan y Dori, que me criaron desde pequeño cuando mis padres no podían. Ellos derrocharon amor y cariño hasta el día de hoy. Es obligatorio parar el tiempo y hacer mención a la persona más determinante de mi vida, mi abuela Dori. Su falta la extraño todos los días. Ella me enseñó el amor puro e incondicional. Que el esfuerzo y sacrificio obtienen recompensa siempre. Que, si das desinteresadamente, recibes. Altruismo como forma de vida. Defendía a los suyos por encima de todo y siempre encontraba la palabra perfecta para hacer de tu día algo mejor.

Maria, mi mejor apoyo. Esa persona que se define como generosidad. Un espejo donde mirar cuando necesito saber cómo hacer las cosas mejor. Trabajadora e infatigable. Nada te puedo decir para agradecerte tanto. Solo ser egoísta y pedirte que lo sigas haciendo 100 vidas más.



No me puedo olvidar de mi compañero y amigo Juande, el primero que confió en mi cuando aún era alumno. Su manera de entender la vida, su optimismo ante la adversidad y su carácter dicharachero nunca le borran la sonrisa, a él y a los que le rodean. El pequeño Miguel pronto sabrá el padrazo que tiene.

Quiero terminar mis agradecimientos a tres amigas que han seguido mi camino muy de cerca. Maricarmen y Ana, compañeras de promoción y actualmente las hermanas que no tuve. Siempre han estado ahí para para ayudarme, apoyarme y dar consejo cuando más lo necesitaba. Por último, Pilar, doctora y profesora de la UM, ejemplo de trabajo, esfuerzo y una supermamá.

Gracias a todas las personas que se han cruzado en mi camino.



*“INCLUSO LAS TINIEBLAS DEBEN PASAR. UN NUEVO DÍA  
VENDRÁ. Y CUANDO EL SOL BRILLE, BRILLARÁ MÁS CLARO.  
ESAS FUERON LAS HISTORIAS QUE SE QUEDARON CONTIGO,  
QUE SIGNIFICARON ALGO, INCLUSO SI ERAS DEMASIADO  
PEQUEÑO PARA ENTENDER POR QUÉ”.*

*“El señor de los anillos”*



## **ABREVIATURAS**

**A**: Amperios

**Al**: Aluminio

**Ba**: Bario

**Ca<sup>+2</sup>**: Iones de Calcio

**CaF<sub>2</sub>**: Fluoruro de Calcio

**CO<sub>3</sub><sup>-2</sup>**: Ion Carbonato

**CPP-ACP**: Fosfato de calcio amorfo estabilizado con proteínas derivadas de la caseína de la leche de vaca o Recaldent™

**CuOHE**: Hidroxifluoruro de cobre

**EDX**: Espectroscopia por dispersión de energía de rayos X

**F<sup>-</sup>**: Ion Fluoruro

**FA**: Fluorapatita

**FHA**: Fluorhidroxiapatita

**H<sup>+</sup>**: Protones

**HA**: Hidroxiapatita

**ICDAS**: International Caries Detection and Assessment System

**K<sup>+</sup>**: ión potasio

**KV**: Kilovoltaje

**Mg<sup>+2</sup>**: Iones Magnesio

**MgF<sub>2</sub>**: Fluoruro de Magnesio



**MPa**: Megapascales

**N**: Newton

**Na<sup>+</sup>**: Iones Sodio

**OH**: Grupos Hidroxilo

**P**: Fósforo

**PAR**: Porcentaje de adhesivo remanente.

**PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>**: ión fosfato

**ppm**: Partes por millón

**QLF**: Fluorescencia Cuantitativa inducida por luz

**Si**: Silicio

**TCP**: fosfato-tricálcico

**TMR**: Microradiografía transversal

**VHM**: Valor de dureza de Vickers

**Yb**: Iterbio

**Zn**: Cinc

**β-TCP**: fosfato beta-tricálcico



## **ÍNDICE**

|  |    |
|--|----|
| 1. RESUMEN .....   | 16 |
| 2. JUSTIFICACIÓN .....   | 21 |
| 3. INTRODUCCIÓN.....   | 23 |
| 3.1. El binomio desmineralización/Remineralización.....                                      | 25 |
| 3.2. Materiales Preventivos y Remineralizantes.....  | 28 |
| 3.2.1. Papel del flúor en la prevención y remineralización.....                              | 28 |
| 3.2.2. Papel del calcio y el fosfato en la remineralización.....                             | 30 |
| 3.2.3. Otros productos.....  | 34 |
| 3.3. La lesión de mancha blanca .....  | 34 |
| 3.3.1. Características de la lesión de mancha blanca .....                                   | 34 |
| 3.3.2. Clínica y prevalencia de las lesiones de mancha blanca .....                          | 35 |
| 3.3.3. Diagnóstico de las lesiones de mancha blanca .....                                    | 36 |
| 3.4. Medidas Preventivas frente a la mancha blanca .....                                     | 39 |
| 3.4.1. Materiales que requieren cooperación por parte del paciente .....                     | 39 |
| 3.4.2. Materiales que no requieren cooperación por parte del paciente (uso en clínica) ..... | 40 |
| 4. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS.....  | 43 |
| 4.1. Hipótesis Nula.....   | 43 |
| 4.2. Objetivo Principal.....   | 43 |



|  |    |
|--|----|
| 4.3. Objetivos Específicos.....                                    | 44 |
| 5. MATERIAL Y MÉTODOS.....   | 45 |
| 5.1. Dientes.....  | 45 |
| 5.2. Grupos Experimentales.....                                    | 46 |
| 5.3. Proceso de desmineralización .....                            | 47 |
| 5.4. Proceso de cementación de brackets .....                      | 48 |
| 5.5. Ataque acido .....  | 51 |
| 5.6. Microanálisis por dispersión de energía de RAYOS-X (EDX)..... | 52 |
| 5.7. Test de Resistencia a las fuerzas de cizalla .....            | 53 |
| 5.8. Porcentaje de adhesivo remanente .....                        | 54 |
| 5.9. DIAGNOdent™.....  | 55 |
| 5.10 Análisis Estadístico .....                                    | 56 |
| 6. RESULTADOS.....   | 58 |
| 6.1. Resistencia a las fuerzas de cizalla .....                    | 60 |
| 6.2. Porcentaje de adhesivo remanente.....                         | 61 |
| 6.3. DIAGNOdent™ .....   | 62 |
| 6.4. Prueba EDX.....   | 64 |
| 7. DISCUSIÓN.....  | 68 |
| 7.1. Discusión del método.....                                     | 68 |
| 7.2. Discusión de resultados.....                                  | 71 |



|   |    |
|---|----|
| 8. CONCLUSIONES.....  | 76 |
| 9. BIBLIOGRAFÍA .....   | 77 |
| 10. ANEXOS .....  | 91 |
| 10.1.    Informe de Comité de Bioseguridad en Experimentación ..... | 92 |



# 1 RESUMEN

**Introducción:** Los pacientes portadores de brackets acumulan placa bacteriana alrededor de éstos, de los arcos y de las ligaduras, y si no mantienen una buena higiene, son más susceptibles de desarrollar lesiones incipientes de caries que los pacientes sin brackets. La lesión de mancha blanca se manifiesta como una opacidad blanca lechosa que, de no tratarse, avanza hasta la cavitación, necesitando un tratamiento restaurador. Para evitar su desarrollo es fundamental la prevención. Tradicionalmente, además de medidas higiénicas como cepillado, irrigador o cepillos interproximales, se han realizado tratamientos preventivos que favorecen la remineralización como geles o barnices de flúor. Actualmente, se han desarrollado adhesivos con base de ionómero de vidrio que liberan flúor y se recargan a través de la pasta dentífrica y podrían disminuir la aparición de mancha blanca sin contar con la colaboración del paciente.

**Objetivo:** El objetivo de nuestro estudio fue determinar la resistencia a las fuerzas de cizalla y el potencial preventivo y remineralizante del sistema adhesivo para



cementar brackets basado en ionómero de vidrio modificado con resina Opal™ Seal™/ Opal™ Bond™ MV.

**Material y Métodos:** Se usaron 80 incisivos centrales superiores bovinos, divididos aleatoriamente en 4 grupos de 20 dientes. Se usaron dos sistemas adhesivos: Opal™ Seal™/ Opal™ Bond™ MV y Transbond™ XT. Un grupo de cada sistema se desmineralizó durante 48 horas a temperatura ambiente. Se cementaron los brackets y las muestras se mantuvieron a 37<sup>o</sup> en saliva artificial a pH 6,57, que se renovó cada 48 horas, durante 12 semanas. Tres veces al día se sometieron a cargas ácidas usando la misma solución desmineralizante. En los tiempos 0, 4, 8 y 12 semanas se midió el nivel de mineralización del esmalte alrededor de los Brackets con DIAGNOdent™. En los tiempos 0, desmineralización y 12 semanas se determinó la composición elemental con espectroscopia por difracción de rayos X (EDX) en el microscopio electrónico de barrido (MEB). A las 12 semanas se realizó un test de resistencia a las fuerzas de cizalla (RFC) usando una cabeza de carga de 1kN a una velocidad de 1 mm/s. Tras el descementado, se calculó el porcentaje de adhesivo remanente (PAR) en la superficie del esmalte. El proyecto de investigación fue aprobado por el comité de bioseguridad en la investigación de la Universidad de Murcia (CBE 511/2022).

**Resultados:** El grupo Transbond XT desmineralizado presentó mayor RFC (13,19±5,44 MPa; p<0,001) que el grupo Opal Seal/Opal Bond MV desmineralizado (5,98±1,62 MPa), Opal Seal/Opal Bond MV intacto (4,84±2,48 MPa) y Transbond XT intacto (7,59±4,12 MPa). El mayor PAR se encontró en el grupo Opal Seal/Opal Bond MV intacto (81,28±16,89). El grupo Opal Seal/Opal Bond MV desmineralizado presentó una reducción progresiva y significativa (p<0.001) de los valores de DIAGNOdent™ (13,27±1,19 en T0; 11,33±0,89 en T4s, 8,25±0,85 en T8s y 5,31±0,83 en T12s). En los grupos de Transbond XT no se modificaron los valores de DIAGNOdent™ durante el estudio. La composición elemental en T=0 no presentó diferencias entre los distintos grupos y en T=12s reflejó la composición de los materiales adhesivos. La desmineralización redujo los niveles de Calcio y la ratio Ca/P de forma significativa e incrementó las concentraciones de C, Na y Cl.



Observamos Silicio (Si) en todos los grupos y aluminio (Al), bario (Ba) y flúor (F) en los grupos cementados con Opal Seal/Opal Bond MV.

**Conclusiones:** El potencial remineralizante del sistema adhesivo para cementar brackets basado en ionómero de vidrio modificado con resina Opal™ Seal™/ Opal™ Bond™ MV es superior al del sistema adhesivo Transbond™ XT. Sin embargo, es más sensible al ataque ácido. El sistema Transbond™ XT genera mayores fuerzas de adhesión que el sistema Opal™ Seal™/ Opal™ Bond™ MV.

#### PALABRAS CLAVE

Resistencia a las fuerzas de cizalla, esmalte desmineralizado, esmalte remineralizado, ionómero de vidrio, selladores ortodóncicos, porcentaje de adhesivo remanente, microscopia electrónica de barrido, fuerzas de adhesión en ortodoncia, agentes remineralizantes, DIAGNOdent™, espectrometría de rayos X, Transbond™ XT, Opal™ Seal™/ Opal™ Bond™ MV.



## ABSTRACT

**Introduction:** Patients wearing brackets accumulate bacterial plaque around the brackets, archwires and ligatures. If they do not maintain good hygiene, are more susceptible to developing incipient caries lesions than patients without brackets. The white spot lesion appears as a milky white opacity that, if left untreated, progresses to cavitation, requiring restorative treatment. Prevention is essential to avoid its development. Traditionally, in addition to hygienic measures such as brushing, irrigation or interproximal brushes, preventive treatments that favor remineralization such as fluoride gels or varnishes have been used. Currently, glass ionomer-based adhesives, that release fluoride and are recharged through the toothpaste, have been developed and could reduce the appearance of white spot lesions without the patient's collaboration.

**Purpose:** The aim of our study was to determine the shear bond strength and the preventive and remineralizing potential of the Opal™ Seal™/ Opal™ Bond™ MV resin-modified glass ionomer-based adhesive system for cementing brackets.

**Material and Methods:** 80 bovine upper central incisors were used, randomly divided into 4 groups of 20 teeth. Two adhesive systems were used: Opal™ Seal™/ Opal™ Bond™ MV and Transbond™ XT. One group of each system was demineralized for 48 hours at room temperature. The brackets were cemented, and the samples were maintained at 37° in artificial saliva at pH 6.57, which was renewed every 48 hours, for 12 weeks. Three times a day they were subjected to acid loads using the same demineralizing solution. At times 0, 4, 8 and 12 weeks, the level of enamel mineralization around the brackets was measured with DIAGNOdent™. At times 0, demineralization and 12 weeks the elemental composition was determined with X-ray diffraction spectroscopy (EDX) in the scanning electron microscope (SEM). At 12 weeks, the shear bond strength (SBS) was performed using a 1kN load head at a speed of 1 mm/s. After debonding, the percentage of remaining adhesive (PRA) on the enamel surface was calculated. The research project was approved by the research biosafety committee of the University of Murcia (CBE 511/2022).



**Results:** The demineralized Transbond XT group presented higher SBS ( $13.19 \pm 5.44$  MPa;  $p < 0.001$ ) than the demineralized Opal Seal/Opal Bond MV group ( $5.98 \pm 1.62$  MPa), intact Opal Seal/Opal Bond MV ( $4.84 \pm 2.48$  MPa) and intact Transbond XT ( $7.59 \pm 4.12$  MPa). The highest PRA was found in the Opal Seal/Opal Bond MV intact group ( $81.28 \pm 16.89$ ). The Opal Seal/Opal Bond MV demineralized group presented a progressive and significant ( $p < 0.001$ ) reduction in DIAGNOdent™ values ( $13.27 \pm 1.19$  at T0;  $11.33 \pm 0.89$  at T4s,  $8.25 \pm 0.85$  at T8s and  $5.31 \pm 0.83$  at T12s). In the Transbond XT groups, DIAGNOdent™ values did not change during the study. Elemental composition at T=0 showed no differences between the different groups and at T=12s reflected the composition of the adhesive materials. Demineralization reduced the levels of Calcium and Ca/P ratio significantly and increased the concentrations of C, Na and Cl. We observed Silicon (Si) in all groups and Aluminum (Al), Barium (Ba) and Fluorine (F) in the groups cemented with Opal Seal/Opal Bond MV.

**Conclusions:** The remineralizing potential of the Opal™ Seal™/ Opal™ Bond™ MV resin-modified glass ionomer-based bracket adhesive system is higher than the Transbond™ XT adhesive system. However, it is more sensitive to acid attack. The Transbond™ XT system generates higher bond strengths than the Opal™ Seal™/ Opal™ Bond™ MV system.

#### KEY WORDS

Shear bond strength, demineralized enamel, remineralized enamel, glass ionomer, orthodontic sealants, percentage of adhesive remaining, scanning electron microscopy, bond strengths in orthodontics, remineralizing agents, DIAGNOdent™, X-ray spectrometry, Transbond™ XT, Opal™ Seal™/ Opal™ Bond™ MV.



# 2 JUSTIFICACIÓN DEL ESTUDIO

Para que se desarrolle una lesión de mancha blanca se precisan una serie de elementos: la placa bacteriana, carbohidratos fermentables, saliva, una superficie dental y tiempo. El proceso de desmineralización/remineralización está en un equilibrio continuo en la cavidad oral y, cuando se produce un desequilibrio de estos factores, el pH desciende y comienzan a predominar los procesos de desmineralización. La saliva está sobresaturada de iones calcio y fosfato que ayudan a promover la remineralización y evita los procesos de desmineralización. Una higiene deficiente facilita la acumulación de placa bacteriana, rompiendo el equilibrio entre los factores. Los pacientes portadores de aparatos de ortodoncia fija



como brackets, arcos o bandas tienen difícil una higiene correcta y la acumulación de placa bacteriana está facilitada, provocando las lesiones de mancha blanca, que podrían llegar a cavitarse.

Para prevenir la aparición de las lesiones de mancha blanca, además de mantener una higiene correcta, necesitamos de productos que favorezcan la remineralización e inhiban la desmineralización. Para ello, es importante el uso de productos fluorados (pastas dentales, barnices, geles, colutorios), productos que contengan calcio y fosfato (fosfato de calcio amorfo estabilizado, fosfato de calcio no-estabilizado, fosfato de calcio cristalino), productos antimicrobianos que disminuyan la carga bacteriana en la cavidad oral y materiales que refuercen la superficie del diente frente a la desmineralización sin necesidad de la colaboración del paciente, como adhesivos liberadores de flúor como el sistema Opal™ Seal™/Opal™ Bond™ MV.

Estos adhesivos que se utilizan durante la cementación de brackets deben cumplir unas características fundamentales como que tengan fuerzas de adhesión clínicas aceptables para la práctica ortodóncica, que no produzcan daños o alteraciones en la estructura del esmalte al ser retirados y que promuevan la remineralización e inhiban la desmineralización.



# 3 INTRODUCCIÓN

En los últimos años, el uso de la ortodoncia en la clínica ha aumentado, tanto en niños como en adultos. Durante todo el tratamiento, es fundamental una correcta higiene oral por parte del paciente, para evitar la acumulación de placa bacteriana que, mantenida en el tiempo, puede dar lugar a procesos de desmineralización del esmalte provocando lesiones de mancha blanca. **(Lopatiene y cols., 2015)**

Tras la cementación de los Brackets se produce un cambio en el biofilm, aumentando los niveles de bacterias acidogénicas, fundamentalmente *S. Mutans* y *Lactobacillos*. Con el paso del tiempo, si existe una deficiente higiene oral, en las zonas de mayor retención de placa bacteriana, como alrededor de los brackets, ligaduras, bandas o tubos, se pueden desarrollar machas blancas. **(do Nascimento y cols., 2013)** Esto



es debido a que las bacterias acidogénicas metabolizan los carbohidratos fermentables y producen ácidos orgánicos, que disuelven la hidroxiapatita (HA) del esmalte, dando lugar a una desmineralización de la estructura dental.

Los estudios indican que los pacientes no portadores de ortodoncia y sin una adecuada higiene oral necesitan, al menos, 6 meses para desarrollar lesiones de mancha blanca. En cambio, los que llevan ortodoncia fija el tiempo se reduce a 1 mes. **(Tufekci y cols., 2011; Lucchese y Gherlone, 2013)** Por ello, si un paciente desarrolla una lesión de mancha blanca y continúa con sus hábitos nocivos, ésta podría dar lugar a una cavitación del esmalte que necesitará un tratamiento restaurador.

El esmalte dental está formado por proteínas, lípidos, agua y minerales. La parte mineral (96 % en peso) está compuesta por una HA con sustituciones en la parte aniónica y catiónica de su estructura. Algunos iones de calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) son reemplazados por otros iones metálicos como sodio ( $\text{Na}^+$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) y potasio ( $\text{K}^+$ ), en una cantidad aproximada de un 1%, siendo el  $\text{Na}^+$  el más abundante. Algunos de los iones hidroxilo ( $\text{OH}^-$ ) pueden ser reemplazados por iones fluoruro ( $\text{F}^-$ ). Sin embargo, la sustitución importante es el carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ), que sustituye algunos de los grupos fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Debido a estas sustituciones en la red cristalina mineral, especialmente el carbonato, el esmalte es mucho más soluble al ácido que la HA pura, que a su vez es mucho más soluble que la fluorapatita (FA), cuya fórmula es  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$ . Realmente, el esmalte estaría formado por una hidroxiapatita carbonatada deficiente en calcio. **(LeGeros, 1991)**

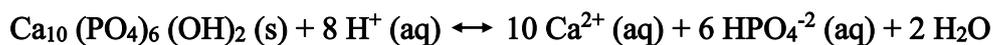
Un 1% en peso del esmalte está formado por materia orgánica: proteínas y lípidos. Las proteínas de esmalte están presentes, como una cubierta muy delgada, sobre los cristales individuales y comprenden, aproximadamente, la mitad del material orgánico. Son, principalmente amelogenina, ameloblastina, enamelina y tuftelina. La otra mitad del material orgánico en el esmalte son los lípidos. El contenido de agua, 3% en peso y 12% en volumen, es suficiente para la difusión de ácidos y otros componentes (calcio y fosfato) dentro y fuera del diente durante el proceso de la desmineralización–remineralización. **(Agrawal y cols., 2014; Shellis, Featherstone y Lussi, 2014)**



### 3.1 EL BINOMIO DESMINERALIZACIÓN/REMINERALIZACIÓN

La región más externa del esmalte dental está en íntimo contacto con la saliva y el fluido de la placa dental (biofilm). Los cristales de HA están en equilibrio dinámico con estas fases acuosas adyacentes. La integridad de los cristales de HA no sólo depende del pH sino también de la concentración de iones calcio y fosfato en solución. A  $\text{pH} < 5,5$ , los cristales de HA se pueden disolver en el proceso conocido como desmineralización (Figura 1). Más comúnmente, la desmineralización dental es causada por los ácidos excretados por las bacterias, como un producto del metabolismo de los hidratos de carbono, o por la ingestión de alimentos ácidos. La caries y la erosión dental se asocian con la desmineralización del diente. La saliva es rica en iones calcio y fosfato. Puede actuar como un amortiguador natural para neutralizar el ácido y restringir el proceso de disolución del mineral del esmalte. A  $\text{pH} > 5,5$ , junto con una alta concentración de iones de calcio y de fosfato, el equilibrio se puede inclinar a favor de la formación de fosfato de calcio, que precipitaría sobre la superficie del esmalte y, de esta forma, los tejidos dentales desmineralizados se remineralizarían (Figura 2). **(Cury y Tenuta, 2009; Li y cols., 2014)**

La fórmula simplificada que refleja el proceso de mineralización/desmineralización es la siguiente:



La desmineralización, o pérdida mineral, se produce por los iones hidrógeno ( $\text{H}^+$ ) procedentes de la disociación de ácidos fuertes o débiles (placa bacteriana, ácidos de la comida, ácidos de las bebidas carbonatadas, ácidos procedentes del estómago) y, en menor medida, por aniones que pueden unirse o formar complejos con el calcio. Estos últimos se denominan quelantes (como el EDTA). Cuando los iones  $\text{H}^+$  contactan con la superficie del esmalte provocan un ataque a los cristales de HA, particularmente en su superficie y en su núcleo. Es una reacción química con los iones carbonato y fosfato, provocando la liberación del resto de iones ( $\text{OH}^-$ ,  $\text{F}^-$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$ ) desde la superficie de los cristales. Estos iones difunden hacia el exterior

produciéndose en el esmalte una pérdida de calcio y fosfato, principalmente, produciendo el efecto que denominamos “grabado ácido”. **(Shellis, Featherstone y Lussi, 2014)**

Los cristales afectados en primer lugar son los pequeños cristalitas que hay en la sustancia interprismática. Posteriormente, el ataque avanza aprovechando las vías de mayor contenido de materia orgánica, implicándose los cristales que forman los prismas del esmalte. La duración de la desmineralización depende del tiempo que se requiera para que el pH alrededor de la superficie del esmalte regrese a valores por encima del pH crítico (5.5); esto se controla por medio de la cantidad de saliva, su composición y su capacidad amortiguadora. **(Simmer y Hu., 2001)**

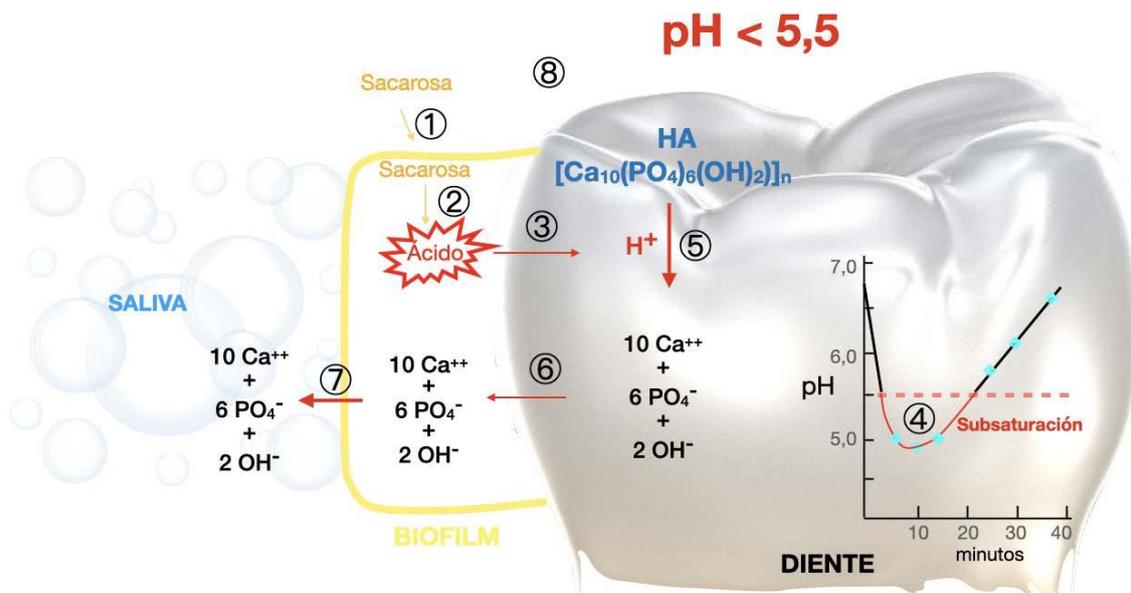


Figura 1. Desmineralización del esmalte por la biopelícula: ingestión de azúcar (1); transformación de azúcar en ácido (2); difusión de ácido (3); el pH baja hasta 5,5 (4) y disolución de HA. **(Tomado de Poza Pascual A., 2021)**

Una vez finalizado el ataque ácido, por agotamiento de los  $H^+$ , sucede un episodio de remineralización. Los iones calcio y fosfato, junto con otros iones, precipitan en el esmalte produciendo el crecimiento de cristales de hidroxiapatita y la formación de nuevos cristales. **(Cury y Tenuta, 2009; Conejo Fernández B., 2015)**

Para la formación de nuevos cristales (o revertir la dirección de la ecuación de ácido-base de disolución de la HA) es preceptivo que alrededor de los mismos existan soluciones acuosas hipersaturadas de iones calcio y fosfato. Estas soluciones son la placa dental (biofilm) y la saliva; ambas juegan un papel fundamental en la remineralización de las lesiones en el esmalte. Esto se debe a su alto contenido en calcio, fósforo y flúor, y a la actividad de algunas proteínas salivales que tienen afinidad para los iones  $\text{Ca}^{+2}$  y para la HA, que se hallan implicadas en el proceso de transporte y deposición de dicho mineral en el esmalte (Agrawal y cols., 2014).

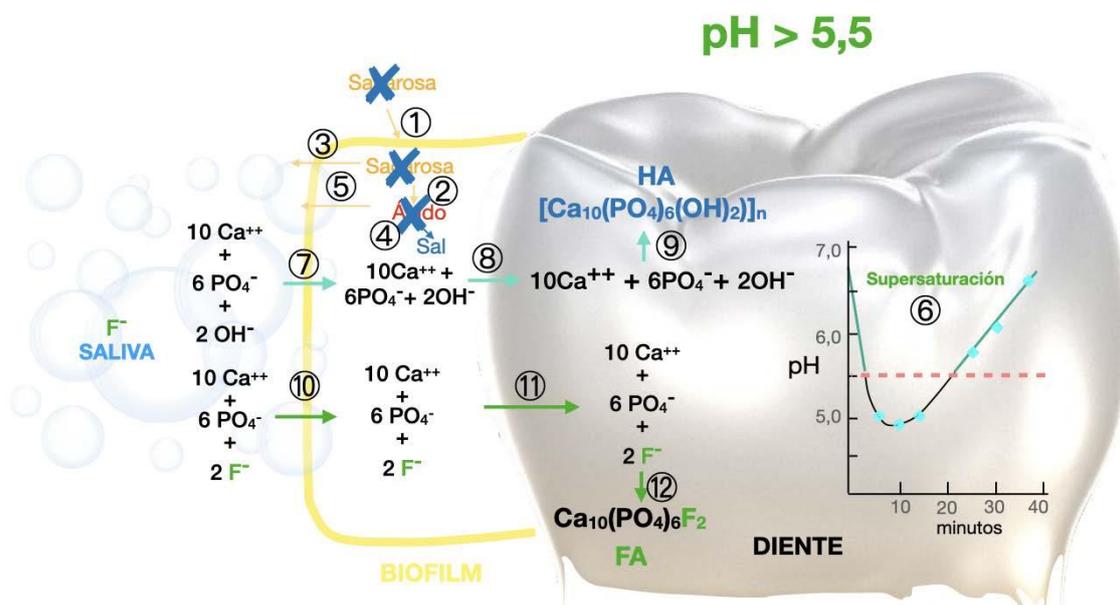


Figura 2. Remineralización de esmalte bajo la presencia de iones de flúor en la biopelícula y/o saliva: interrupción de la ingestión de azúcar (1); detención de formación de ácido (2); dilución y neutralización de los ácidos (3,4,5); vuelta del pH a la normalidad (6); supersaturación del medio con relación a HA (7,8); precipitación de HA (9); supersaturación del medio con relación a FA (10,11) con precipitación de FA. (Tomado de Poza Pascual A., 2021)

Desde hace algunas décadas se han desarrollado y utilizado productos para reducir la desmineralización del esmalte y promover la remineralización. Entre ellos se encuentran los que actúan sobre las soluciones acuosas peridentales incrementando la concentración de los iones pro-remineralizantes. Estos se pueden dividir en tres



grandes grupos: aquellos que contienen fluoruro, los que contienen calcio y fosfato y los ionómeros de vidrio. **(Barbour y cols., 2008; Conejo Fernández B., 2015)**

## **3.2 MATERIALES PREVENTIVOS Y REMINERALIZANTES**

### 3.2.1 Papel del flúor en la prevención y remineralización

El flúor ejerce un papel protector sobre el esmalte al disminuir su solubilidad ácida, ya que puede inducir la formación de FA o de fluorhidroxiapatita (FHA) mediante reacción directa con la HA, sustituyendo los OH<sup>-</sup>, o también puede estimular la transformación de fases de fosfato de calcio (como el fosfato octacálcico, fosfato dicálcico dihidratado) a FA o FHA (Figura 3). **(Cury y Tenuta, 2009; Castellanos y cols., 2013)**

Desde los años 80 se sabe que el flúor controla el desarrollo de la lesión inicial de caries a través de su efecto en el proceso de desmineralización-remineralización en la interfase entre los fluidos orales y la superficie del diente. Así, bajos niveles de flúor en solución no solo previenen la desmineralización, sino que también aumentan la remineralización de la superficie del esmalte a través del aumento de la precipitación de la apatita. Se ha visto que la deposición de mineral de apatita, a través de estos procesos, en la superficie suavizada del esmalte está notablemente incrementada con concentraciones de flúor superiores a 4 ppm, estableciéndose esta cifra como concentración aceleradora del efecto estabilizador del flúor. **(Li y cols., 2014)**

El flúor que se deposita en la superficie del esmalte forma un material similar al CaF<sub>2</sub>, que actúa de reservorio, protegiendo del ataque ácido, ya que cuando baja el pH se puede liberar suprimiendo o conteniendo la desmineralización, y con el aumento del pH ese flúor contribuye a la formación de sustancia mineral, remineralización. Existe, además, una relación inversa entre la concentración de flúor en la placa bacteriana y la prevalencia de caries actuando, por lo tanto, también la placa como reservorio de flúor. **(Wiegand, Buchala y Attin, 2007)**

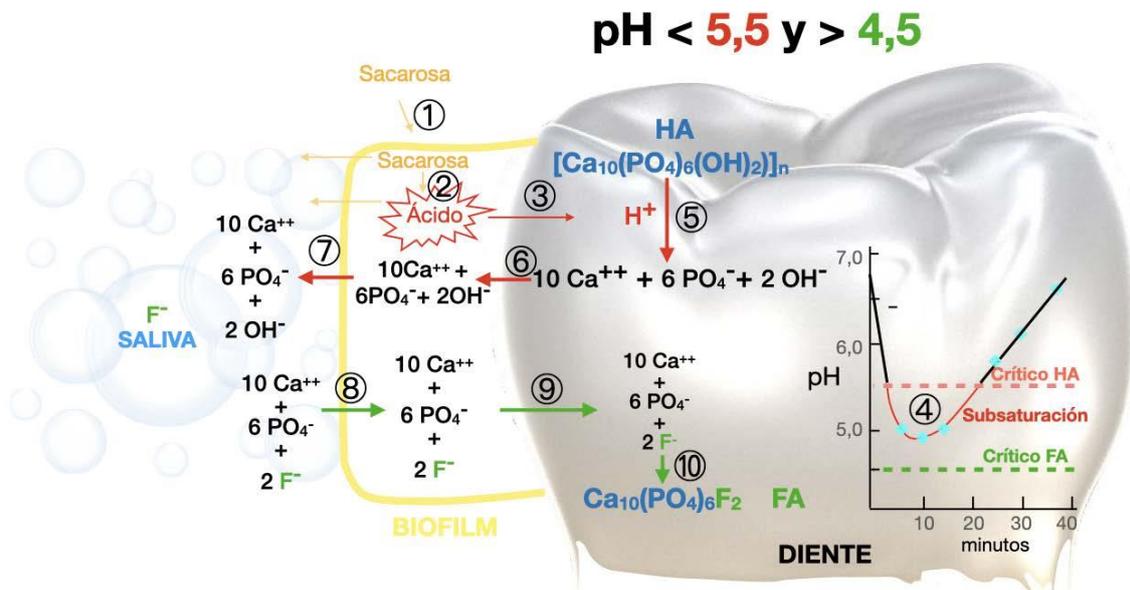


Figura 3. Remineralización de esmalte bajo la presencia de iones de flúor en la biopelícula y/o saliva: ingestión y transformación de azúcar en ácido (1,2); difusión de ácido (3); el pH queda por debajo del valor crítico para HA (4,5) para la disolución de FA (4); disolución de HA (5,6,7) y concomitante formación de FA (8,9,10). (Tomado de Poza Pascual A., 2021)

El uso de pasta dentífrica con una concentración  $\geq 1.000$  ppm  $\text{F}^-$  ha sido recomendado por la American Academy of Pediatrics (AAP), American Academy of Pediatric Dentistry (AAPD), European Academy of Pediatric Dentistry (EAPD), American Dental Association (ADA), la Federación Dental Internacional (FDI) y la European Organization for Caries Research (ORCA) y la Organización Mundial de la Salud lo ha definido como mineral que previene la caries y enlentece las lesiones ya existentes (WHO, 2022) y lo ha incluido dentro del listado de medicamentos esenciales en el listado publicado en el 2021 (WHO, 2021).

En colutorios, pueden usarse de forma semanal o diaria y están recomendados en pacientes mayores de 6 años con control de la deglución. Éstos pueden contener solo flúor o, en las nuevas generaciones, se añaden, a 900 ppm de flúor, sales de calcio soluble. Éstos últimos son capaces de mantener una concentración de flúor en saliva x5 hasta 1 hora después de su uso. (Vogel y cols., 2006; Vogel GL, 2011) Los geles



de fluoruro, con una concentración de 12.300 ppm F<sup>-</sup> están indicados para niños mayores de 7 años, con 2–4 aplicaciones al año, según el riesgo de caries, durante 4 minutos por aplicación. **(Hawkins y cols., 2003; Douglas y cols., 2016)** En barniz, con una concentración de 22.600 ppm F<sup>-</sup>, permanece varias horas sobre la superficie del diente y protege frente a procesos de desmineralización de 3 a 6 meses. Su uso de forma periódica reduce la aparición de mancha blanca durante los tratamientos de ortodoncia. **(Weyant y cols., 2013; Perrini y cols., 2016; Mikael Sonesson y cols, 2020; Cury y cols., 2023)**

### 3.2.2 Papel del calcio y del fosfato en la remineralización

El calcio y el fosfato son minerales necesarios para el mantenimiento de la estructura dental. Estos minerales se encuentran habitualmente en la placa dental y en la saliva, y tienen una participación activa en los procesos de desmineralización/remineralización. Al igual que con el flúor, se ha encontrado una relación inversa entre la presencia de calcio en la placa y en la saliva, y la incidencia de caries. **(Li y cols., 2014)**

- A. El *Fosfato de calcio amorfo no estabilizado* es un precursor de la HA que presenta gran solubilidad y se convierte rápidamente en HA, lo que lo hace adecuado para ser un buen agente remineralizante. Su principal potencial se basa liberación de iones de Ca y P tras su disolución; pero los iones libres permanecen poco tiempo disponibles para la remineralización ya que rápidamente se transforman en una fase cristalina estable constituida por cristales de hidroxiapatita y fluorhidroxiapatita en presencia de fluoruro, precipitando en saliva y dificultando su incorporación a la placa dental y a la superficie del esmalte. **(Gurunathan, Somasundaram y Kumar, 2012)**
  
- B. El *fosfato de calcio amorfo estabilizado con proteínas derivadas de la caseína de la leche de vaca o Recaldent™ (CPP-ACP)* tiene propiedades similares a los fluoruros. Inhibe la desmineralización, induce la remineralización, ejerce un efecto tampón y tiene un efecto bactericida y bacteriostático. El CPP-ACP produce un aumento de nivel de calcio y fosfato en la placa dental,



incrementar la formación de cristales de fluorapatita y fluorhidroxiapatita, aumentando la resistencia del esmalte a este nivel. **(Patil y cols., 2013)** El CPP-ACP se encuentra incorporado en chicles, pastas dentales, barnices y comprimidos.

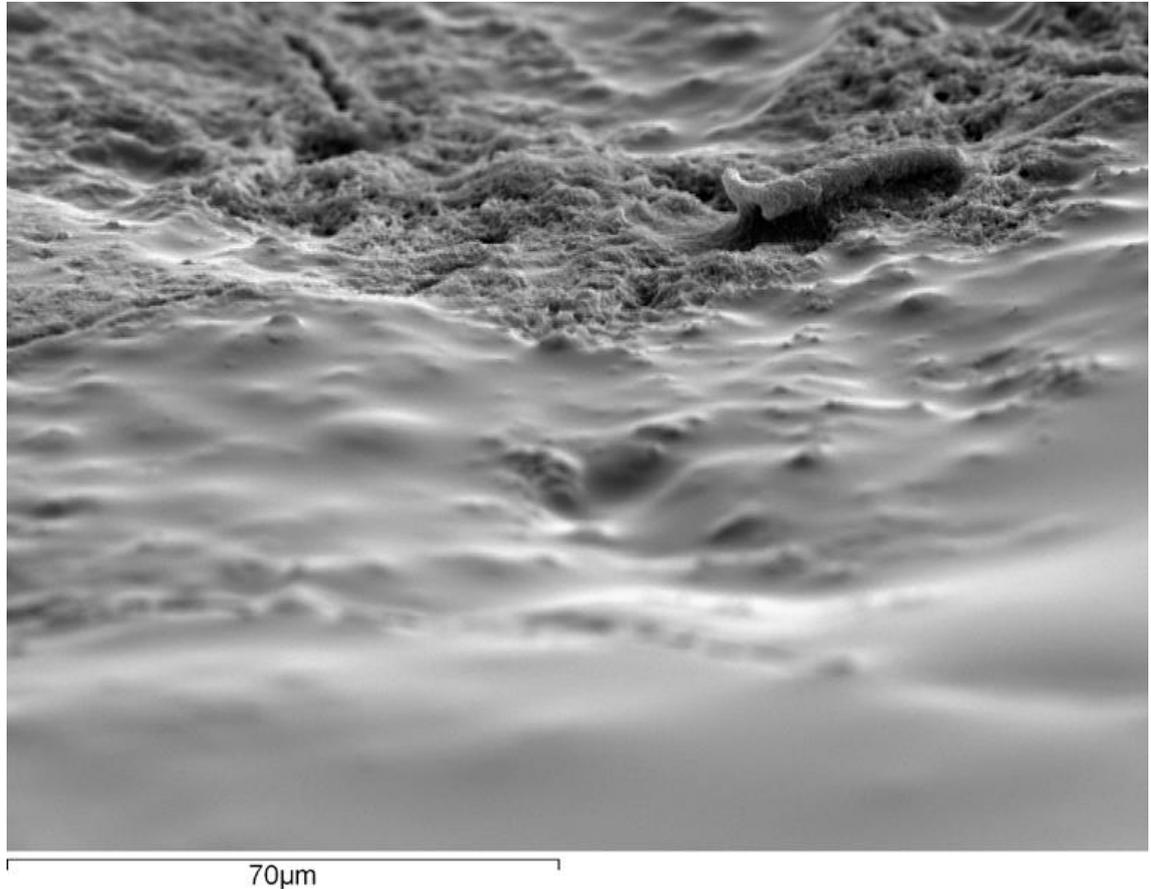


Figura 5. Imagen de MEB que muestra una superficie de esmalte a la que se ha aplicado MI Varnish™. (Imagen cedida por la Dra. Yolanda Martínez Beneyto)

- C. *El fosfato de calcio cristalino funcionalizado ( $f$ -TCP).* Se utiliza en forma de pasta dental (3MESPE Clinpro™ Tooth Creme, con 950 ppm de F<sup>-</sup>, y 3MESPE Clinpro™ 5000, con 5000 ppm de F<sup>-</sup>) y en barniz (3MESPE Clinpro™ White Varnish con 5% de fluoruro sódico, 22.600 ppm de F<sup>-</sup>). Su fórmula es  $\beta$ -Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> y proporciona grandes cantidades de iones calcio y fosfato en la superficie del diente. **(Karlinsky y cols., 2010)** El  $\beta$ -TCP ha sido funcionalizado con el lauril sulfato de sodio en las pastas y con el ácido

fumárico (Figura 6) en el barniz (Figura 7) para darle estabilidad en el medio oral y potenciar su acción remineralizadora (f-TCP). **(Cochrane y cols., 2010)**

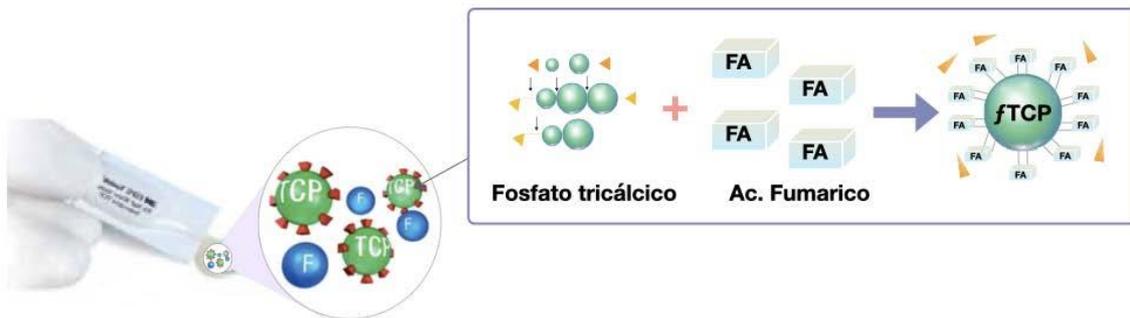


Figura 6. El Fosfato Tricálcico (TCP) se mezcla con ácido fumárico dando como resultado un ingrediente bioactivo: el fosfato tricálcico funcionalizado. (Cortesía de 3MESPE)

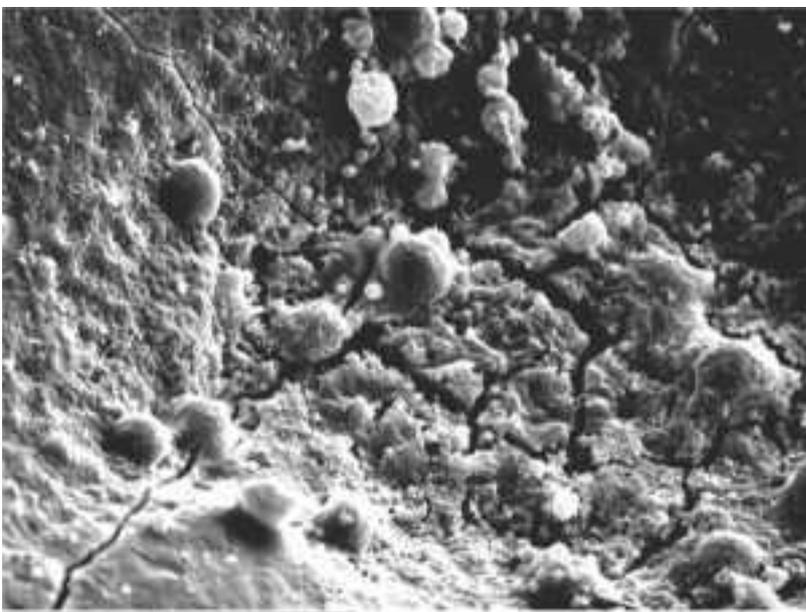


Figura 7. Imagen de MEB que muestra una superficie de esmalte cubierta por una capa de Clinpro™ White Varnish. (Imagen cedida por el Dr. José Francisco Martínez Marco).



### 3.2.3 Otros productos

El *barniz de xilitol al 20 %* ha demostrado capacidad para remineralizar lesiones de mancha blanca en dientes bovinos in vitro **(Cardoso y cols., 2014)** e in situ **(Cardoso y cols., 2016)**.

El *cemento de ionómero de apatita* incorpora una hidroxapatita esférica y porosa en la composición del cemento del ionómero de vidrio. Ha mejorado las resistencias mecánicas del ionómero reforzando la matriz de cemento y la capacidad de amortiguación ácida al aumentar la liberación de varios iones, incluidos los iones fluoruro, con lo que clínicamente podría ser eficaz en la prevención de la lesión inicial de caries y remineralización de las ya existentes. **(Imataki y cols, 2019)**

Los *adhesivos antimicrobianos* son adhesivos de resina modificada con aminas terciarias. Los monómeros más frecuentemente usados son el metacrilato de dodecilmetilaminoetilo (DMAEM) y el metacrilato de hexadecilmetilaminoetilo (HMAEM) sensibles al pH. Han demostrado efecto antibacteriano mediante el test de concentración inhibitoria mínima y de concentración bactericida mínima contra *Streptococcus mutans*, *Streptococcus sanguinis* y *Streptococcus gordonii* en medio ácido. Se usan para reducir la aparición de caries secundaria, con lo que estarían indicados como adhesivos para cementar Brackets y prevenir las lesiones de mancha blanca. **(Liang y cols., 2020)**

## **3.3 LA LESIÓN DE MANCHA BLANCA**

### 3.3.1 Características de la lesión de mancha blanca

La lesión de caries está formada por diferentes zonas, histológica y clínicamente diferenciables. Una zona superficial relativamente intacta, con un espesor de 20 a 50 micras y una reducción en el contenido mineral entre 5 y un 10%, actúa como zona de paso para que el calcio, el fosfato y el fluoruro entren y salgan del esmalte. El cuerpo de la lesión, desmineralizado en un 25% en volumen y un tamaño del poro del 5%, es la zona más amplia de toda la lesión inicial. En ella hay un incremento en



la cantidad de materia orgánica y agua debido a la entrada de bacterias y saliva. La zona oscura, presente en el 90 al 95% de las lesiones, se produce como consecuencia del proceso de desmineralización y remineralización, con una pérdida de 2 a 4% en volumen de minerales por unidad de volumen con birrefringencia positiva a la luz polarizada. El color oscuro se debe a que los poros son muy pequeños gracias al proceso de remineralización, determinando que zonas oscuras grandes se corresponden con zonas muy remineralizadas y con una lesión de avance lento o inactiva. La zona translúcida es el frente de avance de la lesión del esmalte. Se encuentra presente en un 50% de las lesiones y tiene un promedio de 40 micrómetros de ancho. Existe una pérdida mineral de 1,2% por unidad de volumen y un volumen del poro de 1,2%. **(Kidd y Fejerskov, 2004)**

### 3.3.2 Clínica y prevalencia de las lesiones de mancha blanca

La lesión de mancha blanca, definida como una "porosidad de la subsuperficie del esmalte", clínicamente se manifiesta como una opacidad blanca lechosa con una disminución de la luminosidad de fluorescencia, en comparación con las superficies de esmalte sano. El aspecto blanco es debido a un fenómeno óptico causado por la pérdida de minerales en la superficie y subsuperficie del esmalte que altera el índice de refracción y aumenta la dispersión de la luz en la zona afectada, con el resultado de una mayor opacidad del esmalte visual. **(Khoroushi y Kachuie, 2017)**

La incidencia de nuevas lesiones de caries que se producen durante los tratamientos de ortodoncia es del 45.8% y la prevalencia de estas lesiones fue del 68.4% **(Sundararaj y cols., 2015)** en comparación con solo el 26% de aquellos que no reciben tratamiento de ortodoncia. **(Al Maaitah y cols., 2011)** La incidencia es tres veces mayor en hombres que en mujeres debido a que éstas tienen una mejor higiene oral. **(Khalaf K, 2014)**

Las lesiones de mancha blanca alrededor de los brackets se pueden observar a partir del primer mes tras su colocación, aunque la formación de una lesión de caries bien establecida no sucede hasta los 6 meses. **(Ogaard, Rølla y Arends, 1988)**



Estas lesiones aparecen principalmente en las superficies vestibulares de los dientes superiores en el siguiente orden: incisivos laterales, caninos, premolares e incisivos centrales, especialmente en el área cervical. Los segmentos posteriores del maxilar son el sitio menos común. **(Sundararaj y cols., 2015)**

Los factores de riesgo son muy variados: la edad al comienzo del tratamiento (siendo más frecuente en pacientes jóvenes que en adultos), una mala higiene oral antes de iniciar el tratamiento, la dieta, la presencia de lesiones de mancha blanca preexistentes o la duración del tratamiento. Otros factores de riesgo inherentes al paciente son las enfermedades sistémicas coexistentes, los niveles de fluoruro, calcio, fosfato y bicarbonato en saliva y la susceptibilidad genética. **(Sundararaj y cols., 2015)**

### 3.3.3 Diagnóstico de las lesiones de mancha blanca

Las técnicas más utilizadas para el diagnóstico de las lesiones de caries son los exámenes visual, táctil y radiológico. Sin embargo, estos métodos tienen una baja sensibilidad (20-30%) para detectar mínimos cambios en el esmalte, como los que suceden en la lesión de mancha blanca. Por ello, se recurrió a tecnologías no invasivas, fiables, precisas, objetivas, fáciles de reproducir y con elevada especificidad y sensibilidad. **(Heymann y Grauer, 2013)**. Estas tecnologías miden cambios en el contenido mineral a través de la resistencia eléctrica del diente o de cambios en la dispersión de la luz (dispositivo DIFOTI) o tecnologías que miden la actividad bacteriana (dispositivo DIAGNodent). La tecnología de fluorescencia cuantitativa inducida por luz (QLF) mide el contenido mineral y la actividad bacteriana. **(Kim BI, 2019)**

#### *A. Inspección Clínica Visual.*

Es la más usada y se basa en el cambio de las propiedades ópticas del esmalte. En estadios iniciales se debe secar con aire comprimido la superficie del diente. Sin embargo, en estadios más avanzados no es necesario y se puede apreciar la lesión de mancha blanca bajo humedad, ya que la superficie de la mancha blanca está muy porosa por la desmineralización y los espacios interprismáticos del esmalte están aumentados. La exploración visual se debe complementar con una escala que nos

permita evaluar la lesión como el sistema International Caries Detection and Assessment System (ICDAS) (Figura 8) que es un sistema de puntuación clínica que permite la detección, evaluación y caracterización de la actividad de caries en cada etapa de la lesión. Se pueden clasificar en 6 puntos: 0, sano; 1, cambios en el esmalte en seco; 2, cambios en el esmalte húmedo; 3, pequeña cavidad en esmalte sin signos clínicos de afectación de dentina; 4, sombra subyacente no cavitada en dentina; 5, cavidad detectable con dentina afectada; 6, cavidad extensa con dentina afectada. (Dikmen B, 2015).

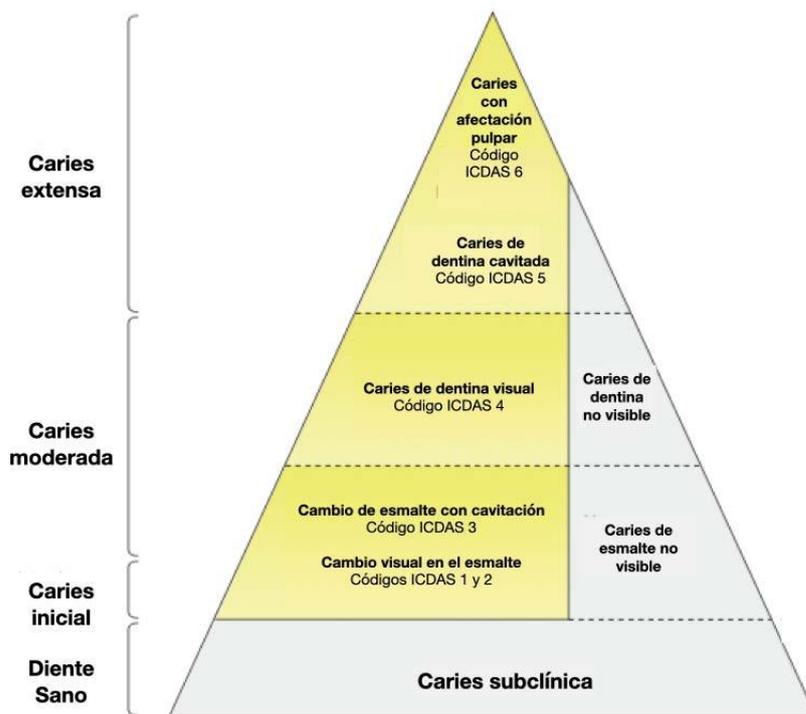


Figura 8. Diagrama de la metáfora del Iceberg de la caries dental. (Tomado de **Poza Pascual A., 2021**, modificado de **Pitts y cols., 2017**)

Otra escala que podemos utilizar es la de **Gorelick, Geiger y Gwinnett (1982)**, que realizan una evaluación visual de las superficies vestibulares de los dientes anteriores, premolares y primeros molares superiores e inferiores, bajo iluminación directa con una lámpara dental después de un ligero pulido con piedra pómez y secado durante 5 segundos. Los valores de la escala son: 0: sin mancha blanca visible o alteración de la superficie, 1: mancha blanca visible menor de un tercio de la superficie sin alteración de la superficie, 2: mancha blanca visible mayor de un tercio



de la superficie, cuya superficie esta rugosa pero no requiere restauración y 3: cavitación visible que requiere restauración.

Para tener un registro y evaluar la desmineralización antes, durante y después del tratamiento de ortodoncia usaremos las técnicas fotográficas y los escáneres intraorales. **(Benson, Pender y Higham, 2003)**

*B. Fluorescencia cuantitativa inducida por luz (QLF).*

Introducida en el año 1981 como la primera técnica de evaluación óptica, a parte de la radiología, que evaluaba, de una forma no destructiva, la fluorescencia de la lesión de caries bajo irradiación con luz láser azul con una longitud de onda de 488 nm. La pérdida de fluorescencia detectada por QLF puede visualizarse como una imagen, y a partir de dichas imágenes es posible cuantificar las características físicas de la caries. **(Kim BI, 2019)**

*C. La fluorescencia inducida por luz (DIAGNOdent™).*

Fue un método desarrollado en la década de los 1990 cuando se demostró que la caries emitía fluorescencia cuando se activa con luz roja a una longitud de onda cercana a los 650nm, ya que a esa longitud de onda se activa la fluorescencia de las porfirinas bacterianas. No produce una imagen del diente, sino que realiza una lectura que es una indicación de la pérdida de mineralización (Tabla 1). **(Neuhaus y Lussi, 2019)** Es un método diagnostico fiable para el diagnóstico de mancha blanca in vitro e in vivo. **(Wang y cols., 2021)**

Tabla 1. Valores de referencia de DIAGNOdent™. **(Neuhaus y Lussi, 2019)**

|                           | <i>DIAGNOdent™ punta oclusal</i> | <i>DIAGNOdent™ punta proximal</i> |
|---------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|
| <i>Tejido sano</i>        | 0-12 (0-6)*                      | 0-7 (0-6)                         |
| <i>Esmalte con caries</i> | 13-25 (6-17)                     | 8-16 (7-15)                       |
| <i>Dentina con caries</i> | >25 (>17)                        | >16 (>15)                         |

\*Los valores entre paréntesis son para medidas in vitro y los que no están entre paréntesis para medidas in vivo.



#### *D. Transiluminación por fibra óptica (FOTI).*

La transiluminación permite detectar diferencias en las propiedades ópticas de los tejidos sanos y enfermos mediante el uso de una luz blanca de alta intensidad dirigida tangencialmente (perpendicularmente) a la superficie que se quiere observar. Al incidir la luz en una zona porosa o con cambio de color se produce una alteración en la dispersión de la luz que hace que las zonas alteradas aparezcan oscuras (gris en esmalte y marrón anaranjado o azulado en dentina) y las sanas claras. La técnica FOTI en los diferentes estudios tiene una sensibilidad y especificidad muy variables, ya que depende mucho de la experiencia del operador. Para evitar esa subjetividad surgió la transiluminación de fibra óptica digital (DIFOTI), que utiliza un sensor CCD para sustituir al ojo humano. Una cámara transforma las imágenes en escala de grises y el sistema permite capturar las imágenes y almacenarlas para poder seguir la evolución de las lesiones. Recientemente se ha incorporado el uso de luz infrarroja cercana a la tecnología DIFOTI para conseguir una mayor penetración de la luz y reducir el número de falsos positivos en el diagnóstico de caries. **(Hogan, Pretty y Ellwood, 2019)**

### **3.4 MEDIDAS PREVENTIVAS FRENTE A LA MANCHA BLANCA**

En la actualidad la odontología tiene un enfoque preventivo que debe de comenzar educando y motivando al paciente para que siga una dieta no cariogénica y una correcta higiene oral **(Kozak, Sękowska y Chałas, 2020)**. La medida preventiva más importante frente a la mancha blanca, además de lo anterior, es disminuir el riesgo de desmineralización aumentando la resistencia del esmalte frente a los ataques de los ácidos. **(Sudjalim y cols., 2007)**. Se utilizan dos tipos de materiales, aquellos que requieren cooperación por parte del paciente y los que no requieren su cooperación:

#### 3.4.1 Materiales que requieren cooperación por parte del paciente

Dentífricos y colutorios en los que el fluoruro sea el agente principal. Las concentraciones de F<sup>-</sup> que se deben recomendar comúnmente son de 1500 ppm



para las pastas dentales y 225 ppm para los enjuagues bucales. **(Benson y cols., 2004; Rugg-Gunn y Bánóczy, 2013)** No obstante, existen pastas con unas concentraciones de flúor mayores (5000 ppm) como Clinpro™ 5000 (3M ESPE), Sumaré (SP, Brasil) o Duraphat (Colgate-Palmolive, Piscataway, Nueva Jersey, EE. UU.), que estarían indicadas en casos muy específicos de dificultad para controlar la higiene oral. **(Noronha y cols., 2016)**

Algunas pastas dentífricas que contienen fosfopéptido de caseína-fosfato de calcio amorfo CPP-ACP (GC Tooth Mousse) también son efectivas frente a la desmineralización provocada por los tratamientos de ortodoncia fija. **(Indrapriyadharshini y cols., 2018)** No se pueden usar en pacientes alérgicos a la proteína de la leche de vaca.

También es importante el uso de la clorhexidina ya que se ha demostrado que reduce la carga bacteriana hasta un 40% a una concentración de 0.2 % y disminuye los recuentos de *Streptococcus Mutans*. **(Khoroushi y Kachuie, 2017)**

#### 3.4.2 Materiales que no requieren cooperación por parte del paciente (uso en clínica)

*Barniz de flúor.* Se aplica directamente sobre esmalte limpio y seco dejándose actuar durante un minuto. Libera flúor durante, al menos, 1 mes. Las marcas comerciales más usadas en España son Profluorid (5%NaF; 22.600ppm F<sup>-</sup>), Duraphat (5%NaF; 22.600ppm F<sup>-</sup>), Clinpro White Varnish (5% NaF+ fosfato tricálcico; 22.600ppm F<sup>-</sup>), Bifluorid 10 (5% NaF y 5% CaF<sub>2</sub>; 22.600ppm F<sup>-</sup>). **Salamara y cols. (2020)**, detectaron una reducción de lesiones de mancha blanca en un 62 % con la aplicación de barniz de flúor de 22.600 ppm F<sup>-</sup> (Clinpro White Varnish, 3M Espe) tras 16 semanas de tratamiento de ortodoncia. **Sardana y cols. (2019)** en una revisión sistemática con metaanálisis detectaron que la aplicación profesional de fluoruro producía una reducción del 25-30 % en la incidencia de manchas blancas después del descementado. **Sonesson y Twetman (2023)** mostraron que, con certeza de evidencia muy baja, el barniz de fluoruro puede prevenir el desarrollo de lesiones de mancha blanca cuando se aplica de forma regular durante el tratamiento de



ortodoncia. Aunque el barniz de fluoruro solo no parece efectivo, se necesita el uso diario de colutorio de fluoruro o pasta con alto contenido en fluoruro. **(Babadi Oregani y cols., 2022)**

*Barniz de ionómero de vidrio.* Clinpro XT Varnish (3M ESPE) es un barniz que contiene ionómero de vidrio modificado con resina fotopolimerizable que libera calcio, fosfato y flúor durante más de 6 meses. **Jain y cols. (2019)** registraron un aumento de la microdureza del esmalte y una mayor liberación de iones calcio y fosforo tras 4 semanas de su utilización.

*El sellador de esmalte Tiefenfluorid® (Humanchemie GmbH, Alfeld, Germany).* contiene silicato de fluoruro de magnesio, silicato de fluoruro de cobre, fluoruro sódico e hidróxido de calcio, con una concentración de 43.350 ppm F<sup>-</sup>. El mecanismo de acción de Tiefenfluorid® es complejo; implica el uso de dos soluciones diferentes, la primera penetra en los espacios interprismáticos del esmalte, mientras que la segunda solución, que consiste en Ca(OH)<sub>2</sub>, reacciona con los fluoruros en los espacios interprismáticos del esmalte. El resultado es la formación de cristales muy pequeños de fluoruro de calcio (CaF<sub>2</sub>), fluoruro de magnesio (MgF<sub>2</sub>), hidroxifluoruro de cobre (CuOHF) y gel de silicato. Favorece la formación de fluorhidroxiapatita. Se produce una fluoración profunda porque los cristales de CaF<sub>2</sub> tienen un tamaño de solo 50 Å. Gracias al cobre tiene poder bactericida que ayuda a la supresión del biofilm sobre la superficie del esmalte. **(Khachatryan y cols., 2022)**

*Láser.* Desde 1980 se ha demostrado que el láser puede modificar la estructura superficial del esmalte dentario. Cuando la luz del láser entra en contacto con la superficie dentaria, se produce un aumento superficial de la temperatura. La luz actúa sobre el agua y la hidroxiapatita, reduce la cantidad de agua y modifica la estructura de la hidroxiapatita, provocando un aumento de iones fosfato y calcio y una reducción de los iones carbonato. Se reduce la permeabilidad tisular y, con ello, la penetración de los ácidos en el esmalte. La pérdida de iones carbonato en la hidroxiapatita también produce un aumento del grado de cristalinidad del esmalte mejorando sus propiedades. **(Belcheva y Shindova, 2022)** Se ha utilizado el láser de argón, láser de CO<sub>2</sub>, láser de neodimio dopado con ytrio-aluminio-granate (Nd:YAG) y láser Optodan®. Salvo para el láser de argón, que se usa para polimerizar



el adhesivo con el que se cementan los brackets, el efecto preventivo sobre la desmineralización alrededor de los Brackets es similar entre ellos. **(Raghis, Mahmoud y Hamadah, 2018)**

*Selladores y adhesivos.* Recubren la superficie del diente sin la necesidad de la cooperación del paciente. Pueden ser usados antes, durante o después de la colocación de los aparatos fijos. Su mecanismo de acción es crear una barrera para evitar la acción de los ácidos bacterianos y, en algunos materiales, liberar fluoruro **(Kamber y cols., 2021)**. Existe evidencia, aunque no de alto grado, sobre su eficacia en la prevención de las lesiones de mancha blanca post-ortodóncicas frente a controles no tratados. **(Sardana y cols., 2019b; Tasios y cols., 2019)**

Aún no se ha establecido un “gold estándar” en la estrategia de prevención de las lesiones de mancha blancas provocadas por los tratamientos de ortodoncia fijos. Basándonos en un número muy limitado de estudios podemos pensar que el uso de adhesivos/selladores liberadores de flúor sería eficaz. Además, no hay evidencia que respalde que los selladores o materiales adhesivos que liberan flúor sean más efectivos que los que no liberan flúor. **(Kamber y col., 20219)**

El sistema adhesivo para cementar brackets basado en ionómero de vidrio modificado con resina Opal™ Seal™/ Opal™ Bond™ MV (Ultradent, South Jordan, Utah, USA) consta de dos productos. Opal™ Seal™ es un imprimador que contiene un 38% de relleno de ionómero de vidrio y nanorelleno para darle mayor resistencia mecánica. Opal™ Bond™ es un cemento de resina para adherir los brackets a la superficie del esmalte. Presenta fluorescencia y fluoresce ante una luz ultravioleta negra, lo que permite monitorizar la presencia del primer/sellador sobre la superficie en clínica y poder colocar de nuevo el sellador en aquellas zonas donde haya desaparecido. Libera flúor y es capaz de recargarse de flúor procedente del medio oral. **(Comert y Oz, 2020)**

Hay muy pocos estudios que hayan evaluado el potencial del sistema Opal™ Seal™/ Opal™ Bond™ MV en la prevención de las manchas blancas provocadas por los aparatos de ortodoncia fijos y en la remineralización del esmalte desmineralizado alrededor del bracket.



# 4 HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

## **4.1 HIPÓTESIS NULA**

El uso del sistema adhesivo para cementar brackets basado en ionómero de vidrio modificado con resina Opal™ Seal™/ Opal™ Bond™ MV no funciona mejor que el sistema adhesivo de resina Transbond™ XT en la prevención de manchas blancas, en la adhesión de los brackets y en la remineralización del esmalte desmineralizado alrededor del bracket.

## **4.2 OBJETIVO PRINCIPAL:**

Estudiar la resistencia a las fuerzas de cizalla y el potencial preventivo y remineralizante del sistema adhesivo para cementar brackets basado en ionómero de vidrio modificado con resina Opal™ Seal™/ Opal™ Bond™ MV y compararlo con el sistema Transbond™ XT.



### 4.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

*Objetivo 1.* Determinar la resistencia a las fuerzas de cizalla del sistema Opal™ Seal™ / Opal™ Bond™ MV en la adhesión de brackets de ortodoncia a esmalte intacto y desmineralizado y compararla con la del sistema adhesivo tradicional Transbond™ XT.

*Objetivo 2.* Medir, a lo largo de 12 semanas, la resistencia a la desmineralización, provocada por un ataque ácido, del esmalte alrededor de brackets cementados con el uso de dos sistemas adhesivos, Opal™ Seal™ / Opal™ Bond™ MV y Transbond™ XT.

*Objetivo 3.* Medir el potencial remineralizante del sistema adhesivo para cementar brackets basado en ionómero de vidrio modificado con resina Opal™ Seal™ / Opal™ Bond™ MV y compararlo con el del sistema adhesivo Transbond™ XT.

*Objetivo 4.* Calcular el índice de adhesivo remanente (ARI) tras el descementado de los Brackets adheridos con el sistema adhesivo Opal™ Seal™ / Opal™ Bond™ MV y compararlo con el sistema tradicional Transbond™ XT.



# 5 MATERIAL Y MÉTODOS

El proyecto de investigación fue aprobado por el comité de bioseguridad en la investigación de la Universidad de Murcia (CBE 511/2022) (Anexo 1).

## 5.1 DIENTES

Para realizar este estudio hemos utilizado 80 incisivos centrales superiores bovinos (11 y 21) pertenecientes a animales con una edad inferior a 1 año, debido a la similitud que presentan con el esmalte humano (**Teruel y cols., 2015**), procedentes del matadero industrial El Cabezo De La Plata SL. (30164-Cabezo de la Plata, Murcia), cuya superficie vestibular no presentó fracturas o defectos provocados por la extracción.



Tras la extracción, se limpiaron los dientes de restos orgánicos, se lavaron y se introdujeron en Timol al 0.1%. A las 24 horas los dientes se lavaron y sus raíces se eliminaron usando un disco de diamante (Komet Dental, Gebr. Brasseler GmbH & Co. KG, Lemgo, Germany) montado en una pieza de mano y con abundante refrigeración acuosa. Se almacenaron en agua destilada, que se cambió diariamente con el fin de minimizar el deterioro, hasta el momento de su uso. Los dientes se utilizaron dentro de un período no superior a 6 meses tras su extracción siguiendo la norma ISO TS 11405:2003. Antes de la asignación aleatoria a los grupos experimentales, las superficies vestibulares de todos los dientes se limpiaron con una copa de goma (Rubber polishing caps, Produits Dentaires SA, Vevey, Suiza) montada en un contraángulo (KaVo, INTRAcompact 2068CHC, Biberach, Alemania) bajo refrigeración acuosa.

## 5.2 GRUPOS EXPERIMENTALES

Los dientes se dividieron aleatoriamente, con una lista de números aleatorios generados por la aplicación Microsoft® Excell (v. 16.29.1), en 4 grupos (Figura 9):

- Grupo 1 (n=20): Esmalte desmineralizado con el sistema adhesivo Opal™ Seal™/ Opal™ Bond™ MV
- Grupo 2 (n=20): Esmalte intacto con el sistema adhesivo Opal™ Seal™/ Opal™ Bond™ MV
- Grupo 3 (n=20): Esmalte desmineralizado con el sistema adhesivo Transbond™ XT.
- Grupo 4 (n=20): Esmalte intacto con el sistema adhesivo Transbond™ XT.

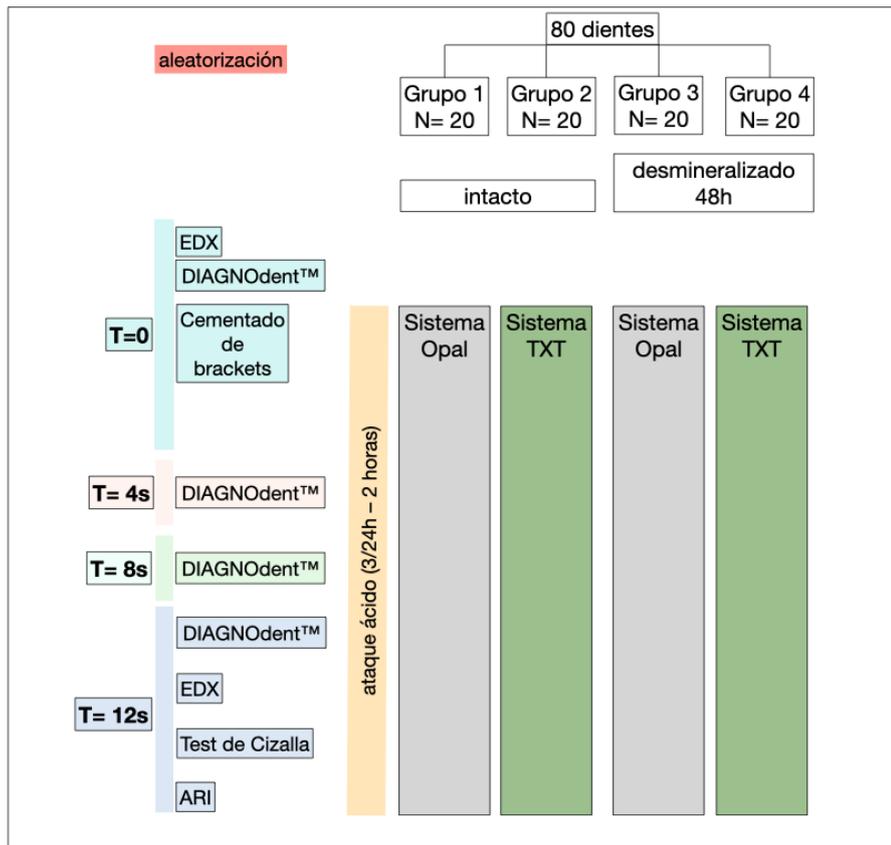


Figura 9. Diagrama de flujo del estudio.

### 5.3 PROCESO DE DESMINERALIZACIÓN

Los dientes de los grupos 1 y 3 se sometieron a un proceso de desmineralización. Este se llevó a cabo introduciendo los dientes en una solución durante 48 horas a temperatura ambiente. La composición de la solución desmineralizante fue la siguiente: Cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) 2.2 mM, Fosfato monosódico ( $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) 2.2 mM, Ácido láctico 0.05 mM; cuyo pH fue ajustado a 4.5 con Hidróxido Sódico (NaOH) al 50%. La acidez titulable fue del 0.04%. **(Patil y cols., 2013; Vicente y cols., 2017)**

Tras las 48 horas se introdujeron durante 1 hora en un aparato de ultrasonidos (Biosonic UC-50d, Coltene/Whaledent, Inc., Altstätten, Suiza) para eliminar los restos producto de la desmineralización que pudiesen interferir en la adhesión.



## 5.4 PROCEDIMIENTO DE CEMENTACIÓN DE BRACKETS

Se utilizaron 80 brackets de incisivos centrales superiores de slot .018" (Leone S.p.a., Florencia, Italia), que se cementaron en las superficies vestibulares con los dos sistemas (la composición de los materiales utilizados viene recogida en la Tabla 2):

- *Sistema Opal™ Seal™/ Opal™ Bond™ MV* (South Jordan, UT, Estados Unidos).

Se aplicó en los grupos 1 y 2. Las superficies vestibulares de los incisivos se secaron con aire comprimido seco y se grabaron con ácido ortofosfórico al 37% (Dentaflux, Madrid, España) durante 15 segundos. Se lavaron con abundante agua en espray durante 20 segundos y se secaron hasta alcanzar la superficie un color blanco mate. Se pinceló el adhesivo Opal™ Seal™ con un aplicador desechable sobre toda la cara vestibular del diente durante 20 segundos, se eliminó el disolvente con aire comprimido seco y se polimerizó durante 20 segundos con la lámpara LED SmartLite (Dentsply, Carolina del Norte, EEUU) a 1250 W/cm<sup>2</sup>.

A continuación, se colocó composite Opal® Bond™ MV en la cara interna del bracket (Leone S.p.a., Florencia, Italia) y se cementó en el centro de la cara vestibular. Se eliminó el sobrante con una sonda y posteriormente se polimerizó durante 20 segundos en cada cara (mesial, distal, cervical, incisal) con la lámpara LED SmartLite (Dentsply, Carolina del Norte, EEUU) a 1250 W/cm<sup>2</sup>.

- *Sistema Transbond™ XT* (formado por Unitek™ Transbond™ XT Primer + Unitek™ Transbond™ XT Light Cure Adhesive; 3M Uniket, Minnesota, Estados Unidos)

Se aplicó en los grupos 3 y 4. Las superficies vestibulares de los incisivos se secaron con aire comprimido seco y se grabaron con ácido ortofosfórico al 37% (Dentaflux, Madrid, España) durante 15 segundos. Se lavaron con abundante agua en espray durante 20 segundos y se secaron hasta alcanzar la superficie un color blanco mate. Se pinceló el Unitek™ Transbond™ XT Primer con un aplicador desechable sobre toda la cara vestibular del diente



durante 20 segundos, se eliminó el disolvente con aire comprimido seco y se polimerizó durante 20 segundos con la lámpara LED SmartLite (Dentsply, Carolina del Norte, EEUU) a 1250 W/cm<sup>2</sup>.

A continuación, se colocó composite Unitek™ Transbond™ XT Light Cure Adhesive en la cara interna del bracket (Leone S.p.a., Florencia, Italia) y se cementó en el centro de la cara vestibular. Se eliminó el sobrante con una sonda y posteriormente se polimerizó durante 20 segundos en cada cara (mesial, distal, cervical, incisal) con la lámpara LED SmartLite (Dentsply, Carolina del Norte, EEUU) a 1250 W/cm<sup>2</sup>.

Los dientes con los Brackets cementados se introdujeron en saliva artificial a 37°C en una estufa (Incubat, JP Selecta, Abrera, Barcelona, España). La saliva se renovó cada 48 horas hasta el momento del ensayo de resistencia a las fuerzas de cizalla. La composición de la saliva artificial fue: Carmelosa Sódica 1%, sorbitol 13%, cloruro potásico 0.12%, cloruro sódico 0.084%, cloruro magnésico hexahidrato 0.005%, cloruro cálcico anhidro 0.015%, fosfato potásico dibásico 0.017% y Nipagín sódico 0.1%. El pH de la saliva fue ajustado a 6,57. **(Oncag, Tuncer y Tosun, 2005)**

Tabla 2. Composición de los materiales usados para la cementación de Brackets.

| <b>Producto</b>    | <b>Composición</b>  | <b>% en peso</b>                     |
|--------------------|---|--------------------------------------|
| <i>Dentaflux</i>   | <ul style="list-style-type: none"><li>• Ácido ortofosfórico</li><li>• Excipientes</li></ul>                                       | 37%<br><br>Hasta el 100%             |
| <i>Opal™ Seal™</i> | <ul style="list-style-type: none"><li>• Hidroxipropil metacrilato</li><li>• Alcohol Etilico</li><li>• Ácido Metacrílico</li></ul> | 10–25%<br><br>2.5–10%<br><br>2.5–10% |



|                                     |  |   |
|-------------------------------------|--|---|
|                                     | <ul style="list-style-type: none"><li>• Silano</li><li>• Compuesto secreto</li><li>• Óxido de organofósforo</li><li>• Bis-GMA</li><li>• HEMA</li><li>• Partículas de ionómero de vidrio y nanorrelleno</li></ul> | <p>0-10%</p> <p>≤2.5%</p> <p>≤2.5%</p> <p>&lt; 30%</p> <p>&lt; 15%</p> <p>38%</p>                         |
| <i>Opal® Bond™ MV</i>               | <ul style="list-style-type: none"><li>• UDMA</li><li>• Óxido de aluminio</li><li>• Vidrio de sílice</li><li>• TEGDMA</li><li>• 2-HEMA</li><li>• Bis EMA</li><li>• Metacrilato de acetoacetoxietilo</li></ul>     | <p>2.5-10%</p> <p>2.5-10%</p> <p>2.5-10%</p> <p>&lt;2.5%</p> <p>0-2.5%</p> <p>&lt;15%</p> <p>&lt; 20%</p> |
| <i>Unitek™ Transbond™ XT Primer</i> | <ul style="list-style-type: none"><li>• BisGMA</li><li>• TEGDMA</li></ul>  | <p>45-55%</p> <p>45-55%</p>   |



|  |  |  |
|--|--|--|
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• 4-Dimetilamino Bencenoetanol</li> <li>• Trifenilantimonio</li> <li>• Hidroquinona</li> </ul>  | <p>&lt;0.5%</p> <p>&lt;1%</p> <p>&lt;0,03%</p>                                     |
| <i>Unitek™ Transbond™ XT Light Cure Adhesive</i> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bis-GMA</li> <li>• Bisfenol A Dimetacrilato</li> <li>• Cuarzo silanizado</li> <li>• Sílice silanizado</li> <li>• Hexafluorofosfato de Difeniliodonio</li> <li>• Trifenil antimonio</li> </ul> | <p>10-20%</p> <p>5-10%</p> <p>70-80%</p> <p>&lt;2%</p> <p>&lt;1%</p> <p>&lt;1%</p> |

Bis-GMA: Éter de Bisfenol A Diglicidil Dimetacrilato; HEMA: Hidroxipropil Metacrilamida; UDMA: Dimetacrilato de Uretano; TEGDMA: Dimetacrilato de Trietilenglicol; 2-HEMA: 2-Hidroxietil metacrilato; Bis-EMA: 2,2-bis[4-(2-ethoxy-3-methacryloyloxy propoxy)phenyl]propane

## 5.5 ATAQUE ÁCIDO

Tres veces al día los dientes con los brackets cementados se sometieron a ciclos de ataque ácido de dos horas de duración, usando una solución con la misma composición que la usada para la desmineralización. Las muestras se extraían de la saliva artificial, se lavaban con agua destilada, se introducían en la solución

desmineralizante y a las dos horas se lavaban con agua destilada y se volvían a introducir en la saliva artificial hasta el siguiente ciclo. **(Vicente y cols., 2017)**

## 5.6 ESPECTROMETRÍA POR DISPERSIÓN DE ENERGÍA DE RAYOS-X (EDX)

En los tiempos 0 (antes de cementar los Brackets) y 12 semanas después (tras el descementado), se realizó un microanálisis semicuantitativo de los elementos químicos del esmalte vestibular de los incisivos. Para ello se utilizó un analizador por energías dispersivas de rayos X (AXS Microanalysis XFlash 3001, Bruker Co., Massachusetts, Estados Unidos) operando a 15kV, 50A y 15 mm de distancia de trabajo. El analizador estaba acoplado a un microscopio electrónico de barrido (S3500N, Hitachi High Tech Co., Tokyo, Japón).

Los dientes se lavaron con agua destilada en espray, se secaron y dejaron 24 horas a temperatura ambiente. Se colocaron en platinas para ser introducidas en el microscopio electrónico de barrido.

Sobre la cara vestibular de cada diente se seleccionaron 4 áreas circulares en zonas correspondientes a mesial, distal, incisal y gingival de los brackets, tanto antes de su cementación, como tras la descementación (Figura 10). Las medidas se tomaron a 15 Kv, a 50 A y un aumento de x100 (Figura 11).

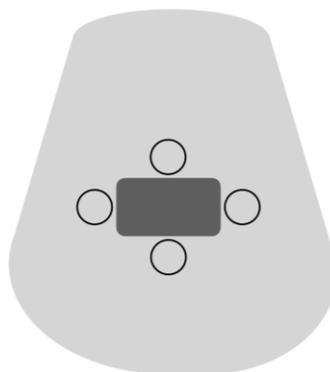


Figura 10. 4 zonas donde se realizan las medidas del EDX.

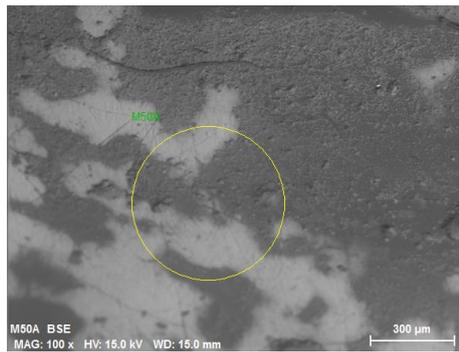


Figura 11. Área circular sobre el esmalte seleccionada para medir la composición por EDX.

## 5.7 TEST DE RESISTENCIA A LAS FUERZAS DE CIZALLA

El test de resistencia a las fuerzas de cizalla se realizó a las 12 semanas del cementado de los brackets. Para ello, los incisivos se montaron en cilindros de 3 cm de diámetro interno y 4 cm de altura sumergiendo sus raíces en yeso tipo IV.

Cuando el yeso fraguó se realizó el test de resistencia a las fuerzas de cizalla en una máquina de ensayos AGS-1 KND (Schimadzu, Japan). Para ello los cilindros se montaron verticalmente y la fuerza se ejerció en sentido inciso-cervical y de forma perpendicular a la interfase Brackets–superficie dentaria con un vástago de acero con una terminación en bisel de 30º, con una célula de carga de 1KN y una velocidad de la cabeza de 1 mm/min (ISO TS 11405:2003). La fuerza que se necesitó para producir el despegamiento del brackets se registró en Newton (N) y, posteriormente, se transformó en Megapascales (MPa) al dividirla por la superficie de adhesión, de acuerdo con la fórmula:  $Mpa=N/12.66$  (superficie del bracket en  $mm^2$ ).

Para obtener la superficie del Brackets se midieron 10 brackets utilizando una cámara de video Sony DXC 151AP conectada a un microscopio Olympus SZ11 y el programa de análisis de imagen MIP 4 (Microm Image Processing Software. Digital Image Systems, Barcelona, Spain), a una magnificación de 5x (Figura 12). Se utilizó el valor medio de las 10 medidas ( $12.66 mm^2$ ).

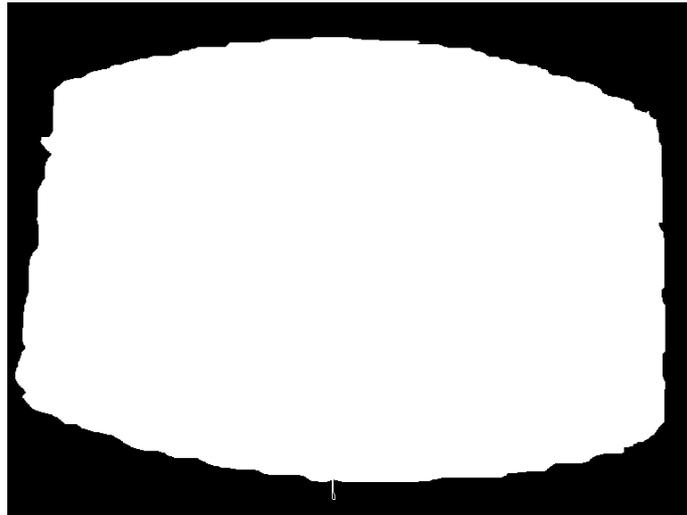


Figura 12. Imagen de la superficie de un bracket obtenida a través del programa MIP4.

## 5.8 PORCENTAJE DE ADHESIVO REMANENTE

Para calcular el porcentaje de adhesivo que quedó en la superficie del esmalte tras el despegado se utilizó una cámara de video Sony DXC 151AP conectada a un microscopio Olympus SZ11 y el programa de análisis de imagen MIP 4 (Microm Image Processing Software. Digital Image Systems, Barcelona, Spain), a una magnificación de 5x.

Con el software se midió la superficie de la base del bracket que estaba ocupada por el adhesivo (Figura 13 A y B) y se restó del 100%, para determinar el porcentaje de adhesivo que quedó adherido al esmalte tras la descementación. Las medidas fueron realizadas por dos observadores ciegos a los grupos (I.M.; E.F.), obteniéndose un coeficiente de correlación de concordancia de 0.95 (**O'Brien K D, Watts D C, Read M J F, 1988**). El valor finalmente utilizado fue la media de los valores obtenidos por ambos observadores.

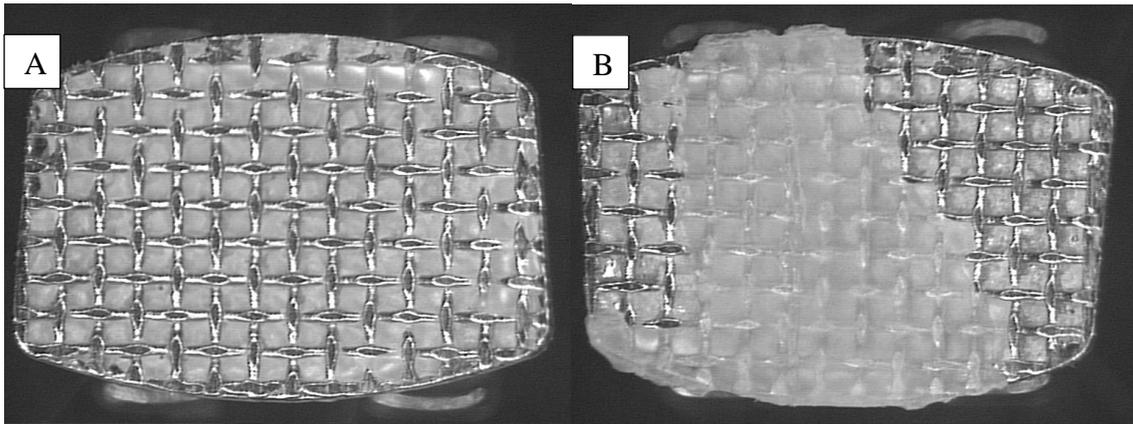


Figura 13. Base del bracket tras la descementación. En la figura 13A todo el cemento ha quedado en el esmalte. En la figura 13B parte del cemento permanece en la base del bracket.

## 5.9 DIAGNOdent™

(Kavo, Biberach an der Riss, Alemania)

Se evaluó el grado de mineralización de la cara vestibular del esmalte donde se cementaron los brackets en los tiempos T0 (antes de la cementación), T4s (4 semanas tras la cementación), T8s (8 semanas tras la cementación) y T12s (12 semanas tras la cementación).

Las medidas se realizaron siguiendo las instrucciones del fabricante. Se eligió la sonda de superficies libres (sonda número 2) y se calibró. Se secó la superficie vestibular con un chorro de aire comprimido seco y se colocó la punta de la sonda en una posición perpendicular al eje longitudinal de la cara vestibular del diente. Se seleccionaron tres puntos situados en cervical, ángulo derecho e izquierdo de la posición de los Brackets (Figura 14). Se realizó una media aritmética de las tres mediciones. Los valores de referencia según el fabricante fueron: 0-7 Diente sano, 7-16 Caries en Esmalte, > 16 caries en dentina.

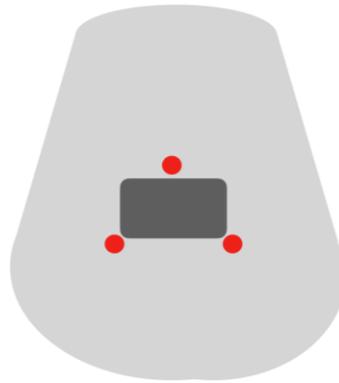


Figura 14. Posición de los puntos donde se midió el grado de mineralización con DIAGNOdent™.

## 5.10 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para realizar el estudio estadístico se ha utilizado el software Jamovi (v. 2.3.21) (**The jamovi project, 2022**). Se realizó un estudio descriptivo de todas las variables. Para determinar si los grupos cumplían los supuestos se hemos utilizado la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk y la Prueba de Levene para homogeneidad de varianzas. Se consideró estadísticamente significativo con una  $p < 0,05$ .

Resistencia a las fuerzas de cizalla. Para estudiar el comportamiento de la resistencia a las fuerzas de cizalla se realizó un ANOVA de dos factores (material y tipo de esmalte) con estudio de la interacción. Además, para determinar las diferencias dos a dos dentro de cada factor se aplicó el test de Tukey.

Porcentaje de adhesivo remanente. Los valores del porcentaje de adhesivo remanente no cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. Por ello se utilizó el test de Kruskal-Wallis junto con el test de Dwass-Steel-Critchlow-Fligner para determinar las diferencias entre grupos. Además, se realizó un ANOVA de dos factores (material y tipo de esmalte) con estudio de la interacción.

DIAGNOdent™. Los valores de DIAGNOdent™ no cumplieron con los supuestos de normalidad y homocedasticidad. Para estudiar el comportamiento de los grupos en



los cuatro tiempos (T0, T4s, T8s y T12s) se usó el test de Friedman (ANOVA para medidas repetidas no paramétricas) junto con el test de Durbin-Conover para determinar las diferencias dos a dos. Además, se realizó un ANOVA factorial, considerando los tres factores (material, tipo de esmalte y tiempo), con estudio de la interacción entre ellos. Las diferencias dentro de un mismo factor se determinaron con el test de Tukey.

Las comparaciones entre los dos grupos de distinto material, en el mismo sustrato y en el mismo tiempo se realizó usando una T-test cuando se cumplieron los supuestos y el test de Mann-Whitney cuando no.

Composición elemental (EDX). Los valores iniciales de todos los elementos fueron comparados con un test ANOVA. El efecto de la desmineralización del esmalte en los grupos Opal Seal/Opal Bond MV desmineralizado y Transbond XT desmineralizado fue estudiado con el T-test cuando se cumplieron los supuestos de normalidad y homocedasticidad y con el test de Mann-Whitney cuando no.



# 6 RESULTADOS

## 6.1 RESISTENCIA A LAS FUERZAS DE CIZALLA

El test ANOVA demostró un comportamiento significativamente diferente de los cuatro grupos en función del material (los cementados con Transbond XT presentaron valores de resistencia a las fuerzas de cizalla más altos que los grupos cementados con Opal Seal/Opal Bond MV;  $p < 0,001$ ) y en función del tipo de esmalte (los grupos de esmalte desmineralizado presentaron valores superiores a los de esmalte intacto;  $p = 0,001$ ).

Además, ambos factores presentaron una interacción significativa ( $p = 0,027$ ). El grupo Transbond XT desmineralizado presentó de forma significativa un valor medio de resistencia a las fuerzas de cizalla ( $13,19 \pm 5,44$  MPa) superior al grupo Opal Seal/Opal Bond MV desmineralizado ( $5,98 \pm 1,62$  MPa;  $p < 0,001$ ), al Opal



Seal/Opal Bond MV intacto ( $4,84 \pm 2,48$  MPa;  $p < 0,001$ ) y al Transbond XT intacto ( $7,59 \pm 4,12$  MPa;  $p < 0,001$ ) (Tabla 3; Figura 15)

Tabla 3. Resistencia a las fuerzas de cizalla (MPa)

| <b>Adhesivo</b>   | <b>Esmalte</b>  | <b>Media<math>\pm</math>DE</b>   | <b>Mediana</b> | <b>Mínimo</b> | <b>Máximo</b> |
|---|-----------------|----------------------------------|----------------|---------------|---------------|
| Opal Seal/Opal Bond MV  | Desmineralizado | 5.98 $\pm$ 1.62 <sup>&amp;</sup> | 6,63           | 3,96          | 8,92          |
|   | Intacto         | 4,84 $\pm$ 2,48 <sup>\$</sup>    | 4,36           | 2,31          | 11,40         |
| Transbond XT  | Desmineralizado | 13,19 $\pm$ 5,44                 | 13,28          | 5,41          | 28,29         |
|   | Intacto         | 7,59 $\pm$ 4,12 <sup>#</sup>     | 7,04           | 2,62          | 16,41         |
| <p><sup>&amp;</sup> <math>P &lt; 0,001</math>: Opal Seal/Opal Bond MV desmineralizado frente a TXT desmineralizado.</p> <p><sup>\$</sup> <math>p &lt; 0,001</math>: Opal Seal/Opal Bond MV intacto frente a Transbond XT desmineralizado.</p> <p><sup>#</sup> <math>p &lt; 0,001</math>: Transbond XT intacto frente a TXT desmineralizado.</p> |                 |                                  |                |               |               |

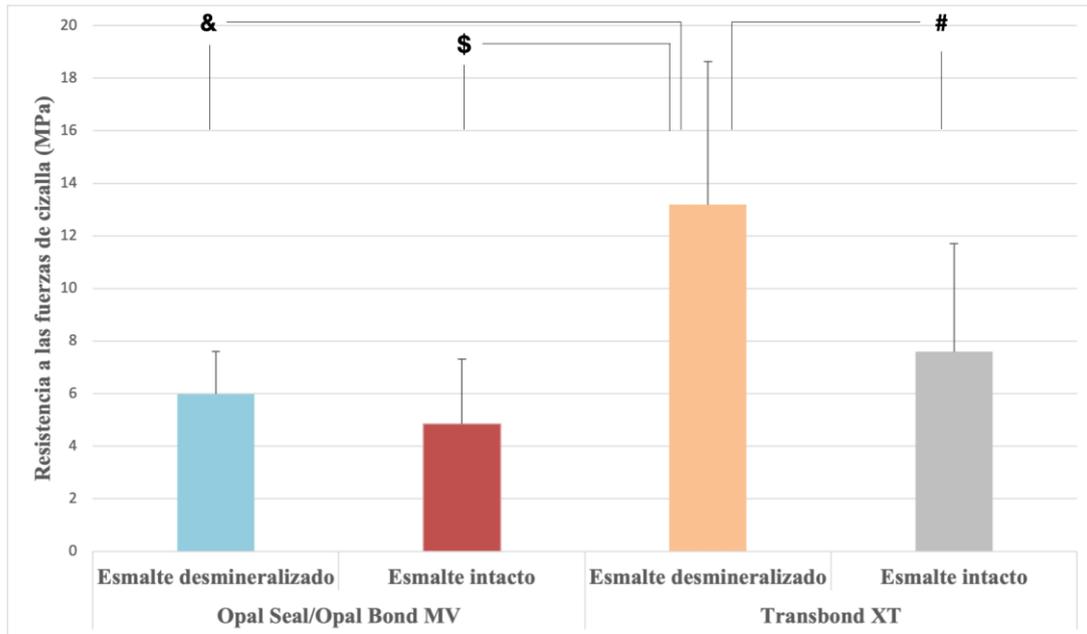


Figura 15. Valores de resistencia a las fuerzas de cizalla.

## 6.2 PORCENTAJE DE ADHESIVO REMANENTE

El mayor porcentaje de adhesivo remanente en la superficie del esmalte tras la descementación se encontró en el grupo Opal Seal/Opal Bond MV intacto ( $81,28 \pm 16,89$ ), que fue significativamente superior al del grupo Opal Seal/Opal Bond MV desmineralizado ( $37,11 \pm 37,01$ ;  $p < 0,001$ ) y grupo Transbond XT Intacto ( $44,08 \pm 35,92$ ;  $p = 0,002$ ) (Tabla 4; Figura 16)

En el análisis ANOVA factorial (material - tipo de esmalte) se observó una interacción significativa ( $p < 0,001$ ) entre ambos factores. Esto es, el comportamiento de los dos materiales fue diferente en función del sustrato. Así, mientras el Opal Seal/Opal Bond MV obtuvo mayor porcentaje de adhesivo remanente en el esmalte intacto el Transbond XT lo presentó en el esmalte desmineralizado.



Tabla 4. Porcentaje de adhesivo remanente (%)

| <b>Adhesivo</b>        | <b>Esmalte</b>  | <b>Media±DE</b> | <b>Mediana</b> | <b>Mínimo</b> | <b>Máximo</b> |
|------------------------|-----------------|-----------------|----------------|---------------|---------------|
| Opal Seal/Opal Bond MV | Desmineralizado | 37,11± 37,01    | 15,83          | 3,33          | 100,00        |
|                        | Intacto         | 81,28±16,89*+   | 83,07          | 45,00         | 100,00        |
| Transbond XT           | Desmineralizado | 62,14±27,90     | 66,66          | 4,00          | 100,00        |
|                        | Intacto         | 44,08±35,92     | 29,58          | 3,33          | 100,00        |

\* P<0,001: Opal Seal/Opal Bond MV desmineralizado frente a Opal Seal/Opal Bond MV Intacto. + p=0,002: Transbond XT intacto frente a Opal Seal/Opal Bond MV intacto

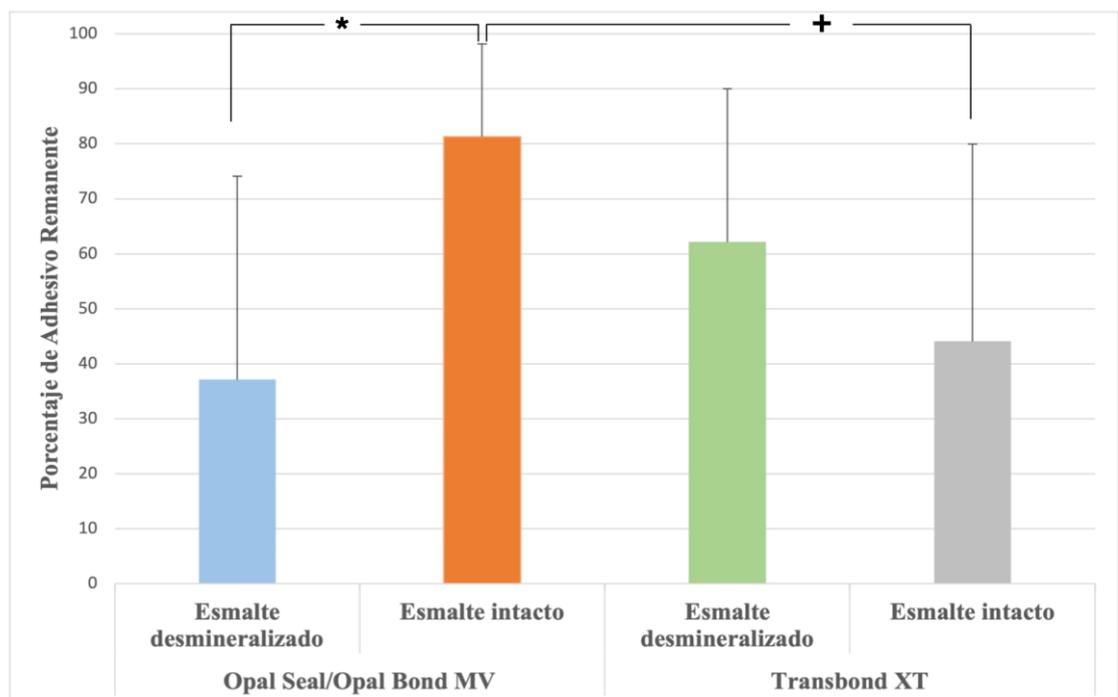


Figura 16. Porcentaje de adhesivo remanente.



### 6.3 DIAGNOdent™

Dentro de cada uno de los factores estudiados se detectaron diferencias significativas. Así, dentro del tipo de esmalte hubo un comportamiento diferente entre el esmalte intacto y el esmalte desmineralizado ( $p < 0.001$ ); dentro del tipo de material hubo un comportamiento diferente entre el Opal Seal/Opal Bond MV y el Transbond XT ( $p < 0.001$ ) y dentro del tiempo hubo un diferente comportamiento en cada uno de los cuatro tiempos (T0-T4s-T8s-T12s) ( $p < 0.001$ ) (Tabla 5; Figura 17).

Existió una interacción significativa entre los tres factores (tipo de esmalte\*material\*tiempo;  $p < 0.001$ ) y en todas las combinaciones dos a dos [(tipo de esmalte\*material;  $p < 0.001$ ); (tipo de esmalte\*tiempo;  $p < 0.001$ ); (material\*tiempo;  $p < 0.001$ )].

Dentro del grupo esmalte desmineralizado, el tratamiento con Opal Seal/Opal Bond MV produce una reducción progresiva a lo largo del tiempo de los valores, desde  $13,27 \pm 1,19$  en T0 hasta  $11,33 \pm 0,89$  ( $p < 0.001$ ) en T4s,  $8,25 \pm 0,85$  ( $p < 0.001$ ) en T8s y  $5,31 \pm 0,83$  ( $p < 0.001$ ) en T12s.

Con esmalte intacto el uso de Opal Seal/Opal Bond MV produce un incremento progresivo y significativo de los valores de DIAGNOdent™ a lo largo del tiempo, desde  $0,53 \pm 0,44$  en T0, hasta  $0,82 \pm 0,30$  ( $p = 0.021$ ) en T4s,  $0,95 \pm 0,44$  ( $p = 0.005$ ) en T8s y  $1,05 \pm 0,45$  ( $p < 0.001$ ) en T12s (Tabla 5; Figura 17).

El uso de Transbond XT en esmalte desmineralizado no modificó de forma significativa los valores de DIAGNOdent™ en ninguno de los tiempos del estudio ( $p = 0.983$ ): T0 ( $12,70 \pm 1,51$ ), T4s ( $12,87 \pm 1,27$ ), T8s ( $12,78 \pm 1,12$ ), T12s ( $12,77 \pm 0,99$ ). Tampoco los modificó en esmalte intacto ( $p = 0.443$ ): T0 ( $0,72 \pm 0,52$ ), T4s ( $0,77 \pm 0,42$ ), T8s ( $0,80 \pm 0,41$ ), T12s ( $0,87 \pm 0,38$ ) (Tabla 5; Figura 17).

Cuando comparamos los grupos dos a dos en el mismo tiempo, el grupo Transbond XT desmineralizado presentó valores significativamente superiores al grupo Opal Seal/Opal Bond MV desmineralizado ( $p < 0.001$ ).

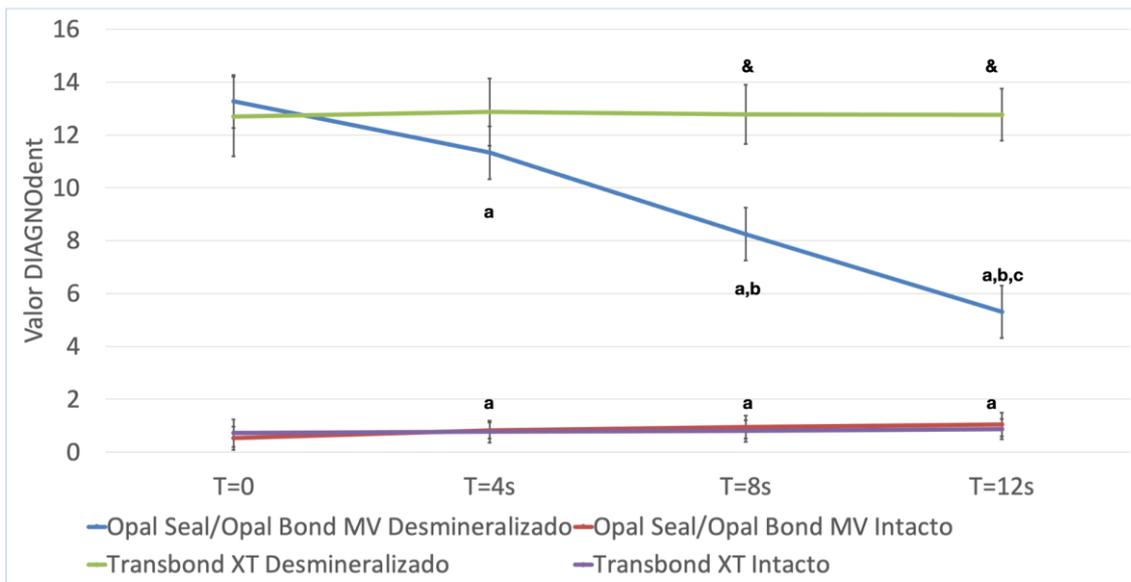


Figura 17: Evolución de los valores de DIAGNOdent™ a lo largo del tiempo de estudio.

Tabla 5. Evolución de los valores de DIAGNOdent™ a lo largo del tiempo de estudio.

| <b>Adhesivo</b>        | <b>Esmalte</b>  | <b>T=0</b> | <b>T=4s</b>            | <b>T=8s</b>            | <b>T=12s</b>           |
|------------------------|-----------------|------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Opal Seal/Opal Bond MV | Desmineralizado | 13,27±1,19 | 11,33±0,89<br>a        | 8,25±0,85<br>a,b       | 5,31±0,83<br>a,b,c     |
|                        | Intacto         | 0,53±0,44  | 0,82±0,30 <sup>a</sup> | 0,95±0,44 <sup>a</sup> | 1,05±0,45 <sup>a</sup> |
| Transbond XT           | Desmineralizado | 12,70±1,51 | 12,87±1,27             | 12,78±1,12<br>&        | 12,77±0,99<br>&        |
|                        | Intacto         | 0,72±0,52  | 0,77±0,42              | 0,80±0,41              | 0,87±0,38              |

a, vs T0; b, vs T4; c, vs T8.

&, p<0.001 Transbond XT desmineralizado frente a Opal Seal/Opal Bond MV desmineralizado



## 6.4 PRUEBA EDX

Los valores en T=0 de los elementos químicos y de la ratio calculada determinados en la superficie del esmalte no presentaron diferencias entre los distintos grupos (Tabla 6). En los grupos desmineralizados hubo una reducción significativa de los niveles de Calcio y de la ratio Ca/P y un incremento significativo de las concentraciones de C, Na y Cl.

Los valores obtenidos en T=12s no reflejan la composición del esmalte en este tiempo, sino que reflejan la composición de los materiales adhesivos. Así, los niveles de Ca, P, O se reducen, se incrementan las concentraciones de C, desaparece el Mg, Cl, N y el Na solo se encuentra en el grupo de Opal Seal/Opal Bond MV desmineralizado. Sin embargo, aparecen elementos químicos característicos de los materiales adhesivos como el Si en todos los grupos y el Al, Ba y F en los grupos cementados con Opal Seal/Opal Bond MV y Zn en el grupo Opal Seal/Opal Bond MV intacto.

Tabla 6. Valores de los elementos químicos detectados en la superficie del esmalte mediante EDX en los tiempos T=0, desmineralización y T=12s.

|    |             | Opal Seal/Opal Bond MV  |             | Transbond XT            |            |
|----|-------------|-------------------------|-------------|-------------------------|------------|
|    |             | Desmineraliza<br>do     | Intacto     | Desmineraliza<br>do     | Intacto    |
|    | T=0         | 41.83±10.12             | 42.17±10.14 | 44.18±8.67              | 44.54±9.98 |
| Ca | Desmi<br>n. | 36.36±4.34 <sup>@</sup> | –           | 35.65±3.31 <sup>@</sup> | –          |



|                   |         |            |            |             |             |
|-------------------|---------|------------|------------|-------------|-------------|
|                   | T=12s   | 7,45±7,09  | 5,42±7,10  | 21,02±11,77 | 13,02±10,78 |
|                   | T=0     | 14.90±2.36 | 14.30±2.65 | 15.23±1.69  | 14.94±1.72  |
| <b>P</b>          | Desmin. | 14.92±1.10 | -          | 14.93±0.92  | -           |
|                   | T=12s   | 3,90±2,53  | 2,28±1,19  | 9,16±2,76   | 5,36±2,81   |
| <b>Ratio Ca/P</b> | T=0     | 2.16±0.33  | 2.31±0.86  | 2.23±0.43   | 2.32±0.57   |
|                   | Desmin. | 1.88±0.13@ |            | 1.85±0.08@  |             |
|                   | T=0     | 5.01±3.11  | 6.22±2.89  | 5.87±3.00   | 5.00±1.91   |
| <b>C</b>          | Desmin. | 9.48±3.51@ | -          | 10.35±3.03@ | -           |
|                   | T=12s   | 25,40±3,13 | 25,15±3,20 | 35,06±8,85  | 47,22±7,47  |
|                   | T=0     | 33.92±9.18 | 35.52±9.64 | 35.29±11.00 | 34.68±10.51 |
| <b>O</b>          | Desmin. | 37.85±6.22 | -          | 37.71±4.42  | -           |
|                   | T=12s   | 32,55±6,02 | 31,10±6,14 | 29,86±4,72  | 28,37±4,42  |
|                   | T=0     | 0.25±0.16  | 0.30±0.11  | 0.27±0.13   | 0.31±0.10   |
| <b>Mg</b>         | Desmin. | 0.23±0.08  | -          | 0.28±0.08   | -           |



|           |             |                        |            |                        |           |
|-----------|-------------|------------------------|------------|------------------------|-----------|
|           | T=12s       | -                      | -          | -                      | -         |
|           | T=0         | 0.38±0.20              | 0.44±0.19  | 0.42±0.20              | 0.43±0.21 |
| <b>Na</b> | Desmi<br>n. | 0.60±0.22 <sup>@</sup> | -          | 0.75±0.28 <sup>@</sup> | -         |
|           | T=12s       | 0,39±0,17              | -          | -                      | -         |
|           | T=0         | 0.27±0.07              | 0.28±0.05  | 0.27±0.05              | 0.28±0.05 |
| <b>Cl</b> | Desmi<br>n. | 0.34±0.06 <sup>@</sup> | -          | 0.32±0.06 <sup>@</sup> | -         |
|           | T=12s       | -                      | -          | -                      | -         |
|           | T=0         | -                      | 2.30±2.00  | -                      | 1.71±1.07 |
| <b>N</b>  | Desmi<br>n. | -                      | -          | -                      | -         |
|           | T=12s       | -                      | -          | -                      | -         |
|           | T=0         | -                      | -          | -                      | -         |
| <b>Si</b> | Desmi<br>n. | -                      | -          | -                      | -         |
|           | T=12s       | 11,13±3,13             | 13,01±2,06 | 7,35±5,89              | 8,37±5,47 |
|           | T=0         | -                      | -          | -                      | -         |
| <b>Al</b> | Desmi<br>n. | -                      | -          | -                      | -         |
|           | T=12s       | 6,71±1,47              | 7,56±1,32  | -                      | -         |
|           | T=0         | -                      | -          | -                      | -         |



|   |             |            |            |   |   |
|---|-------------|------------|------------|---|---|
| <b>Ba</b>   | Desmi<br>n. | -          | -          | - | - |
|   | T=12s       | 16,86±6,45 | 17,67±5,91 | - | - |
|   | T=0         | -          | -          | - | - |
| <b>F</b>  | Desmi<br>n. | -          | -          | - | - |
|   | T=12s       | 0,63±0,28  | 1,91±0,90  | - | - |
|   | T=0         | -          | -          | - | - |
| <b>Zn</b>   | Desmi<br>n. | -          | -          | - | - |
|   | T=12s       | -          | 2,27±1,56  | - | - |
| <b>@, p&lt;0.05 frente a valor inicial antes de desmineralizar. Demin.: valores tras una desmineralización de 48 horas.</b> |             |            |            |   |   |



# 7 DISCUSIÓN

## 7.1 DISCUSIÓN DEL METODO

La aparición de manchas blancas en el esmalte como efecto indeseable de un tratamiento de ortodoncia es un problema importante, ya que de continuar la pérdida de iones calcio y fosfato de la estructura dental, ésta podría cavitarse y ser necesario un tratamiento restaurador. Por ello, durante un tratamiento con brackets debemos prevenir la desmineralización y fomentar la remineralización del esmalte. El objetivo de nuestro trabajo fue estudiar *in vitro* la eficacia del sistema adhesivo Opal™ Seal™/ Opal™ Bond™ MV, que contiene ionómero de vidrio modificado con resina, para prevenir la lesión de mancha blanca y fomentar la remineralización del esmalte desmineralizado.



Aunque el sustrato ideal sería el esmalte humano, cada vez es más difícil encontrar dientes extraídos en perfecto estado porque la población adulta tiene una mayor concienciación de su salud oral. A esto se une la dificultad de conseguir una muestra homogénea y los controles de los comités de bioseguridad, que restringen su uso. **(de Carvalho y cols., 2018)** Hemos usado dientes bovinos para realizar nuestro trabajo ya que, entre los sustratos alternativos que se han propuesto (dientes bovinos, ovinos, porcinos, etc.), el bovino es el más parecido en composición, estructura macroscópica, estructura microscópica y estructura cristalina al humano. **(Teruel y cols., 2015; Ortiz-Ruiz y cols., 2018; Wang C y cols., 2021).**

Hemos utilizado dos tipos de esmalte, intacto y desmineralizado. La desmineralización se realizó sumergiendo los dientes en una solución de ácido láctico a pH 4.5 durante 48 horas **(Patil y cols., 2013)**. La inducción in vitro de la lesión de mancha blanca se puede conseguir por métodos químicos **(Sulaiman Ghandourah y cols., 2019)** o microbianos **(Amaechi y cols., 2019)**. El objetivo es provocar una desmineralización subsuperficial similar a la lesión natural. El método usado en nuestro estudio ha sido capaz de provocar una lesión de mancha blanca con desmineralización subsuperficial medida por DIAGNOdent con valores superiores a 9. **(Patil y cols., 2013).**

La desmineralización produjo una reducción media de la ratio Ca/P del 15% a expensas de una pérdida media de iones Calcio del 16%. Los valores de DIAGNOdent™ para los grupos desmineralizados estuvo entre 6 y 17, indicando caries de esmalte **(Neuhaus y Lussi, 2019)**, fue de  $13,27 \pm 1,19$  en el grupo de Opal Seal/Opal Bond MV y  $12,70 \pm 1,51$  en el de Transbond XT, sin diferencias entre ellos. Hemos introducido los dos grupos de esmalte desmineralizado para estudiar la influencia de un sistema adhesivo que contiene ionómero de vidrio, con capacidad remineralizante, en la adhesión de Brackets sobre la lesión de mancha blanca y la resistencia de este esmalte a nuevos ataques ácidos. Los ataques ácidos se realizaron usando la misma solución desmineralizante durante 2 horas tres veces al día. Inmediatamente después del ataque ácido los dientes se sumergieron en saliva artificial que contiene los iones necesarios para la remineralización, tal como sucede en la cavidad oral. **(Vicente y cols., 2017)** Otros autores han usado otras pautas



para estudiar la resistencia de los sustratos dentales al ataque ácido. **(Bijle y cols., 2022)**

Se han utilizado multitud de métodos diagnósticos para determinar la presencia de mancha blanca: inspección visual, fotografías, métodos fluorescentes, fluorescencia cuantitativa inducida por luz y transiluminación por fibra óptica de imágenes digitales. Esa puede ser la causa de la alta variabilidad de su incidencia y prevalencia en los diferentes estudios. **(Zandona y Longbottom, 2019)** Nosotros hemos usado el método de la fluorescencia inducida por luz (DIAGNOdent™) para determinar el grado de mineralización, desmineralización y remineralización, de las superficies vestibulares de los dientes de nuestro estudio.

Aunque DIAGNOdent™ registra numéricamente la intensidad de reflexión de la señal de fluorescencia de las porfirinas bacterianas productoras de la caries dental cuando incide un haz de láser de diodo a 655nm sobre su superficie, y el valor registrado refleja la profundidad de la lesión, se ha usado desde el principio para medir la desmineralización y la remineralización experimental in vitro en modelos de lesión de caries química o bacteriana, no existiendo diferencias significativas entre la precisión de los estudios in vivo e in vitro. **(Patil y cols., 2013; Neuhaus y Lussi, 2019)** DIAGNOdent™ es capaz de detectar lesiones más tempranas que la inspección visual y de seguir su evolución a lo largo del tratamiento de ortodoncia **(Aljehani y cols., 2006; Comert y Oz, 2020)** y existe una fuerte y significativa correlación entre DIAGNOdent™ e ICDAS II. **(Baeshen, Lingström y Birkhed, 2011)**

Clásicamente, la cantidad de adhesivo que permanece en la superficie del diente tras el descementado se ha evaluado utilizando el índice de adhesivo remanente (ARI) de Ärtur y Berglan (1984), que establece 4 categorías (0, 1, 2 y 3) para el adhesivo remanente en la base del bracket. Posteriormente, Bishara y Trulove (1990) crearon una escala ARI de 5 categorías basada, también, en el adhesivo que permanece en la base del bracket. Debido a la naturaleza cualitativa y subjetiva del sistema de puntuación ARI, ha habido varios intentos de desarrollar técnicas más precisas para la evaluación del remanente de adhesivo, incluido el MEB, el análisis de elementos finitos o la perfilometría tridimensional. **(Cehreli y cols., 2012)** Nosotros hemos usado tecnología digital sobre imágenes, que nos ha permitido conocer exactamente



el porcentaje de adhesivo que permanece en el diente al restar al 100% el porcentaje de adhesivo que permanece en la base del bracket tras el descementado. Al utilizar este sistema hemos ganado en precisión y hemos transformado una variable cualitativa en cuantitativa continua, ganando potencia en el tratamiento estadístico de los datos.

## 7.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Un material ideal para el cementado de brackets debería ser capaz de remineralizar, su fuerza de adhesión debería ser la justa para soportar las fuerzas de masticación durante el tratamiento de ortodoncia y, además, al realizar el descementado una vez concluido el tratamiento de ortodoncia no debería provocar daños en el esmalte, es decir, al descementar el bracket debería producirse una fractura adhesiva en la interfase bracket-esmalte y que el daño sobre el esmalte sea nulo o mínimo.

La fuerza de adhesión es un factor importante a la hora de elegir un material para cementar los brackets. En nuestro estudio, las mayores fuerzas de adhesión las obtuvimos con el sistema Unitek™ Transbond™ XT ( $7,59 \pm 4,12$  MPa y  $13,19 \pm 5,44$  MPa) frente al Opal™ Seal™/Opal™ Bond™ MV ( $4,84 \pm 2,48$  MPa y  $5,98 \pm 1,62$  MPa). La diferente composición de los dos materiales podría explicar esta diferencia. El primer y la matriz orgánica del sistema Unitek™ Transbond™ XT contienen un 90-99% de monómeros de alto peso molecular (Bis-GMA, TEGDMA, Bis-GMA), con mayor cantidad de dobles enlaces en sus moléculas, capaces de crear una red tridimensional más compacta y proporcionar mayor resistencia mecánica a la interfase adhesiva. **(Asmussen y Peutzfeldt, 1998)** El sistema Opal™ Seal™/ Opal™ Bond™ MV es un material liberador de flúor con un 38 % de carga mineral en su composición (principalmente partículas de ionómero de vidrio y nanorrelleno) que contiene monómeros hidrofílicos de bajo peso molecular (2-HEMA <20% y ácido metacrílico <10%) y monómeros de alto peso molecular (UDMA, TEGDMA Bis-EMA y Bis-GMA) en un porcentaje entre 5-30 %, lo que le confiere una menor capacidad



de resistencia mecánica en la interfase adhesiva. Ningún grupo superó la cifra de 13,5MPa, fuerza a partir de la cual se ha considerado que se pueden producir fracturas en el esmalte tras el descementado. **(Al Shamsi y cols., 2006)**

Está ampliamente descrito que las fuerzas de adhesión sobre esmalte desmineralizado son inferiores a las que se consiguen sobre esmalte intacto, probablemente debido a que la mayor humedad intrínseca de un esmalte poroso produce un defecto en la infiltración de la resina y diluye los monómeros de resina solubles en agua **(Kimura, Dunn y Taloumis, 2004; Baysal y Uysal, 2012; Akin y cols., 2014)**. Sin embargo, los resultados de la resistencia a las fuerzas de cizalla de nuestro estudio nos permiten asegurar que la fuerza de adhesión sobre un esmalte desmineralizado es mayor que sobre un esmalte intacto cuando se usó el sistema Transbond™ XT (13,19±5,44 VS 7,59±4,12) y el sistema Opal™ Seal™/ Opal™ Bond™ MV (5,98±1,62 VS 4,84±2,48). Esto es debido a que en el esmalte desmineralizado existe una porosidad elevada y poros profundos que permiten la creación de infinidad de micro-tags, o microindentaciones, que incrementan notablemente la resistencia al descementado y aumentan la fuerza de adhesión.

El sistema Opal™ Seal™/ Opal™ Bond™ MV posee una fuerza de adhesión de unos 5 MPa que, aunque inferior al sistema Transbond™ XT, resulta suficiente para la cementación de Brackets. Tradicionalmente ha existido controversia sobre la fiabilidad de extrapolar los datos de fuerza de adhesión obtenidos en estudios de laboratorio, in vitro, a la situación clínica. Un valor de 5,9–7,8 MPa es capaz de resistir las fuerzas masticatorias; el éxito clínico se ha observado con materiales cuyas fuerzas de adhesión in vitro han sido solo de 4,9MPa. **(Reynolds IR., 1975)** Este trabajo clásico debe de actualizarse, ya que desde 1975 hasta hoy han evolucionado los adhesivos, el diseño de la base de los brackets y los materiales con que se fabrican y la técnica para cementarlos.

Los valores de RFC del sistema Transbond™ XT fueron siempre superiores a los del sistema Opal™ Seal™/ Opal™ Bond™ MV. Esto también fue observado por **Pastrav y cols. (2021)** quienes usando premolares humanos extraídos obtuvieron un valor medio de 8,08±1,50MPa, siendo inferior al de otros adhesivos de composite. Sin embargo, **Kolstad y cols. (2020)** usando el Primer Opal™ Seal™ obtuvieron valores



mayores de RFC ( $15,7 \pm 3,9$  MPa) al usar como cemento el Transbond™ XT Adhesive en vez del Opal™ Bond™ MV.

Una ventaja de los ionómeros de vidrio frente las resinas compuestas es su estabilidad dimensional, que permite que el cemento conserve su adaptación marginal y selle el diente, eliminando el riesgo de desarrollar caries debajo del material **(Yengopal y cols, 2009)**. A esto se le une la capacidad los adhesivos/primer para sellar el esmalte e impedir la desmineralización que se produce alrededor del bracket, en las superficies vestibulares de los dientes superiores, especialmente en el área cervical. **(Sundararaj y cols., 2015)** Todos los selladores son capaces de inhibir la desmineralización por efecto barrera. **Baysal y cols. (2015)** observaron diferencias en la pérdida de calcio desde la superficie de los dientes, siendo menor con el Primer Opal™ Seal™ que con Transbond™ XT Primer con grabado ácido, Transbond™ Plus Self-Etching Primer o Pro Seal®. Los selladores forman la capa de unas  $125\mu\text{m}$  **(Şen y cols., 2018)** que va desapareciendo a lo largo del tiempo. Concretamente, a los tres meses ha desaparecido el 50% de la capa de Primer Opal™ Seal™ de la superficie del esmalte perdiéndose su efecto protector, por lo que hay que volverlo a colocar cada tres meses **(Şen y cols., 2021)**. Además, hay que utilizar protocolos poco abrasivos de limpieza dental profesional en pacientes portadores de ortodoncia fija ya que tanto el pulido con pasta profiláctica como el pulido con aire y polvo de eritritol provocan abrasión de los selladores. **(Deurer y cols., 2019)**

El sistema Opal™ Seal™/ Opal™ Bond™ MV produce una reducción progresiva de los valores de DIAGNOdent™ en el grupo de esmalte desmineralizado a lo largo del tiempo, desde  $13,27 \pm 1,19$  en T0 hasta  $5,31 \pm 0,83$  ( $p < 0.001$ ) en T12s. Según los valores de referencia de DIAGNOdent™ (0-6 Diente sano y 7-16 Caries en Esmalte), se observó una remineralización del esmalte a las 12 semanas. Se produce un intercambio de iones en la interfase adhesiva. Iones de calcio y fosfato se dispersan desde la hidroxiapatita hacia el cemento y desde el cemento sin fraguar también se liberan iones hacia la estructura dental adyacente. Como resultado, se forma una capa intermedia entre el cemento de ionómero de vidrio y la estructura del diente conocida como “capa de intercambio iónico”. **(Moheet y cols., 2021.)**



Por el contrario, el grupo Transbond™ XT en esmalte desmineralizado, no modificó de forma significativa los valores de DIAGNOdent™ en ninguno de los tiempos del estudio, indicando que Transbond™ XT es una resina sin capacidad de remineralizar el esmalte. Así, cuando tras el descementado hemos medido la composición elemental de la periferia del bracket, hemos detectado carbono procedente principalmente de la resina que, desde el 5% en T=0 en todos los grupos evoluciona a un 25% en los grupos de Opal Seal/Opal Bond MV y un 40% en los grupos de Transbond™ XT en T=12s. El silicio con una media de un 12% en peso, el aluminio 7%, el bario 17% y el flúor 0.63–1.91% aparece solo en los grupos de Opal Seal/Opal Bond MV ya que forman parte del ionómero de vidrio. Estos elementos, sobretodo el flúor, son responsables de la remineralización. **(Mickenautsch, Mount y Yengopal, 2011)** Sin embargo, **Tüfekçi y cols. (2014)**, no encontraron diferencias en la capacidad de remineralización, medida como microdureza, en el esmalte intacto entre el sistema Opal Seal/Opal Bond MV y el Transbond™ XT en 22 premolares humanos tratados in vivo y extraídos por motivos ortodóncicos a las 8 semanas.

El grupo Opal Seal/Opal Bond MV esmalte intacto produjo un ligero incremento significativo de los valores de DIAGNOdent™ a lo largo del tiempo (desde  $0,53 \pm 0,44$  en T0 hasta  $1,05 \pm 0,45$  ( $p < 0.001$ ) en T12s, mientras que en el grupo Transbond™ XT en esmalte intacto, como sucedía con el grupo de esmalte desmineralizado, tampoco los modificó. Ambos adhesivos son resistentes al ataque ácido porque, aunque el Opal Seal/Opal Bond MV incrementa de forma significativa los valores de DIAGNOdent™, estos no alcanzan el valor mínimo de 6. La presencia en su composición de monómeros hidrofílicos y menor porcentaje de monómeros de resina de alto peso molecular podría explicar este comportamiento diferencial. Esta resistencia al ataque ácido fue demostrada por **Premaraj y cols. (2017)** sumergiendo los dientes en una solución desmineralizante de ácido láctico a pH 4,5 durante 28 días. En este estudio también demostraron que la adherencia del Streptococo Mutans es baja, dificultando la formación del biofilm sobre el adhesivo, y un incremento en la microdureza, indicando una remineralización del esmalte. **Amaechi y cols. (2021)** también observaron una completa resistencia al ataque ácido del esmalte alrededor de los Brackets cuando se selló con diferentes selladores



o primers (DenteShield™ Primer; DenteShield™ Enamel Surface Sealant, Reliance Pro-Seal™, Ultradent Opal-Seal™, and DenteShield™ Primer & Enamel Surface Sealant).

Tras el descementado de los brackets, el mayor porcentaje de adhesivo remanente en la superficie del esmalte se observó de forma conjunta en el sistema Opal Seal/Opal Bond MV y, dentro de este material, en el grupo de esmalte intacto. El cemento ideal sería aquel que, consiguiendo cifras de adhesión suficientes para soportar las fuerzas intraorales, no quedase sobre la superficie del esmalte al descementar la aparatología fija una vez acabado el tratamiento, ni provocase fracturas en el esmalte. En nuestro caso ninguno de los sistemas adhesivos provocó ninguna fractura cohesiva del cemento, todas las fracturas se produjeron en la interfase adhesiva, bracket-cemento o cemento-esmalte. Por lo tanto, podemos afirmar que ambos sistemas, desde este punto de vista, van a respetar la integridad del esmalte en el descementado cuando se usen en clínica.

Tenemos que rechazar parcialmente la hipótesis nula de nuestro estudio ya que el sistema Transbond™ XT presentó mejor adhesión, expresado como RFC, que el sistema adhesivo objeto de nuestro estudio Opal™ Seal™/ Opal™ Bond™ MV, consiguiendo un porcentaje de adhesivo remanente menor. Ambos sistemas adhesivos son igual de eficaces para prevenir la formación de la mancha blanca ante un ataque ácido. Sin embargo, Opal™ Seal™/ Opal™ Bond™ MV tiene un mayor potencial remineralizante.



# 8 CONCLUSIONES

Objetivo 1. El sistema Opal™ Seal™/ Opal™ Bond™ MV genera menores fuerzas de adhesión de los Brackets tanto en esmalte intacto como desmineralizado que el sistema Transbond™ XT.

Objetivo 2. El sistema adhesivo Opal™ Seal™/ Opal™ Bond™ MV. Transbond™ es más sensible al ataque ácido a las 12 semanas que el sistema Transbond™ XT.

Objetivo 3. El potencial remineralizante del sistema adhesivo para cementar brackets basado en ionómero de vidrio modificado con resina Opal™ Seal™/ Opal™ Bond™ MV es superior al del sistema adhesivo Transbond™ XT.

Objetivo 4. Aunque el sistema adhesivo Opal™ Seal™/ Opal™ Bond™ MV produjo mayor porcentaje de adhesivo remanente en la superficie del esmalte tras el descementado, ambos sistemas tienen un buen comportamiento durante el descementado ya que en ninguno se observaron fracturas en el esmalte.



# 9 BIBLIOGRAFÍA

1. Agrawal N, Shashikiran ND, Singla S, Ravi KS, Kulkarni VK. Atomic force microscopic comparison of remineralization with casein-phosphopeptide amorphous calcium phosphate paste, acidulated phosphate fluoride gel and iron supplement in primary and permanent teeth: An in-vitro study. *Contemp Clin Dent*. 2014;5(1):75-80. doi: 10.4103/0976-237X.128672.
2. Akin M, Baka ZM, Ileri Z, Basciftci FA. Can demineralized enamel surfaces be bonded safely? *Acta Odontol Scand*. 2014;72(4):283-9. doi: 10.3109/00016357.2013.823646.
3. Al Maaitah EF, Adeyemi AA, Higham SM, Pender N, Harrison JE. Factors affecting demineralization during orthodontic treatment: a post-hoc analysis of RCT recruits. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2011;139(2):181-91. doi: 10.1016/j.ajodo.2009.08.028.



4. Al Shamsi A, Cunningham JL, Lamey PJ, Lynch E. Shear bond strength and residual adhesive after orthodontic bracket debonding. *Angle Orthod.* 2006;76(4):694-9. doi: 10.1043/0003-3219(2006)076[0694:SBSARA]2.0.CO;2.
5. Aljehani A, Yousif MA, Angmar-Månsson B, Shi XQ. Longitudinal quantification of incipient carious lesions in postorthodontic patients using a fluorescence method. *Eur J Oral Sci.* 2006;114(5):430-4. doi: 10.1111/j.1600-0722.2006.00395.x.
6. Amaechi BT, McGarrell B, Luong MN, Okoye LO, Gakunga PT. Prevention of white spot lesions around orthodontic brackets using organoselenium-containing antimicrobial enamel surface sealant. *Heliyon.* 2021;7(3):e06490. doi: 10.1016/j.heliyon.2021.e06490.
7. Amaechi BT, Tenuta LMA, Ricomini Filho AP, Cury JA. Protocols to Study Dental Caries In Vitro: Microbial Caries Models. *Methods Mol Biol.* 2019;1922:357-368. doi: 10.1007/978-1-4939-9012-2\_32.
8. Asmussen E, Peutzfeldt A. Influence of UEDMA BisGMA and TEGDMA on selected mechanical properties of experimental resin composites. *Dent Mater.* 1998;14(1):51-6. doi: 10.1016/s0109-5641(98)00009-8.
9. Babadi Oregani E, Jafari A, Masoud Sajedi S, Reza Motamedian S. Preventive Effect of Professional Fluoride Supplements on Enamel Demineralization in Patients Undergoing Fixed Orthodontic Treatment: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Turk J Orthod.* 2022;35(3):223-230. doi: 10.5152/TurkJOrthod.2022.21050.
10. Baeshen HA, Lingström P, Birkhed D. Effect of fluoridated chewing sticks (Miswaks) on white spot lesions in postorthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011;140(3):291-7. doi: 10.1016/j.ajodo.2010.04.034. PMID: 21889073.
11. Barbour ME, Shellis RP, Parker DM, Allen GC, Addy M. Inhibition of hydroxyapatite dissolution by whole casein: the effects of pH, protein



- concentration, calcium, and ionic strength. *Eur J Oral Sci.* 2008;116(5):473-8. doi: 10.1111/j.1600-0722.2008.00565.x.
12. Baysal A, Uysal T. Do enamel microabrasion and casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate affect shear bond strength of orthodontic brackets bonded to a demineralized enamel surface? *Angle Orthod.* 2012;82(1):36-41. doi: 10.2319/041211-265.1.
13. Baysal A, Yasa A, Sogut O, Ozturk MA, Uysal T. Effects of different orthodontic primers on enamel demineralization around orthodontic brackets. *J Orofac Orthop.* 2015;76(5):421-30. doi: 10.1007/s00056-015-0304-6.
14. Belcheva AB, Shindova MP. Caries inhibition with CO<sub>2</sub>-laser during orthodontic treatment: a study protocol for a randomized split-mouth controlled clinical trial. *Trials.* 2022;23(1):208. doi: 10.1186/s13063-022-06117-y.
15. Benson PE, Parkin N, Millett DT, Dyer FE, Vine S, Shah A. Fluorides for the prevention of white spots on teeth during fixed brace treatment. *Cochrane Database Syst Rev.* 2004;(3):CD003809. doi: 10.1002/14651858.CD003809.pub2. Update in: *Cochrane Database Syst Rev.* 2013;12:CD003809.
16. Benson PE, Pender N, Higham SM. Quantifying enamel demineralization from teeth with orthodontic brackets--a comparison of two methods. Part 1: repeatability and agreement. *Eur J Orthod.* 2003;25(2):149-58. doi: 10.1093/ejo/25.2.149.
17. Bijle MN, Abdalla MM, Ashraf U, Siu KW, Tsoi J, Yiu CKY. The acid-resistance potential of arginine-fluoride varnish treated enamel. *J Mech Behav Biomed Mater.* 2022;125:104763. doi: 10.1016/j.jmbbm.2021.104763.
18. Cardoso CA, Cassiano LP, Costa EN, Souza-E-Silva CM, Magalhães AC, Grizzo LT, Caldana ML, Bastos JR, Buzalaf MA. Effect of xylitol varnishes on remineralization of artificial enamel caries lesions in situ. *J Dent.* 2016;50:74-8. doi: 10.1016/j.jdent.2016.03.011.



19. Cardoso CA, de Castilho AR, Salomão PM, Costa EN, Magalhães AC, Buzalaf MA. Effect of xylitol varnishes on remineralization of artificial enamel caries lesions in vitro. *J Dent.* 2014;42(11):1495-501. doi: 10.1016/j.jdent.2014.08.009.
20. Castellanos JE, Marín LM, Úsuga MV, Castiblanco GA, Martignon S. La remineralización del esmalte bajo el entendimiento actual de la caries dental. *Univ Odontol.* 2013; 32(69): 49-59.
21. Cehreli SB, Polat-Ozsoy O, Sar C, Cubukcu HE, Cehreli ZC. A comparative study of qualitative and quantitative methods for the assessment of adhesive remnant after bracket debonding. *Eur J Orthod.* 2012;34(2):188-92. doi: 10.1093/ejo/cjq191.
22. Cochrane NJ, Cai F, Huq NL, Burrow MF, Reynolds EC. New approaches to enhanced remineralization of tooth enamel. *J Dent Res.* 2010;89(11):1187-97. doi: 10.1177/0022034510376046.
23. Comert S, Oz AA. Clinical effect of a fluoride-releasing and rechargeable primer in reducing white spot lesions during orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2020;157(1):67-72. doi: 10.1016/j.ajodo.2019.06.013.
24. Conejo Fernández B. Caries: fisiopatología, patogenia y anatomía patológica. En: García Barbero J, editor. *Patología y terapéutica dental.* Barcelona: Elsevier España SL; 2015. p. 65-77
25. Cury JA, Tenuta LM. Enamel remineralization: controlling the caries disease or treating early caries lesions? *Braz Oral Res.* 2009;23 Suppl 1:23-30. doi: 10.1590/s1806-83242009000500005.
26. Cury JA, Valdivia-Tapia AC, Brenes-Alvarado A, Ricomini-Filho AP, Tabchoury CPM. La fluoroterapia y la mínima intervención en caries. In: Gudiño S (ed): *Abordaje clínico integral de mínima intervención de la lesión de caries dental.* Editorial Amolca. 2023.



27. de Carvalho MFF, Leijôto-Lannes ACN, Rodrigues MCN, Nogueira LC, Ferraz NKL, Moreira AN, Yamauti M, Zina LG, Magalhães CS. Viability of Bovine Teeth as a Substrate in Bond Strength Tests: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Adhes Dent.* 2018;20(6):471-479. doi: 10.3290/j.jad.a41636.
28. Deurer N, Erber R, Orhan G, Zingler S, Lux CJ, Şen S. Abrasion of Pro Seal® and Opal® Seal™ by professional tooth cleaning protocols: results from an in vitro study and a randomized controlled trial. *Eur J Orthod.* 2019;cjz096. doi: 10.1093/ejo/cjz096.
29. Dikmen B. Icdas II criteria (international caries detection and assessment system). *J Istanbul Univ Fac Dent.* 2015;49(3):63-72. doi: 10.17096/jiufd.38691.
30. do Nascimento LE, Pithon MM, dos Santos RL, Freitas AO, Alviano DS, Nojima LI, Nojima MC, Ruellas AC. Colonization of *Streptococcus mutans* on esthetic brackets: self-ligating vs conventional. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013;143(4 Suppl):S72-7. doi: 10.1016/j.ajodo.2012.07.017. PMID: 23540639.
31. Douglas GV, Ramsdale MP, Vinall-Collier K, Csikar JI. Using High Fluoride Concentration Products in Public Policy: A Rapid Review of Current Guidelines for High Fluoride Concentration Products. *Caries Res.* 2016;50 Suppl 1:50-60. doi: 10.1159/000443409.
32. Ekambaram M, Mohd Said SNB, Yiu CKY. A Review of Enamel Remineralisation Potential of Calcium- and Phosphate-based Remineralisation Systems. *Oral Health Prev Dent.* 2017;15(5):415-420. doi: 10.3290/j.ohpd.a38779.
33. Fernando JR, Shen P, Sim CPC, et al. Self-assembly of dental surface nanofilaments and remineralisation by SnF<sub>2</sub> and CPP-ACP nanocomplexes. *Sci Rep.* 2019;9(1):1285. doi:10.1038/s41598-018-37580-w



34. Gorelick L, Geiger AM, Gwinnett AJ. Incidence of white spot formation after bonding and banding. *Am J Orthod.* 1982;81(2):93-8. doi: 10.1016/0002-9416(82)90032-x.
35. Gurunathan D, Somasundaram S, Kumar SA. Casein phosphopeptide-amorphous calcium phosphate: A remineralizing agent of enamel. *Aust Dent J.* 2012;57(4):404-408. doi:10.1111/adj.12006
36. Hawkins R, Locker D, Noble J, Kay EJ. Prevention. Part 7: professionally applied topical fluorides for caries prevention. *Br Dent J.* 2003;195(6):313-7. doi: 10.1038/sj.bdj.4810527.
37. Heymann GC, Grauer D. A contemporary review of white spot lesions in orthodontics. *J Esthet Restor Dent.* 2013;25(2):85-95. doi: 10.1111/jerd.12013.
38. Hogan, R., Pretty, I.A., Ellwood, R.P. (2019). Fibre-Optic Transillumination: FOTI. In: Ferreira Zandona, A., Longbottom, C. (eds) *Detection and Assessment of Dental Caries*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-16967-1\\_14](https://doi.org/10.1007/978-3-030-16967-1_14)
39. Imataki R, Shinonaga Y, Nishimura T, Abe Y, Arita K. Mechanical and Functional Properties of a Novel Apatite-Ionomer Cement for Prevention and Remineralization of Dental Caries. *Materials (Basel).* 2019;12(23):3998. doi: 10.3390/ma12233998.
40. Indrapriyadharshini K, Madan Kumar PD, Sharma K, Iyer K. Remineralizing potential of CPP-ACP in white spot lesions - A systematic review. *Indian J Dent Res.* 2018;29(4):487-496. doi: 10.4103/ijdr.IJDR\_364\_17.
41. ISO, I. (2003). TS 11405: Dental materials—testing of adhesion to tooth structure. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization ISO Central Secretariat.
42. Jain A, Suprabha BS, Shenoy R, Natarajan S, Rao A. Remineralising Effectiveness of Two Fluoride Varnishes Containing Additives: An In Vitro



- Study. *Oral Health Prev Dent.* 2019;17(4):385-393. doi: 10.3290/j.ohpd.a42686.
43. Kamber R, Meyer-Lueckel H, Kloukos D, Tennert C, Wierichs RJ. Efficacy of sealants and bonding materials during fixed orthodontic treatment to prevent enamel demineralization: a systematic review and meta-analysis. *Sci Rep.* 2021;11(1):16556. doi: 10.1038/s41598-021-95888-6.
44. Karlinsey RL, Mackey AC, Walker ER, Frederick KE. Surfactant-modified beta-TCP: structure, properties, and in vitro remineralization of subsurface enamel lesions. *J Mater Sci Mater Med.* 2010;21(7):2009-20. doi: 10.1007/s10856-010-4064-y.
45. Khachatryan G, Markaryan M, Vardanyan I, Manrikyan M, Manrikyan G. Morphological Characteristics and Prevention of Tooth Enamel Demineralization during Orthodontic Treatment with Non-Removable Appliances. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;20(1):540. doi: 10.3390/ijerph20010540.
46. Khalaf K. Factors Affecting the Formation, Severity and Location of White Spot Lesions during Orthodontic Treatment with Fixed Appliances. *J Oral Maxillofac Res.* 2014;5(1):e4. doi: 10.5037/jomr.2014.5104.
47. Khoroushi M, Kachuie M. Prevention and Treatment of White Spot Lesions in Orthodontic Patients. *Contemp Clin Dent.* 2017;8(1):11-19. doi: 10.4103/ccd.ccd\_216\_17.
48. Kidd EA, Fejerskov O. What constitutes dental caries? Histopathology of carious enamel and dentin related to the action of cariogenic biofilms. *J Dent Res.* 2004;83 Spec No C:C35-8. doi: 10.1177/154405910408301s07
49. Kim, BI. (2019). Quantitative Light-Induced Fluorescence. In: Ferreira Zandona, A., Longbottom, C. (eds) *Detection and Assessment of Dental Caries.* Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-16967-1\\_16](https://doi.org/10.1007/978-3-030-16967-1_16)



50. Kimura T, Dunn WJ, Taloumis LJ. Effect of fluoride varnish on the in vitro bond strength of orthodontic brackets using a self-etching primer system. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2004;125(3):351-6. doi: 10.1016/j.ajodo.2003.04.007. PMID: 15014414.
51. Kolstad JA, Cianciolo DL, Ostertag AJ, Berzins DW. Orthodontic Bond Strength Comparison between Two Filled Resin Sealants. *Turk J Orthod.* 2020;33(3):165-170. doi: 10.5152/TurkJOrthod.2020.19049.
52. Kozak U, Sękowska A, Chałas R. The Effect of Regime Oral-Hygiene Intervention on the Incidence of New White Spot Lesions in Teenagers Treated with Fixed Orthodontic Appliances. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(24):9460. doi: 10.3390/ijerph17249460.
53. LeGeros RZ. Calcium phosphates in oral biology and medicine. *Monogr Oral Sci.* 1991;15:1–201.
54. Li X, Wang J, Joiner A, Chang J. The remineralisation of enamel: a review of the literature. *J Dent.* 2014;42 Suppl 1:S12-20. doi: 10.1016/S0300-5712(14)50003-6.
55. Liang J, Liu F, Zou J, Xu HHK, Han Q, Wang Z, Li B, Yang B, Ren B, Li M, Peng X, Li J, Zhang S, Zhou X, Cheng L. pH-Responsive Antibacterial Resin Adhesives for Secondary Caries Inhibition. *J Dent Res.* 2020;99(12):1368-1376. doi: 10.1177/0022034520936639.
56. Lopatiene K, Borisovaite M, Lapenaite E. Prevention and Treatment of White Spot Lesions During and After Treatment with Fixed Orthodontic Appliances: a Systematic Literature Review. *J Oral Maxillofac Res.* 2016;7(2):e1. doi: 10.5037/jomr.2016.7201.
57. Lucchese A, Gherlone E. Prevalence of white-spot lesions before and during orthodontic treatment with fixed appliances. *Eur J Orthod.* 2013;35(5):664-8. doi: 10.1093/ejo/cjs070.



58. Mickenautsch S, Mount G, Yengopal V. Therapeutic effect of glass-ionomers: an overview of evidence. *Aust Dent J*. 2011;56(1):10-5; quiz 103. doi: 10.1111/j.1834-7819.2010.01304.x.
59. Moheet IA, Luddin N, Ab Rahman I, Masudi SM, Kannan TP, Nik Abd Ghani NR. Analysis of Ionic-Exchange of Selected Elements between Novel Nano-Hydroxyapatite-Silica Added Glass Ionomer Cement and Natural Teeth. *Polymers (Basel)*. 2021;13(20):3504. doi: 10.3390/polym13203504.
60. Neuhaus, K.W., Lussi, A. (2019). DIAGNOdent. In: Ferreira Zandona, A., Longbottom, C. (eds) *Detection and Assessment of Dental Caries*. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-16967-1\\_17](https://doi.org/10.1007/978-3-030-16967-1_17)
61. Noronha Mdos S, Romão DA, Cury JA, Tabchoury CP. Effect of Fluoride Concentration on Reduction of Enamel Demineralization According to the Cariogenic Challenge. *Braz Dent J*. 2016;27(4):393-8. doi: 10.1590/0103-6440201600831.
62. Ogaard B, Rølla G, Arends J. Orthodontic appliances and enamel demineralization. Part 1. Lesion development. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1988;94(1):68-73. doi: 10.1016/0889-5406(88)90453-2.
63. Oncag G, Tuncer AV, Tosun YS. Acidic soft drinks effects on the shear bond strength of orthodontic brackets and a scanning electron microscopy evaluation of the enamel. *Angle Orthod*. 2005;75(2):247-53. doi: 10.1043/0003-3219(2005)075<0243:ASDEOT>2.0.CO;2.
64. Ortiz-Ruiz AJ, Teruel-Fernández JD, Alcolea-Rubio LA, Hernández-Fernández A, Martínez-Beneyto Y, Gispert-Guirado F. Structural differences in enamel and dentin in human, bovine, porcine, and ovine teeth. *Ann Anat*. 2018;218:7-17. doi: 10.1016/j.aanat.2017.12.012.
65. Pastrav M, Chisnoiu AM, Pastrav O, Sarosi C, Pordan D, Petean I, Muntean A, Moldovan M, Chisnoiu RM. Surface Characteristics, Fluoride Release and Bond Strength Evaluation of Four Orthodontic Adhesives. *Materials (Basel)*. 2021;14(13):3578. doi: 10.3390/ma14133578.



66. Patil N, Choudhari S, Kulkarni S, Joshi SR. Comparative evaluation of remineralizing potential of three agents on artificially demineralized human enamel: An in vitro study. *J Conserv Dent.* 2013;16(2):116-120. doi:10.4103/0972-0707.108185
67. Perrini F, Lombardo L, Arreghini A, Medori S, Siciliani G. Caries prevention during orthodontic treatment: In-vivo assessment of high-fluoride varnish to prevent white spot lesions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2016;149(2):238-43. doi: 10.1016/j.ajodo.2015.07.039.
68. Pithon MM, Santos Mde J, de Souza CA, Leão Filho JC, Braz AK, de Araujo RE, Tanaka OM, Oliveira DD. Effectiveness of fluoride sealant in the prevention of carious lesions around orthodontic brackets: an OCT evaluation. *Dental Press J Orthod.* 2015;20(6):37-42. doi: 10.1590/2177-6709.20.6.037-042.oar.
69. Pitts NB, Zero DT, Marsh PD, Ekstrand K, Weintraub JA, Ramos-Gomez F, Tagami J, Twetman S, Tsakos G, Ismail A. Dental caries. *Nat Rev Dis Primers.* 2017 May 25;3:17030. doi: 10.1038/nrdp.2017.30.
70. Poza Pascual A. Remineralización dental: una intervención dirigida a niños de alto riesgo para la prevención de la caries. Tesis doctoral. Universidad de Murcia. 2021. <http://hdl.handle.net/10201/102961>
71. Premaraj TS, Rohani N, Covey D, Premaraj S. In vitro evaluation of surface properties of Pro Seal® and Opal® Seal™ in preventing white spot lesions. *Orthod Craniofac Res.* 2017;20 Suppl 1:134-138. doi: 10.1111/ocr.12181.
72. R. Reynolds (1975) A Review of Direct Orthodontic Bonding, *British Journal of Orthodontics*, 2:3, 171-178, DOI: 10.1080/0301228X.1975.11743666
73. Raghis TR, Mahmoud G, Hamadah O. Effectiveness of laser irradiation in preventing enamel demineralization during orthodontic treatment: A systematic review. *Dent Med Probl.* 2018;55(3):321-332. doi: 10.17219/dmp/92636.



74. Rugg-Gunn A, Bánóczy J. Fluoride toothpastes and fluoride mouthrinses for home use. *Acta Med Acad.* 2013;42(2):168-78. doi: 10.5644/ama2006-124.84.
75. Salamara O, Papadimitriou A, Mortensen D, Twetman S, Koletsi D, Gizani S. Effect of fluoride varnish with functionalized tri-calcium phosphate on post-orthodontic white spot lesions: an investigator-blinded controlled trial. *Quintessence Int.* 2020;51(10):854-862. doi: 10.3290/j.qi.a44810.
76. Sardana D, Manchanda S, Ekambaram M, Yang Y, McGrath CP, Yiu CKY. Prevention of Demineralization Around Orthodontic Brackets Using Sealants: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Pediatr Dent.* 2019b;41(6):430-531.
77. Sardana D, Zhang J, Ekambaram M, Yang Y, McGrath CP, Yiu CKY. Effectiveness of professional fluorides against enamel white spot lesions during fixed orthodontic treatment: A systematic review and meta-analysis. *J Dent.* 2019a;82:1-10. doi: 10.1016/j.jdent.2018.12.006.
78. Şen S, Erber R, Kunzmann K, Kirschner S, Weyer V, Schilling L, Brockmann MA, Rues S, Orhan G, Lux CJ, Zingler S. Assessing abrasion of orthodontic surface sealants using a modified ophthalmic optical coherence tomography device. *Clin Oral Investig.* 2018;22(9):3143-3157. doi: 10.1007/s00784-018-2410-5.
79. Şen S, Erber R, Orhan G, Zingler S, Lux CJ. OCT evaluation of orthodontic surface sealants: a 12-month follow-up randomized clinical trial. *Clin Oral Investig.* 2021;25(3):1547-1558. doi: 10.1007/s00784-020-03462-7.
80. Shellis RP, Featherstone JD, Lussi A. Understanding the chemistry of dental erosion. *Monogr Oral Sci.* 2014;25:163-79. doi: 10.1159/000359943.
81. Simmer JP, Hu JC. Dental enamel formation and its impact on clinical dentistry. *J Dent Educ.* 2001;65(9):896-905.



82. Sonesson M, Brechter A, Abdulraheem S, Lindman R, Twetman S. Fluoride varnish for the prevention of white spot lesions during orthodontic treatment with fixed appliances: a randomized controlled trial. *Eur J Orthod.* 2020;42(3):326-330. doi: 10.1093/ejo/cjz045.
83. Sonesson M, Twetman S. Prevention of white spot lesions with fluoride varnish during orthodontic treatment with fixed appliances: a systematic review. *Eur J Orthod.* 2023:cjad013. doi: 10.1093/ejo/cjad013.
84. Sudjalim TR, Woods MG, Manton DJ, Reynolds EC. Prevention of demineralization around orthodontic brackets in vitro. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007;131(6):705.e1-9. doi: 10.1016/j.ajodo.2006.09.043.
85. Sulaiman Ghandourah B, Lefkelidou A, Said R, Chatzistavrou X, Flannagan S, Gonzáles-Cabezas C, Fenno CJ, Zheng L, Papagerakis S, Papagerakis P (2019). In Vitro Caries Models for the Assessment of Novel Restorative Materials. In: Papagerakis, P. (eds) *Odontogenesis. Methods in Molecular Biology*, vol 1922. Humana Press, New York, NY. [https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9012-2\\_33](https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9012-2_33)
86. Sundararaj D, Venkatachalapathy S, Tandon A, Pereira A. Critical evaluation of incidence and prevalence of white spot lesions during fixed orthodontic appliance treatment: A meta-analysis. *J Int Soc Prev Community Dent.* 2015;5(6):433-9. doi: 10.4103/2231-0762.167719.
87. Tasios T, Papageorgiou SN, Papadopoulos MA, Tsapas A, Haidich AB. Prevention of orthodontic enamel demineralization: A systematic review with meta-analyses. *Orthod Craniofac Res.* 2019;22(4):225-235. doi: 10.1111/ocr.12322.
88. Teruel Jde D, Alcolea A, Hernández A, Ruiz AJ. Comparison of chemical composition of enamel and dentine in human, bovine, porcine and ovine teeth. *Arch Oral Biol.* 2015;60(5):768-75. doi: 10.1016/j.archoralbio.2015.01.014.



89. Tufekci E, Dixon JS, Gunsolley JC, Lindauer SJ. Prevalence of white spot lesions during orthodontic treatment with fixed appliances. *Angle Orthod.* 2011;81(2):206-10. doi: 10.2319/051710-262.1. PMID: 21208070; PMCID: PMC8925248.
90. Tüfekçi E, Pennella DR, Mitchell JC, Best AM, Lindauer SJ. Efficacy of a fluoride-releasing orthodontic primer in reducing demineralization around brackets: an in-vivo study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2014;146(2):207-14. doi: 10.1016/j.ajodo.2014.05.016.
91. Vicente A, Ortiz Ruiz AJ, González Paz BM, García López J, Bravo-González LA. Efficacy of fluoride varnishes for preventing enamel demineralization after interproximal enamel reduction. Qualitative and quantitative evaluation. *PLoS One.* 2017;12(4):e0176389. doi: 10.1371/journal.pone.0176389.
92. Vogel GL, Shim D, Schumacher GE, Carey CM, Chow LC, Takagi S. Salivary fluoride from fluoride dentifrices or rinses after use of a calcium pre-rinse or calcium dentifrice. *Caries Res.* 2006;40(5):449-54. doi: 10.1159/000094293.
93. Vogel GL. Oral fluoride reservoirs and the prevention of dental caries. *Monogr Oral Sci.* 2011;22:146-157. doi: 10.1159/000325166.
94. Wang C, Fang Y, Zhang L, Su Z, Xu J, Fu B. Enamel microstructural features of bovine and human incisors: A comparative study. *Ann Anat.* 2021;235:151700. doi: 10.1016/j.aanat.2021.151700. Epub 2021 Feb 12. PMID: 33588042.
95. Wang Y, Qin D, Guo F, Levey C, Huang G, Ngan P, Hua F, He H; Core Outcome Set for trials on the prevention and treatment of enamel White Spot Lesions (COS-WSL) group. Outcomes used in trials regarding the prevention and treatment of orthodontically induced white spot lesions: A scoping review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2021;160(5):659-670.e7. doi: 10.1016/j.ajodo.2021.04.018.
96. Weyant RJ, Tracy SL, Anselmo TT, Beltrán-Aguilar ED, Donly KJ, Frese WA, Hujoel PP, Iafolla T, Kohn W, Kumar J, Levy SM, Tinanoff N, Wright JT, Zero D,



- Aravamudhan K, Frantsve-Hawley J, Meyer DM; American Dental Association Council on Scientific Affairs Expert Panel on Topical Fluoride Caries Preventive Agents. Topical fluoride for caries prevention: executive summary of the updated clinical recommendations and supporting systematic review. *J Am Dent Assoc.* 2013;144(11):1279-91. doi: 10.14219/jada.archive.2013.0057. Erratum in: *J Am Dent Assoc.* 2013 Dec;144(12):1335. Dosage error in article text.
97. WHO model list of essential medicines - 22nd list, 2021. 30 de septiembre de 2021. 1211 Geneva 27. Switzerland. Pg 1-66. <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-MHP-HPS-EML-2021.02> (accedido el 11 de abril de 2023).
98. WHO oral health briefing note series. Prevention and treatment of dental caries with mercury-free products and minimal intervention. 16 de marzo de 2022. 1211 Geneva 27 Switzerland. Pags. 1-28. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240046184> (accedido el 11 de abril de 2023)
99. Wiegand A, Buchalla W, Attin T. Review on fluoride-releasing restorative materials--fluoride release and uptake characteristics, antibacterial activity and influence on caries formation. *Dent Mater.* 2007;23(3):343-62. doi: 10.1016/j.dental.2006.01.022.
100. Yengopal V, Mickenautsch S, Bezerra AC, Leal SC. Caries-preventive effect of glass ionomer and resin-based fissure sealants on permanent teeth: a meta analysis. *J Oral Sci.* 2009;51(3):373-82. doi: 10.2334/josnusd.51.373.
101. Zandona AF, Longbottom C. (2019). Detection and assessment of dental caries. Ed.: Springer Nature Switzerland AG.



# 10 ANEXOS



ANEXO 1

UNIVERSIDAD DE MURCIA

Vicerrectorado de Investigación

CBE Comité de Bioseguridad en Experimentación

CAMPUS MARE NOSTRUM

INFORME DEL COMITÉ DE BIOSEGURIDAD EN EXPERIMENTACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE MURCIA

Lucía Periago García, Jefa de Sección de Recursos Humanos de Investigación y del Plan Propio y Secretaria del Comité de Bioseguridad en Experimentación de la Universidad de Murcia.

CERTIFICA:

Que D. Antonio José Ortiz Ruiz presentó la memoria de trabajo el Proyecto de Investigación titulado "Eficacia de un adhesivo de ionómero de vidrio frente a la prevención de manchas blancas", al Comité de Bioseguridad en Experimentación.

Que dicho Comité analizó toda la documentación presentada, y de conformidad con lo acordado el día diez de octubre de dos mil veintidós<sup>1</sup>, por unanimidad, se emite INFORME FAVORABLE, desde el punto de vista ético de la bioseguridad en la investigación.

Y para que conste y tenga los efectos que correspondan, firmo esta certificación, con el visto bueno del Presidente de la Comisión.

Vº Bº LA PRESIDENTA DEL COMITÉ DE BIOSEGURIDAD EN EXPERIMENTACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE MURCIA

Fdo.: María Senena Corbalán García

ID: 511/2022

<sup>1</sup> A los efectos de lo establecido en el art. 19.5 de la Ley 40/2015 de 1 de octubre de Régimen Jurídico del Sector Público (B.O.E. 02-10), se advierte que el acta de la sesión citada está pendiente de aprobación



Código seguro de verificación: RUXFMgSy-3W0/NuKz-WZTB0awX-tWLjshJR

COPIA ELECTRÓNICA - Página 1 de 1

Esta es una copia electrónica imprimible de un documento administrativo electrónico archivado por la Universidad de Murcia, según el artículo 17.3 c) de la ley 39/2015, de 1 de octubre. Su autenticidad puede ser contrastada a través de la siguiente dirección: https://sede.um.es/validador/

