



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO



FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

NANOPARTÍCULAS DE BIOVIDRIO Y SU
INCORPORACIÓN EN RESINAS PARA ODONTOLOGÍA
RESTAURADORA.

T E S I N A

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

C I R U J A N O D E N T I S T A

P R E S E N T A:

MIGUEL ANTONIO DÍAZ MARMOLEJO

TUTOR: Dr. ALEJANDRO LUIS VEGA JIMÉNEZ



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS.

La realización de este trabajo solo pudo ser posible por el apoyo total e incondicional que mi madre me dio desde el jardín de niños hasta la universidad. Nunca habrá frase o palabra que pueda expresar el eterno agradecimiento que siento por todo lo que has hecho por mí y mi aprendizaje. Gracias por orientar mi vida de esta manera, solo tu sabías lo importante que era la educación, no importa los años que tenga siempre voy a seguir diciendo que de grande quiero ser como tú.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, que medio una educación de calidad a través de experiencias que marcaron mi vida educativa de una manera inigualable.

A mi tutor, el Dr. Alejandro Luis Vega Jiménez por brindarme su tiempo, confianza y su total apoyo para la elaboración de esta tesina.

A la Esp. Mónica Peña Chávez por su paciencia, consejos y ejemplo para guiarme en la orientación de esta tesina.

A mis pacientes que fueron parte esencial en mi formación académica, gracias por haberme brindado su confianza.

“Los odontólogos deberían de ser mejor remunerados por las restauraciones que no hacen, que por las que realizan”

- Mount

ÍNDICE.

1. INTRODUCCIÓN	4
2. CONTENIDO TEMÁTICO.....	6
3. GENERALIDADES DE BIOMATERIALES.....	6
3.1 Definición y características de los biomateriales.	6
3.2 Clasificación de biomateriales.	6
4. BIOMATERIALES EN ODONTOLOGÍA.	8
4.1 Resinas compuestas.	8
4.1.1 Características generales de las resinas compuestas.....	8
4.1.2 Problemas asociados de las restauraciones con resinas.	11
4.2 Vidrios bioactivos.....	13
4.2.1 Características y propiedades mecánicas, antimicrobianas y remineralizantes.	14
5. NANOTECNOLOGÍA EN ODONTOLOGÍA RESTAURADORA.....	18
5.1 Materiales nanoestructurados en la odontología restauradora.....	18
5.2 Nanopartículas de biovidrio en resinas dentales.	20
5.2.1 Propiedades físicas-mecánicas de resinas con nanopartículas de biovidrio.	21
5.2.2 Propiedades antimicrobianas en resinas con nanopartículas de biovidrio.	26
5.2.3 Propiedad remineralizante de las resinas compuestas con nanopartículas de biovidrio.	29
6. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS.	33
7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	34

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente una de las labores más comunes en la odontología restauradora es devolver la anatomía y funcionalidad en piezas dentarias donde existe una lesión debido a traumatismos y debilitamiento de los tejidos a causa de la desmineralización. Los biomateriales dentales existentes en el mercado poseen diversas cualidades que los hacen aptos para restaurar la estructura dental. Uno de ellos es la resina compuesta, que presenta buenas propiedades mecánicas, ópticas, biocompatibles y son de fácil manejo para el odontólogo; sin embargo, este biomaterial de restauración presenta un cambio volumétrico por contracción que predispone a que existan espacios entre el tejido dental y el material, que eventualmente puedan ser ocupados por bacterias y la reincidencia de caries ocasionando el fracaso del tratamiento.

La búsqueda de mejorar los tratamientos de restauración dental ha encaminado al desarrollo de la nanotecnología en odontología. La posible incorporación de nanopartículas a base de materiales bioactivos en biomateriales de restauración buscaría mejorar sus propiedades mecánicas e inducir una respuesta específica y molecular que favorezca la remineralización de la estructura dentaria y por ende sustituir partes dañadas del órgano dentario para recobrar su funcionalidad y de esta manera evitar fracasos en tratamientos con resinas debido a la interfase por contracción en su proceso de aplicación.

Por lo anterior, el propósito de este trabajo fue informar sobre el uso y propiedades de las nanopartículas de biovidrio y su potencial aplicación en resinas compuestas utilizadas dentro de la restauración en odontología.

Se realizó una revisión bibliográfica sobre nanopartículas a base de biovidrio. Los criterios de inclusión en la búsqueda fueron artículos de 5 a 10 años de antigüedad, desde su fecha de publicación hasta la actualidad, relacionados

con estudios sobre los biovidrios incorporados en los biomateriales ocupados para restauración dental, caries secundaria relacionada con la colocación de material restaurativo a base de resina compuesta.

Se excluyeron el resto de los artículos de biovidrios que no estuvieran basados en el sistema 45s5 y otros relacionados con la adición de estos en materiales como recubrimiento (en implantes dentales), materiales de adhesión e injertos de hueso.

Esta revisión se realizó a través de los buscadores de información y plataformas: Google, ScieELO, MEDLINE, Pudmed y Bidi Unam. Los descriptores empleados fueron (palabras clave) “bioactive glass”, “nanoparticle”, “composite resin”, “secondary caries”, la combinación entre ellos y sus equivalentes en español. Predominó el idioma inglés en los artículos revisados; y se analizaron en español.

El resultado de la búsqueda arrojó un aproximado de 65 artículos que fueron filtrados por el autor con el propósito de conservar solo los que trataron las temáticas específicas incluidas en los criterios de investigación.

2. CONTENIDO TEMÁTICO.

3. GENERALIDADES DE BIOMATERIALES.

3.1 Definición y características de los biomateriales.

Los biomateriales son utilizados como instrumentos médicos para interactuar en un sistema biológico. Un biomaterial es una sustancia o la combinación de varias de origen natural o artificial que puede ser empleado para remplazar, aumentar o tratar algún tejido, órgano o función del cuerpo humano⁽¹⁾. Asimismo deben de cumplir con una serie de características tanto mecánicas como biológicas que los hagan afines con el organismo humano para no ser rechazados y poder sustituir adecuadamente la zona del organismo en donde son implantados⁽²⁾.

Según Lizarbe⁽²⁾ los requisitos que debe cumplir un biomaterial son:

1. Biocompatibilidad, es decir que pueda ser aceptado por el organismo receptor sin provocar que este desarrolle un mecanismo de rechazo contra el biomaterial.
2. Que no sea tóxico, ni carcinogénico.
3. Químicamente estable, o biodegradable en productos no tóxicos, al menos durante el tiempo programado (ya que hay biomateriales biodegradables y permanentes).
4. Resistencia y propiedades mecánicas, características superficiales y el peso sean los adecuados.
5. Diseño, tamaño y forma del biomaterial (implante) deben ser los adecuados.

3.2 Clasificación de biomateriales.

A los biomateriales se les puede clasificar de diferente manera. Por el material con que están fabricados; polímeros, cerámicas, metales, composites, por su

origen (natural o artificial)⁽¹⁾, por su orden de aparición (generación) y por su comportamiento cuando se implantan en el cuerpo humano.

La evolución de los biomateriales se puede identificar a lo largo de tres generaciones, las cuales han dependido del tipo de respuesta una vez que entra en contacto con un tejido u órgano⁽³⁾.

La primera generación consiste en aquellos biomateriales cuya respuesta en contacto con el organismo es casi nula, es decir, bioinertes. La segunda generación estuvo conformada por la aparición de los materiales bioactivos que al estar en contacto con los tejidos y fluidos biológicos interactuaban con el medio celular creando una interfaz continua implante-tejido (Figura 1). La tercera generación de materiales se conforma de aquellos con la capacidad de poder estimular la regeneración del tejido^(3,4).

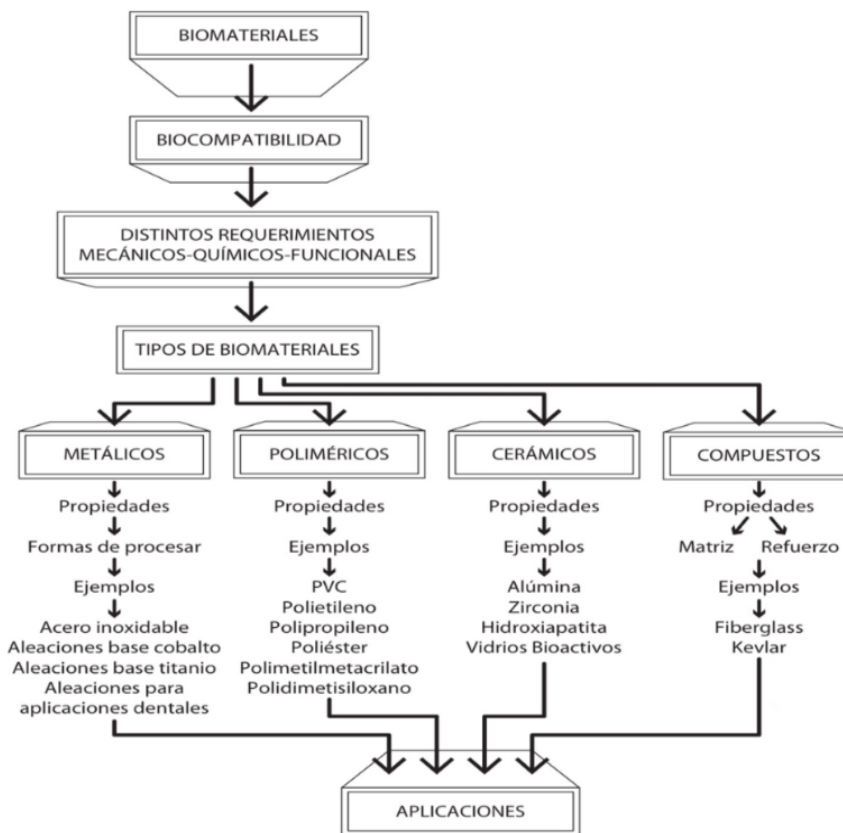


Figura 1. Clasificación y aplicaciones de biomateriales de uso dental⁽¹⁾

4. BIOMATERIALES EN ODONTOLOGÍA.

4.1 Resinas compuestas.

Según Duffo⁽¹⁾ un material compuesto es aquel que está formado por dos materiales químicamente diferentes, combinados de modo tal que se puedan aprovechar las propiedades, físicas y mecánicas más ventajosas de cada uno de ellos.

La resina dental compuesta es uno de los materiales de restauración dental que se utilizan con más frecuencia en los consultorios, la resina dental tiene grandes propiedades estéticas, biocompatibles y mecánicas⁽⁵⁾.

4.1.1 Características generales de las resinas compuestas.

Principalmente, las resinas dentales compuestas están formadas por tres materiales químicamente distintos⁽⁶⁾:

1. La matriz orgánica o fase inorgánica.
2. La matriz inorgánica, material de relleno o fase dispersa.
3. Un agente de unión o silano.

La matriz orgánica (polímero) de las resinas compuestas esta principalmente conformada de cuatro diferentes polímeros, el compuesto más usado actualmente es Bis-GMA ya que posee una estructura aromática que le provee de rigidez, su resistencia a las fuerzas compresivas y disminuye su absorción de agua^(6,7) . Pero también puede contener UDMA y TEGDMA para darle una consistencia menos viscosa al compuesto ya que la matriz de Bis-GMA es de una viscosidad alta lo que puede dificultar su manejo.

La matriz inorgánica (cerámica) de las resinas dentales compuestas se compone de elementos de relleno para reforzar la resina, estos se le añaden principalmente para mejorar sus propiedades mecánicas como la resistencia a la compresión y a la tracción, aumentar el módulo de elasticidad, la

resistencia a la abrasión, para que tenga radiopacidad, una mejor estética y que sea de fácil manipulación. La adición de cargas puede ayudar a reducir la sorción de agua a la resina, la contracción de polimerización y el coeficiente de expansión lineal térmico. Esta porción de relleno conforma el 30% o el 70 % de del volumen en una resina. Puede estar compuesta por vidrio de borosilicato, silicato de aluminio, cuarzo fundido, vidrio de circonio, vidrios de estroncio y bario^(5,6).

La matriz de resina y los rellenos se unen con ayuda de un agente de unión. Este agente de unión es importante para mejorar las propiedades físicas y mecánicas, el agente de unión más común es el silano. Es catalogada como una molécula bifuncional con un grupo metacrilato en un extremo y un grupo silanol en el otro, la función del grupo metacrilato es sufrir una polimerización por adición con la resina compuesta y el grupo silanol se une a los grupos hidroxilo de las partículas de relleno por una reacción de condensación^(5,6,8).

Para que este compuesto pueda polimerizar y formar un material solido se le añade un fotoiniciador, actualmente el más común es la canforoquinona⁽⁸⁾. Esta solidificación del material compuesto lleva por nombre fotopolimerización y se produce cuando se expone el compuesto a frecuencias de luz con una longitud de onda de 468 – 470 nm.

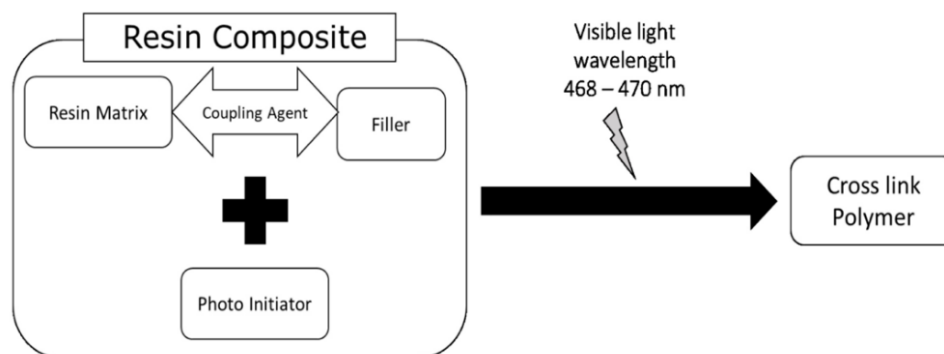


Figura 2. Componentes de la resina dental y frecuencia de fotocurado⁽⁵⁾.

A principios del 2013 la Asociación Internacional de Investigación en Odontología (IADR) y la Federación Dental Internacional (FDI) realizó un listado de las características que debería de reunir un material restaurativo ideal^(9,10):

1. Buena relación costo-eficacia.
2. No ser tóxico.
3. Sellar la interfaz restauración-tejido.
4. Tener la máxima estabilidad dimensional al endurecer.
5. Contribuir a la remineralización de la cavidad generada por la caries.
6. Ser de fácil manipulación.
7. Presentar suficiente resistencia al desgaste y poder repararse.

Las resinas compuestas se han convertido en la primera opción restaurativa para sector anterior y posterior gracias a sus propiedades como⁽⁶⁻⁸⁾:

- Alta estética.
- Resistencia a las cargas masticatorias y al desgaste.
- Insolubles en el medio bucal.
- Estabilidad de color.
- Estabilidad dimensional ante cambios de temperatura.
- Buena biocompatibilidad.
- Fácil manipulación.
- De bajo costo.

A pesar de sus múltiples ventajas la resina también cuenta con diversas limitaciones que predisponen a este material al fracaso restaurativo⁽¹¹⁻¹⁴⁾.

- No son bioactivas.
- No se adhieren químicamente al diente.
- Contracción del material en el proceso de fotocurado
- Requieren de un agente de unión para acoplarse al tejido dentario.

- La incorrecta técnica operacional puede propiciar la formación de una interfase entre el material restaurativo y tejido dental la cual favorece la aparición de caries secundaria.
- Favorecen el crecimiento de la biopelícula si no son bien pulidas.
- Pueden provocar sensibilidad postoperatoria.
- No contienen propiedades biocidas o bacteriostáticas.

4.1.2 Problemas asociados de las restauraciones con resinas.

Se han reportado una gran cantidad de casos en los que se expone el fallo a corto y mediano plazo del sistema restaurativo con resinas compuestas, debido a que existe un problema relacionado con el cambio volumétrico producto de la contracción (contracción por polimerización y coeficiente de expansión lineal térmico), y en la relación que estos problemas guardan con el ambiente oral (abrasión superficial debido a las fuerzas masticatorias y degradación mecánica y biológica de la interfase). Estos problemas son responsables del fracaso principal de las restauraciones de resina compuesta, produciendo fallas en la interfaz diente restauración, generando microfiltración y el consecuente desarrollo de caries secundaria^(15,16).

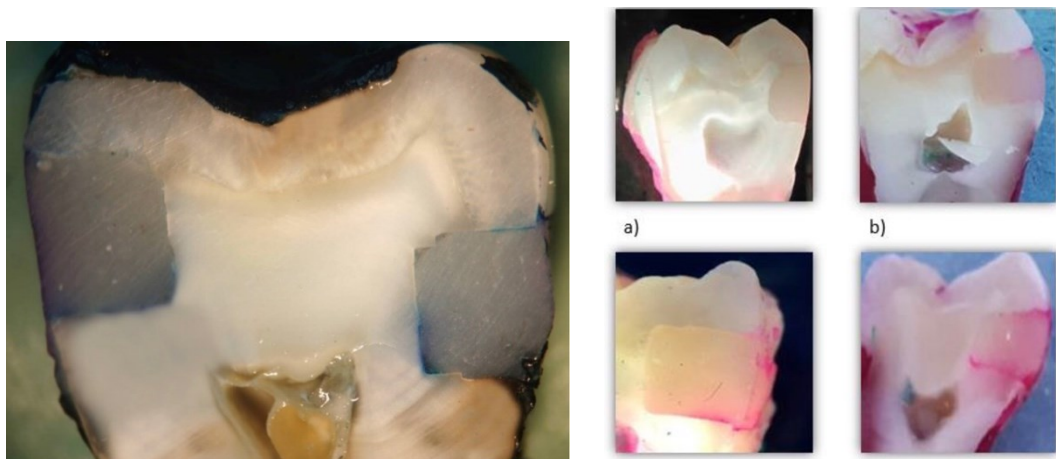


Figura 12. Estudios *in vitro* que evidencian la microfiltración utilizando colorantes para visualizar de mejor manera la interfase contaminada^(15,16).

Modificar las resinas compuestas con biovidrio es una de las aplicaciones más interesantes para el área restauradora ya que estos materiales combinados podrían generar una respuesta en el área marginal de las restauraciones porque es la zona más sensible a la recidiva de caries⁽¹⁷⁾.

Nedeljkovic y col.⁽¹³⁾ creen que existe una clara relación de caries secundaria asociada a la restauración con resina compuesta, éste segundo proceso de caries podría estar vinculado inherentemente a la resina dental debido a varios factores como: la contracción de polimerización, la biodegradación de la interface, degradación mecánica de la interface, las propiedades superficiales de la resina compuesta que facilitan la adhesión bacteriana, la falta de bactericidas incorporados a la resina, las nulas propiedades para alcalinizar el medio y las inexistente capacidad para poder remineralizar los tejidos con los que se encuentra en contacto. Es importante puntualizar que una de las principales causas del cambio de restauraciones es la caries secundaria⁽¹⁸⁾.

Los autores concluyeron a través de una revisión de estudios de corte transversal que la caries secundaria es la razón más importante de fracaso en el tratamiento con resinas compuestas ya que en varios estudios se observó que era mayor el número de caries secundarias asociadas a la restauración con resina que con amalgama. Por otra parte, es importante señalar que también influyen los factores relacionados con el paciente (hábitos)⁽¹³⁾.

Teóricamente la forma en la que se desarrolla la caries secundaria se conforma de dos puntos: (I) La lesión externa que se desarrolla en la superficie externa del diente junto al margen de la restauración, y (II) la lesión de la pared de la cavidad, que se desarrolla a lo largo de la interfaz diente restauración.

Se ha concluido que la lesión de la pared se desarrolla exclusivamente como la consecuencia de la microfiltración incluso en ausencia de una lesión externa (15).

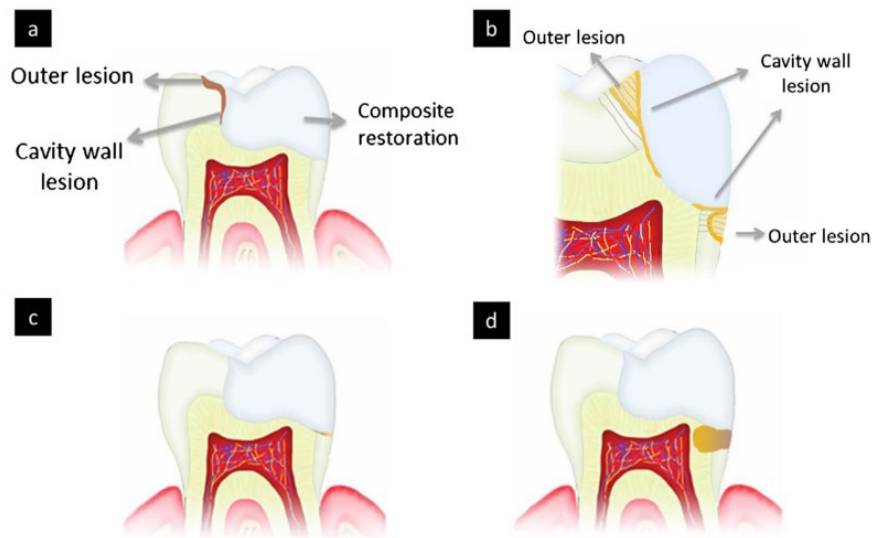


Figura 3. Localización de la formación de la caries secundaria⁽¹³⁾.

La pérdida de tejido dental por traumatismo o lesión cariosa deja un remanente dentario con desequilibrio, anatómico, histológico y funcional, este tipo de casos representa hoy en día un desafío en la profesión odontológica. El uso de la tecnología actual busca el remplazo de la sustancia dental perdida o dañada a través de nuevos biomateriales y nanoestructuras⁽¹¹⁾.

4.2 Vidrios bioactivos.

Los vidrios bioactivos ($\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{P}_2\text{O}_5$), son vidrios de superficie activa con los cuales los minerales son capaces de unirse químicamente. Los componentes del vidrio bioactivo son básicamente óxidos de calcio, sodio, fósforo y silicio⁽¹⁹⁾.

4.2.1 Características y propiedades mecánicas, antimicrobianas y remineralizantes.

Hench⁽²⁰⁾ basó la llamada "hipótesis del vidrio bioactivo" en dos pilares (I) los metales y los polímeros sintéticos provocaban una reacción de cuerpo extraño porque sus componentes eran completamente diferentes de los que forman los tejidos vivos, y (II) un material que fuera capaz de formar una capa de hidroxiapatita similar a la del hueso en su superficie no debería ser rechazado por el organismo, ya que la hidroxiapatita es la principal fase mineral del tejido óseo natural.

La hidroxiapatita ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$).⁽²¹⁾ es un fosfato cálcico natural, es el tercer elemento más abundante en el cuerpo humano, y el principal componente del tejido óseo (60% en peso) y del tejido dentario (en peso constituye el 95%-97% del esmalte, el 65%-70% de la dentina y el 50%-60% del cemento)⁽²²⁾.

La elaboración de un biovidrio se puede efectuar a través de dos técnicas sin embargo la más utilizada actualmente, es un método químico que nos permite obtener biovidrios de extremada pureza y homogeneidad a temperatura ambiente ⁽²³⁾.

El método sol-gel es un proceso que consiste en la síntesis química de materiales inorgánicos mediante la preparación de un sol (suspensión estable de partículas sólidas coloidales en un medio líquido). Durante el proceso tiene lugar una reacción polimérica que finalmente dará lugar a un gel, este gel es secado naturalmente a temperatura ambiente durante un tiempo, al encogerse expulsara además de solvente (alcohol), agua residual. Si al terminar este proceso persiste la presencia de agua y solvente se somete al gel a un tratamiento termino con temperaturas inferiores a las ocupadas en el método de fusión^(9,11).

Es importante decir que el proceso sol gel es tan versátil ya que nos permite controlar el tamaño y morfología de las partículas cambiando el pH, la relación alcohol-agua y la naturaleza del alcohol, incluso obtener partículas de escala nanométrica⁽²⁶⁾.

Otra de las ventajas del proceso sol-gel es que pueden ser incorporados diversos elementos con la finalidad de configurar al biovidrio haciéndolo más apto en las diferentes áreas clínicas en donde es usado como se puede ver en la figura 4⁽²⁷⁾.

Therapeutic ions released from BGNs	Functional property	Personalized dental treatment
Sr ²⁺ Mg ²⁺ Fe ²⁺ B ³⁺ Zn ²⁺ Li ⁺ Zr ⁴⁺	Hard tissue regeneration	People lack of hard tissue regenerative potential (dental pulp tissue, bone, cementum)
Ag ⁺ Cu ²⁺ Co ²⁺ Ga ³⁺	Antibacterial activity	Children and the elderly who have bad brushing habits Other potential patients who have poor oral conditions from systemic diseases
Cu ²⁺ Co ²⁺	Angiogenesis	Children who need blood supply for further tooth development The elderly who need blood supply for proper regeneration

Figura 4. Tabla que describe la configuración del biovidrio para hacerlo más apto en sus diversas aplicaciones en odontología ⁽²⁸⁾.

Las partículas de biovidrio suelen tener un tamaño acorde al uso que se les dará como biomaterial en el área odontológica; este tamaño puede rondar aproximadamente de 18-360 μm (Figura 5).

Product	Particle size	Uses
Novamin	(D50 value) of 18 μm	Used in toothpaste to treat hypersensitivity by blocking open dentinal tubules
PerioGlas	90–710 μm	Used for bone regeneration around the tooth or bone repair in the jaw for anchoring implants
Biogran	300–360 μm	Used as a bone graft in jaw defects

Figura 5. Tabla que describe el tamaño de partícula del vidrio bioactivo basado en la función que tendrá el material en odontología⁽²⁹⁾.

Las aplicaciones del vidrio activo se han diversificado desde su invención y actualmente ramas de la medicina como la odontología, farmacología, traumatología e ingeniería de tejidos^(30,31).

Una de las desventajas más grandes de los vidrios bioactivos son sus poco optimas propiedades mecánicas y la escasa resistencia a la ruptura. La rigidez a la flexión y a la tracción de la mayoría de los biovidrios varía entre los 40 y 60 MPa por lo que no son utilizables para aplicaciones de carga. Sin embargo, esta desventaja se ve disminuida cuando los biovidrios se incrustan o añaden a un soporte de biomaterial para formar prótesis para tejidos duros. Estos materiales dopados de vidrios bioactivos presentan excelentes propiedades mecánicas y son útiles⁽³²⁾.

Los biovidrios tienen una gran capacidad antimicrobiana y biocida frente a tipos de bacterias gram-positivas y gram-negativas. Al contacto con fluidos biológicos los biovidrios producen la disolución de sus componentes solubles (lixiviación) que se depositan en su superficie con el consecuente aumento de la presión osmótica por la liberación de iones de sílice, calcio y fosfato, dando como resultado una célula alterada en tamaño, forma y ocasionando niveles de estrés de membrana. Este efecto antimicrobiano también se ve asociado a un aumento del pH generando un medio hostil para el crecimiento microbiano sin afectar los tejidos del huésped^(31,33).

Su mecanismo de acción inicia cuando la liberación de sodio aumenta el pH y favorece la formación de complejos de calcio y fósforo, incluidos los iones presentes en la saliva, para terminar en la formación de una capa de fosfato y calcio (Ca-P) sobre la superficie dental. Los factores que influyen en la remineralización de la hidroxiapatita de los dientes están íntimamente ligados al pH y a la súper saturación de iones de calcio, fluoruro y de fosfato en la saliva con respecto al diente. Cuando los biovidrios entran en contacto con un medio acuoso, se inicia la liberación de sílice e iones sodio, calcio y fósforo al

medio oral. A medida que avanza la reacción, esta capa se organiza en forma de cristales de hidroxiapatita de calcio carbonatada^(34,35).

Los biovidrios han sido ampliamente estudiados en las ramas de la odontología y de la medicina, por sus diversas aplicaciones.

En la práctica diaria de la odontología los clínicos se enfrentan a casos de sensibilidad dentinaria, la hipótesis más aceptada de este fenómeno es la de la teoría hidrodinámica que sugiere que la hipersensibilidad dentinaria está causada por el movimiento del contenido (líquido) del túbulo dentinario ocasionado por los cambios térmicos y osmóticos⁽³⁴⁾. Actualmente existen varios productos que tratan este padecimiento, pero solo obliteran los túbulos dentinarios abiertos a través de la liberación de acetato de estroncio y arginina⁽³⁶⁾. Se ha demostrado que el uso de biomateriales y nanoestructuras que contengan fosfosilicato de calcio, sodio y biovidrios puede disminuir la sensibilidad dentinaria de manera más eficaz ya que reaccionan instantáneamente con los fluidos biológicos liberando miles de millones de iones minerales que quedan a disposición del proceso natural de remineralización en la cavidad oral, depositando apatita hidroxicarbonatada en los túbulos dentinarios reduciendo así la posibilidad de reabrir los túbulos dentinarios^(34,37).

5. NANOTECNOLOGÍA EN ODONTOLOGÍA RESTAURADORA.

El término nanotecnología es utilizado para describir cualquier tecnología realizada a escala “nanométrica”, donde un nanómetro (nm) equivale a una millonésima parte de un milímetro y el término nanopartícula (NP) define las partículas que se encuentran entre 1 y 100 nanómetros. Actualmente los materiales nanométricos son interés de estudio ya que presentan un aumento de sus propiedades físicas y químicas diferentes a su contraparte los materiales micrométricos (μm), estas propiedades hacen que las nanoestructuras tengan un alto potencial para resolver problemas en área la médica-odontológica^(38,39).

5.1 Materiales nanoestructurados en la odontología restauradora.

Los materiales nanoestructurados tienen en cuenta la compleja y jerárquica estructura de los dientes; también las características necesarias para imitar la nanoestructura original de los tejidos duros dentarios⁽³¹⁾. En este sentido, se puede definir que el esmalte dental es una biocerámica nanocompuesta con una importante resistencia que la protege de los daños físicos y químicos externos. Sus notables propiedades mecánicas están asociadas a su organización estructural jerárquica y a su profunda conexión con la dentina⁽⁴⁰⁾. Por otro lado, los túbulos dentinarios son estructuras cilíndricas delgadas que se extienden por todo el espesor de la dentina desde el complejo pulpar hasta la unión amelodentinaria, en su interior el túbulo contiene líquido tisular y la prolongación odontoblástica principal. El diámetro del túbulo dentinario es mayor en la parte más próxima a la pulpa contando con aproximadamente 4 μm de diámetro y el diámetro se reduce más acercándose a la zona periférica con diámetro aproximado a 1.7 μm ⁽⁴¹⁾.

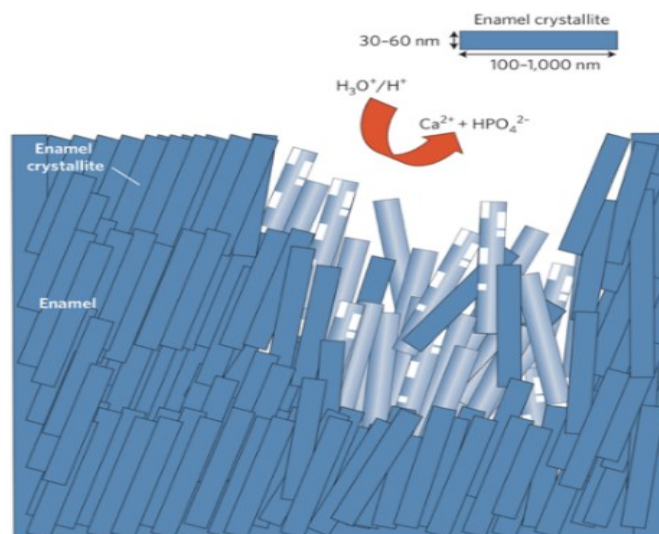


Figura 6. Cristales del esmalte dental⁽⁴²⁾.

Una de las principales diferencias que caracterizan a las nanopartículas (NPs) sobre su contraparte micrométrica es el incremento de la relación entre superficie y volumen a medida que el tamaño de la nanopartícula se reduce. En las nanopartículas con menor diámetro, el número de átomos que ocupan la superficie exterior es mayor que el número de átomos en el volumen encerrado, ésta característica de superficie favorece el incremento la reactividad de la nanopartícula, la eficiencia de absorción, la capacidad de hacerla funcional de una manera más eficiente⁽⁴³⁾.

Uno de los avances de la nanotecnología más notables en la odontología clínica se hizo cuando se desarrollaron nanopartículas (sílice) de relleno para resinas compuestas con un tamaño promedio de 25 a 40 nm. Este hecho fue de gran importancia ya que la incorporación de nanorelleno en las resinas permitió mejorar sus propiedades mecánicas y físicas, relacionando un menor tamaño de las partículas al incremento de la carga del relleno a la matriz orgánica, reduciendo así la contracción de la resina en el proceso de

fotocurado y aumentando su dureza, fuerza, flexibilidad, módulo de elasticidad. Esto también incrementó su estética, transparencia, debido a que las nanopartículas permiten un mejor pulido del compuesto^(5,43,44).

5.2 Nanopartículas de biovidrio en resinas dentales.

Especialistas en el tema de resinas compuestas creen que la aparición de caries secundaria podría ser un problema basado en el material restaurativo⁽¹³⁾. Este hallazgo sugiere una fuerte necesidad de desarrollar nuevas resinas compuestas dotadas de propiedades antimicrobianas y de remineralización para frenar la formación de caries secundaria y prolongar la vida de las restauraciones⁽⁴⁵⁾.

En general, se pueden distinguir tres estrategias principales para controlar los factores relacionados con el material^(13,45):

1. La incorporación de agentes antimicrobianos.
2. Agentes remineralizantes.
3. Elementos para controlar la contracción inherente del material y así tener un buen sellado de la interfase material-tejido.

Aunque ha existido un notable desarrollo en las propiedades estéticas y mecánicas de las resinas compuestas en las dos últimas décadas aún no se ha abordado el problema de la caries secundaria asociada a composites. Por lo tanto, el objetivo central de la innovación en las resinas compuestas de uso restaurativo debe centrarse en introducir a su estructura materiales bioactivos con la capacidad de prevenir la formación de caries secundaria. La reaparición de caries secundaria en los márgenes de las restauraciones puede inhibirse mediante interacciones específicas de los biomateriales dentales bioactivos con el entorno oral, a esta respuesta la conocemos actualmente como “bioactividad”. Estudios recientes demuestran que los efectos remineralizantes y antimicrobianos en resinas compuestas pueden conseguirse con la adición

de nanopartículas de biovidrio en la composición de la resina compuesta^(13,45-47).

Estos estudios permiten corroborar que las nanopartículas podrían ser más eficaces en el proceso de bioactividad que su contraparte de tamaño micro o macrométrico. Esto debido a que al disminuir su volumen aumenta considerablemente su área de superficie aumentando la velocidad de respuesta en el ambiente bucal, el intercambio iónico y aumentando la respuesta antibacteriana⁽⁴⁸⁾.

5.2.1 Propiedades físicas-mecánicas de resinas con nanopartículas de biovidrio.

En relación a las diferencias e impacto de las partículas a escala nanométrica y micrométrica, Odermatt⁽⁴⁸⁾ investigó la bioactividad producida por el biovidrio en 3 diferentes tamaños microparticulado (5.6 μm) nanoparticulado (70 nm) y un compuesto híbrido con ambos tamaños de partícula. Estos fueron incorporados a una resina compuesta y sumergidos en solución salina tamponada con fosfato durante 28 días. Los resultados indican que la muestra la que se le añadió nanopartículas tuvo una aceleración en el proceso bioactivo aumentado de manera rápida el pH y la precipitación de hidroxiapatita debido al rápido intercambio iónico relacionado al área de superficie aumentada de los materiales nanoestructurados.

El estudio concluyó que las nanopartículas de este material bioactivo mejoran el potencial alcalinizante y de formación de hidroxiapatita sin efectos negativos en su grado de conversión y microdureza. Demostrando así que son más eficaces que su contraparte nanométrica⁽⁴⁸⁾.

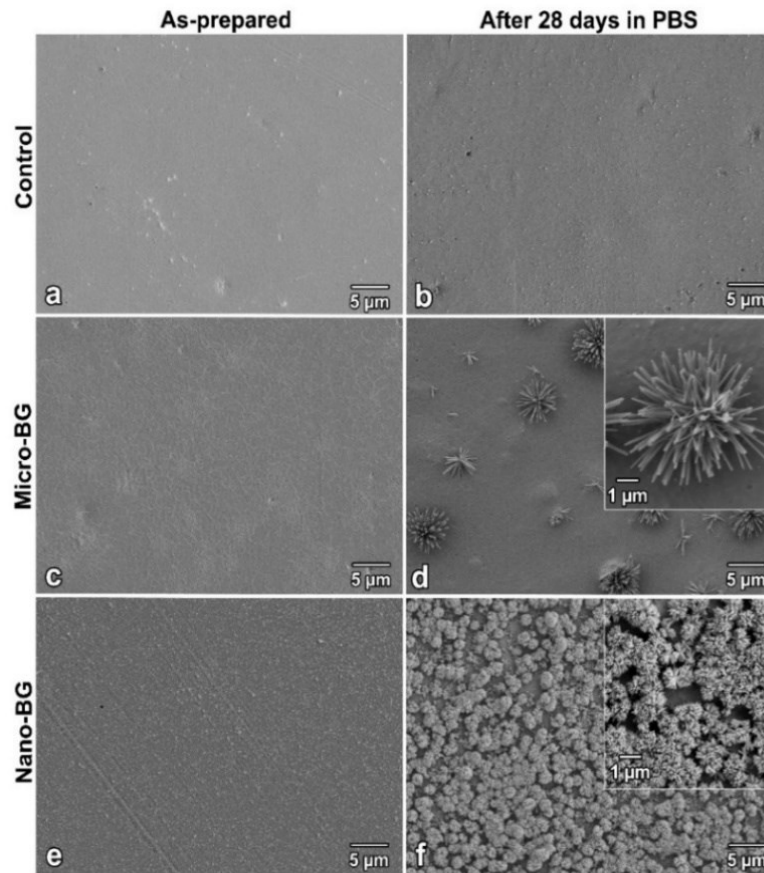


Figura 7. Imagen de microscopia electrónica de barrido en la que podemos observar la bioactividad en las muestras de resinas compuestas que se prepararon con diferentes medidas de partículas de biovidrio⁽⁴⁸⁾.

En relación a la influencia de la incorporación de biovidrios en las propiedades mecánicas de los materiales dentales de restauración, los estudios han mostrado resultados diversos⁽¹⁷⁾.

Khvotenko y col.⁽⁴⁹⁾ experimentaron la incorporación micro y nano de partículas de biovidrio en un rango de 3 μm y 40 nm en una resina fluida. Las muestras fueron sometidas a pruebas de resistencia a la flexión, resistencia a la fractura y crecimiento de grietas por fatiga después de ser sumergidos en agua desionizada, dos meses en infusión cerebro-corazón más bacterias *Streptococcus mutans*, los resultados se compararon con los obtenidos del

estudio de una resina comercial, los resultados fueron de alto interés al observar que las propiedades mecánicas de la resina experimental mostraban una mejora en comparación de los obtenidos de la resina comercial sin biovidrio. Comprobaron que en presencia de una carga del 15% de material bioactivo en la resina las propiedades mecánicas eran las adecuadas y estables en relación con los compuestos comerciales actuales lo que indica que no tiene algún efecto contraproducente el añadir hasta un 15% de peso en biovidrio a las resinas compuestas.

Con respecto al sellado de interfaces las nanopartículas de biovidrio incorporadas a las resinas compuestas le traen diferentes ventajas sobre las resinas comunes, aparte de demostrar una reducción en la agregación de biopelícula en la superficie de la resina.

Basado en la teoría del reforzamiento de polímeros con nanorelleno Sauro y col.⁽⁵⁰⁾ demostraron que las nanopartículas de biovidrio optimizan las propiedades mecánicas del biomaterial, debido a que por su menor tamaño es posible incorporar una mayor cantidad de relleno a la resina compuesta ya que un mayor contenido de nanopartícula reduce la movilidad de cadenas de polímero, al disminuir el espacio entre cada molécula controlando así el grado de contracción, mejorando las propiedades mecánicas y su estabilidad en la cavidad oral.

Sumado a esta cualidad se ha demostrado que estas resinas experimentales pueden ayudar a conseguir una interfase más estable al remineralizarla creando una capa mineral de hidroxiapatita y así obtener un sellado más adecuado entre el tejido dentario y material restaurativo, evitando la microfiltración en la interfase, lo cual podría ayudar a aumentar la longevidad de la restauración, al reducir la entrada de agentes bacterianos responsables de la caries secundaria⁽⁵¹⁾.

Tapia⁽⁵¹⁾ sintetizó nanopartículas de biovidrio con adición de fluoruro y las incorporó en una resina compuesta con el propósito de comprobar si efectivamente la combinación de estos elementos podría inducir un efecto remineralizante en los tejidos a través de la formación de una capa de hidroxiapatita en la interfase material-tejido.

Una vez sintetizado el material procedió a colocarlo en dientes extraídos, utilizando como método comparativo o muestra control una resina hecha en laboratorio, una resina comercial, una resina a la que se le incorporó nanopartículas de hidroxiapatita y fluoruro, y una resina con incorporación de biovidrio con adición de fluoruro. Para simular las condiciones del ambiente de la cavidad bucal las sumergió durante siete días en fluido corporal simulado para comprobar la capacidad de los materiales para inducir una mineralización de apatita y posteriormente analizar a través de imágenes de microscopía electrónica de barrido. Los resultados fueron los siguientes:

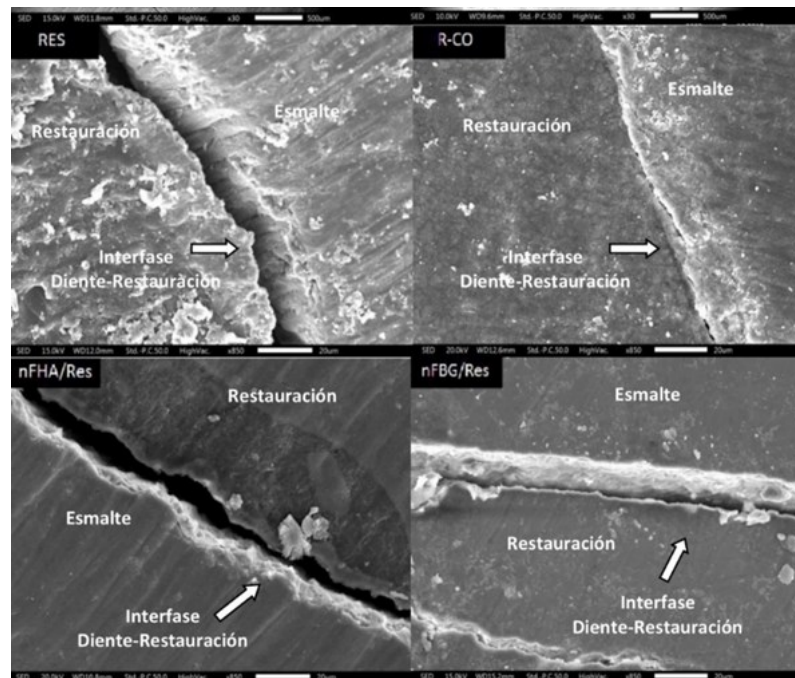


Figura 8. Imagen de microscopía electrónica de barrido mostrando la superficie de la restauración antes de sumergirse en fluido corporal simulado⁽⁵¹⁾.

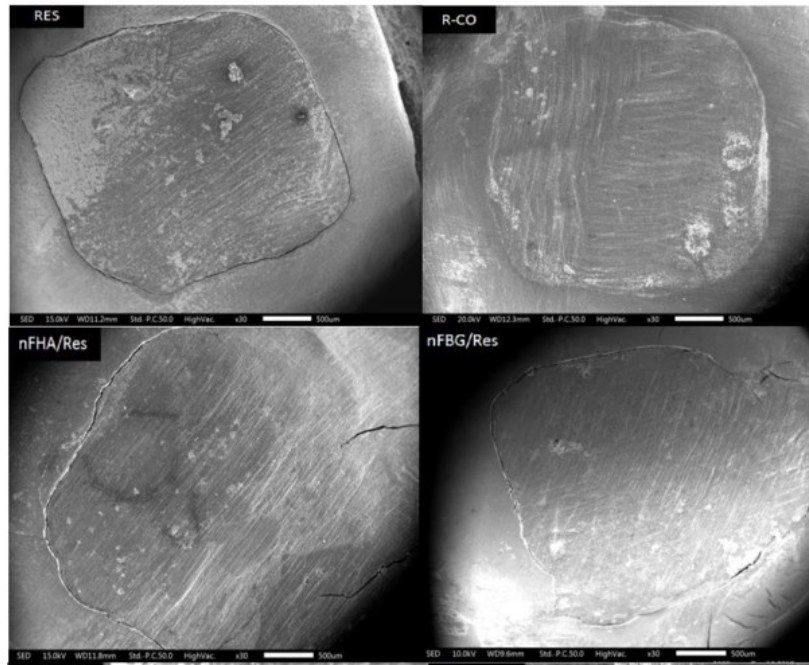


Figura 9. Imagen de microscopía electrónica de barrido en la que se observa la interfase resina-tejido antes de sumergirse en fluidos corporales simulados. RES: Resina control (1), R-CO: Resina comercial, nFHA/Res: Resina con nanopartículas de hidroxiapatita dopada de flúor, nFBG/Res: Resina con nanopartículas de biovidrio dopado con flúor⁽⁵¹⁾.

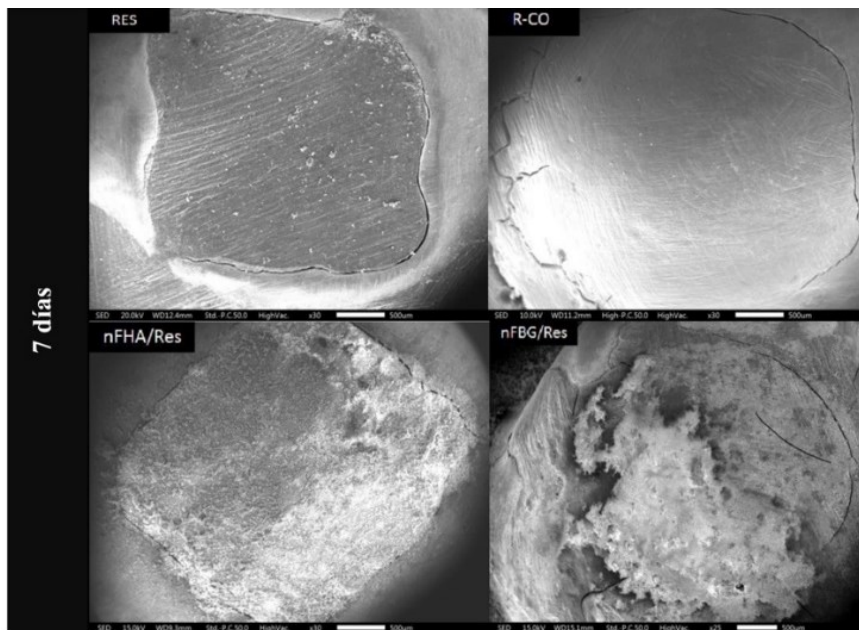


Figura 10. Imagen de la superficie de las resinas después de pasar 7 días sumergidos en fluidos corporales simulados⁽⁵¹⁾.

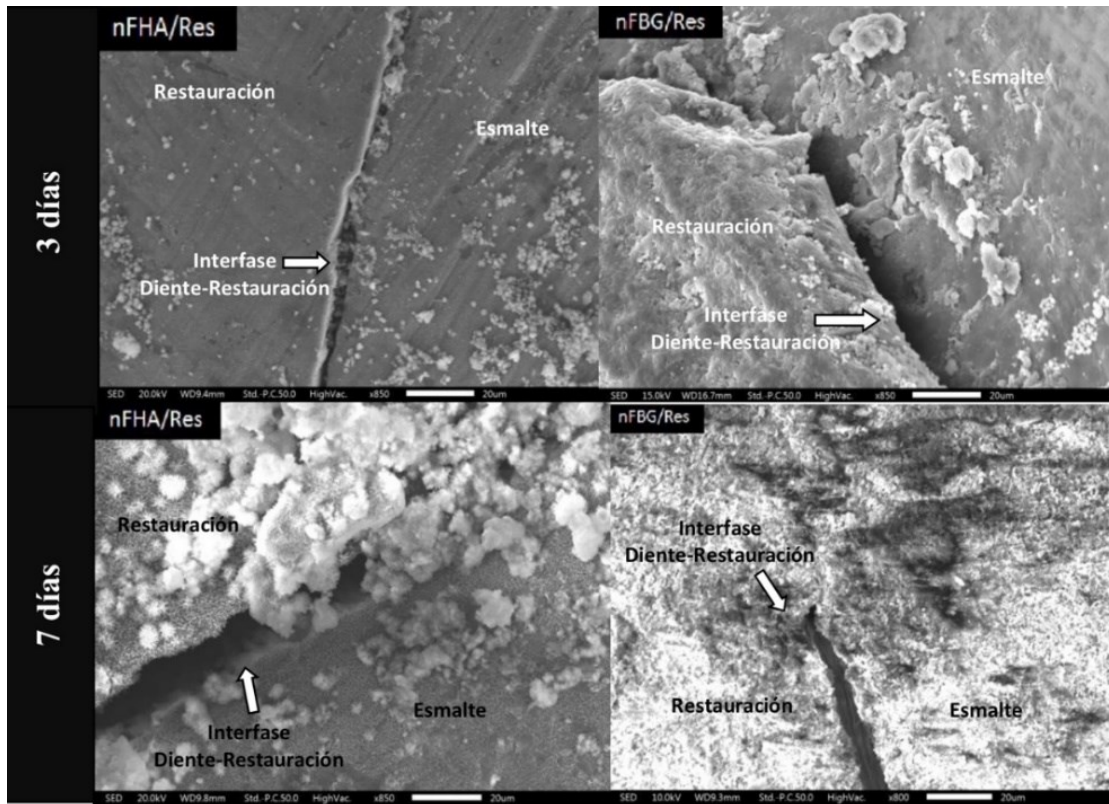


Figura 11. Imagen de microscopia electrónica de barrido de las superficies de las resinas con nanopartículas de materiales bioactivos tomadas a los 3 y 7 días después de ser sumergidos en fluidos corporales simulados. Se puede observar una clara formación de cristales de hidroxapatita a lo largo de la interfase y en el margen de la restauración⁽⁵¹⁾.

Las propiedades mecánicas de las resinas con incorporación de nanopartículas de materiales bioactivos demostraron tener mejor resistencia a la compresión que las resinas compuestas de control⁽⁵¹⁾.

5.2.2 Propiedades antimicrobianas en resinas con nanopartículas de biovidrio.

Estudios *in vitro* de una resina con un 15% de biovidrio micro y nanoestructurado (3 μm y 40 nm) añadido han demostrado tener una efectividad antimicrobiana. Se observó que la penetración bacteriana se vio

reducida en las muestras en las que se incorporó el biovidrio en comparación de las resinas del grupo control que no fueron incorporadas con el material bioactivo.

El estudio concluyó que esta proporción del 15% en biovidrio micro y nano estructurado en el material resinoso demostró ser efectiva, proveer al material de actividad antibacteriana al reducir la extensión de la penetración de la biopelícula bacteriana sin afectar las propiedades mecánicas⁽⁴⁵⁾.

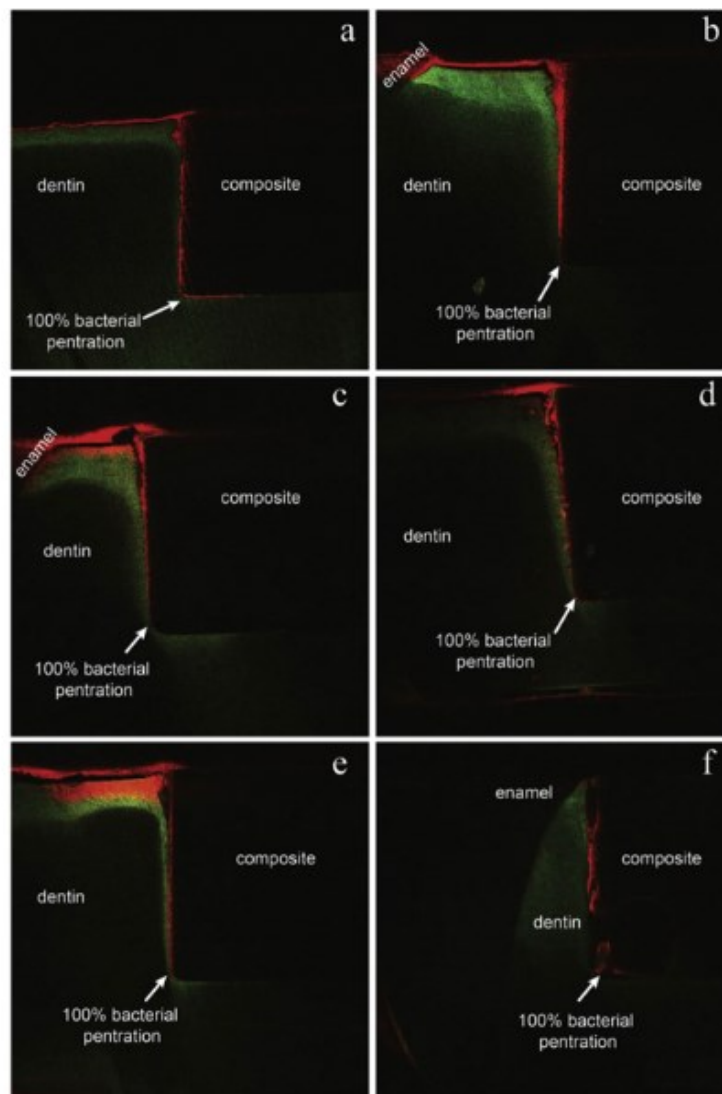


Figura 13. En la que podemos observar a través de la fluorescencia que bacterias han entrado (color rojo) a través de las paredes y piso de cavidad en restauraciones hechas con composite comercial⁽⁴⁵⁾.

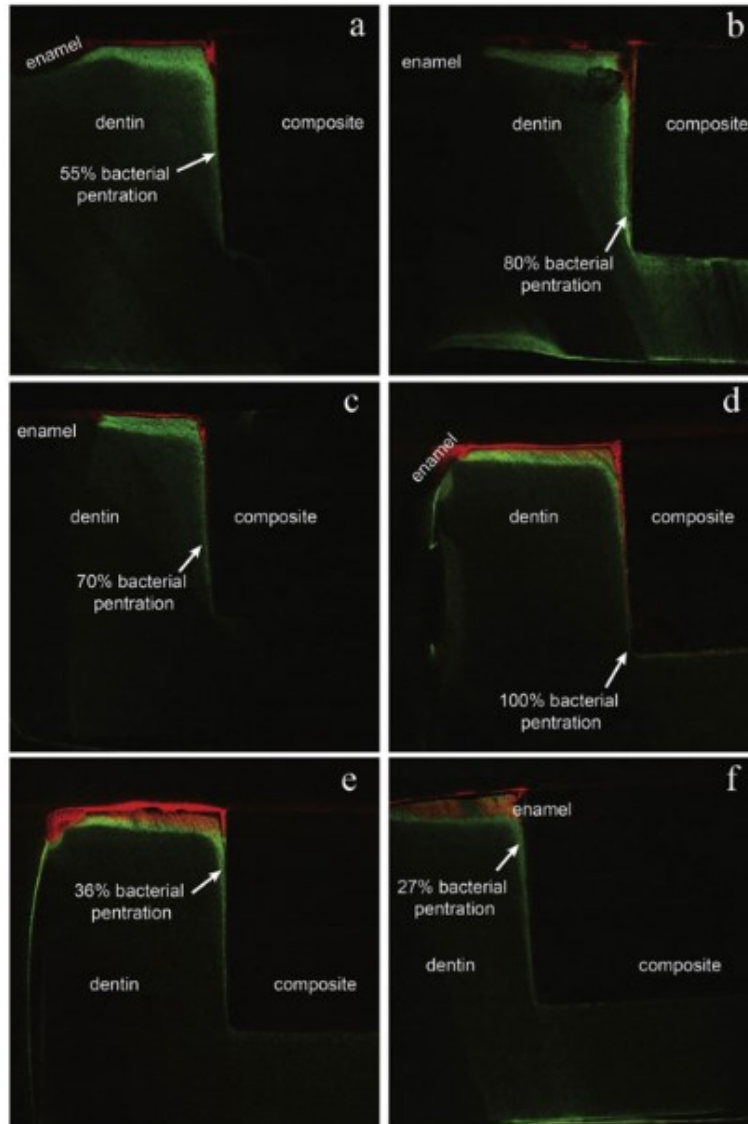


Figura 14. Imagen de fluorescencia en la que podemos observar que las resinas con 15% de biovidrio incorporado tienen una actividad antibacteriana al reducir el porcentaje de bacterias que penetran en el margen y piso de la restauración⁽⁴⁵⁾.

El estudio concluyó que la liberación de iones en la interfase puede ayudar a controlar la química local creando un ambiente no propicio para el desarrollo bacteriano y la propagación de la biopelícula⁽⁴⁵⁾.

Como lo mencionamos anteriormente, el proceso de síntesis por sol-gel es utilizado para la síntesis de biovidrios y es tan versátil que pueden ser

incorporados varios elementos como plata (Ag), cobalto (Co), cobre (Cu) y galio (Ga), que pueden dotar de una propiedad antimicrobiana más acentuada a la resina compuesta, que es más afectiva ante los agentes infecciosos⁽⁵²⁾. La plata ha sido uno de los elementos estudiados como antimicrobiano ya que se ha demostrado que es capaz de ocasionar la destrucción de enzimas esenciales para la homeostasis de las bacterias y la inhibición de la reproducción bacteriana⁽²⁸⁾.

En orden de reducir la biopelícula bacteriana concentrada en el margen de restauraciones de resina compuesta diversos estudios se han enfocado en el estudio de la incorporación de nanopartículas de plata al sistema de biovidrio. El tamaño de estas NPs de Ag incorporadas al sistema de biovidrio facilita abarcar una mayor superficie para entrar en contacto directo con el microorganismo y por lo tanto interactúan de mejor manera que las partículas de tamaño micrométrico. Estudios como el de Amjad y Ghani⁽⁵³⁾ concluyeron a través de la experimentación con una resina con incorporación de nanopartículas de plata (0.009%) y partículas de biovidrio (5%,10% y 15%)de un tamaño de 0.9-1 μm que las propiedades mecánicas se veían reducidas y que no deberían ser consideradas para usar como material restaurativo en sector posterior, sin embargo los resultados de sus probetas G2, G3, G4 y G5 tenían valores de resistencia a la flexión similares a algunas resinas híbridas comerciales. Los autores aseguran que este material experimental podría comercializarse para restauraciones de clase III y V en donde las tensiones debidas a las fuerzas masticatorias no serían la principal preocupación.

5.2.3 Propiedad remineralizante de las resinas compuestas con nanopartículas de biovidrio.

En las últimas décadas el tratamiento de las lesiones cariosas ha tenido muchas modificaciones y distintos abordajes. El entendimiento de la etiología de la caries dental, la morfología y fisiología dentinaria, y el desarrollo de

nuevos biomateriales dentales, han hecho posible realizar tratamientos mínimamente invasivos. Esta nueva tendencia en el tratamiento de las lesiones dentinarias debe impulsar al desarrollo de materiales bioactivos que hagan posible la recuperación, reparación o regeneración de la dentina mediante la imitación de los mecanismos fisiológicos de mineralización, así reponiendo de la manera más eficaz las propiedades mecánicas originales del tejido dentario obteniendo un resultado clínico exitoso⁽⁵⁴⁾.

El tejido dentinario afectado por las lesiones cariosas remanente mantenido en la preparación cavitaria después de la eliminación del tejido infectado es potencialmente reparable a través de biomateriales bioactivos⁽⁵⁵⁾. El manejo actual de las lesiones cariosas consiste en la eliminación solo de la dentina infectada externa mientras la dentina remeneralizable interior es conservada. Sin embargo la profundidad de la lesión puede extenderse cientos de micras por debajo de la superficie excavada⁽⁵⁴⁾.

En relación al biovidrio y su capacidad para remineralizar los tejidos dentinarios y ocluir mecánicamente los túbulos dentinarios, se observó que los iones del vidrio penetran en el tejido dentinario, mientras la superficie del vidrio en contacto con la dentina se altera formándose una apatita en la interfase⁽⁵⁶⁾. La microdureza está relacionada con el módulo elástico, que varía con el contenido mineral existente en los tejidos dentarios Jang y col.⁽⁵⁷⁾ comprobaron el proceso de remineralización a través del estudio de una resina compuesta experimental con micropartículas de vidrio bioactivo de 0.04 a 0.03 μm , en el que se vio un aumento en la microdureza de la dentina desmineralizada adyacente a la restauración.

Estudios actuales indican que la nanotecnología podría proporcionar nuevas estrategias en la odontología preventiva para hacer más efectivo el manejo de la biopelícula bacteriana dental y la remineralización⁽⁴²⁾.

Un estudio reciente se encargó de analizar la capacidad de formar una mineralización en los túbulos dentinarios inducida por tres tamaños de micro y nanopartículas de biovidrio. Sintetizaron micropartículas de biovidrio del tamaño de 2-20 μm , 500 nm y 20-30 nm para comparar la respuesta de bioactividad de los diferentes tamaños de partícula⁽⁵⁸⁾.

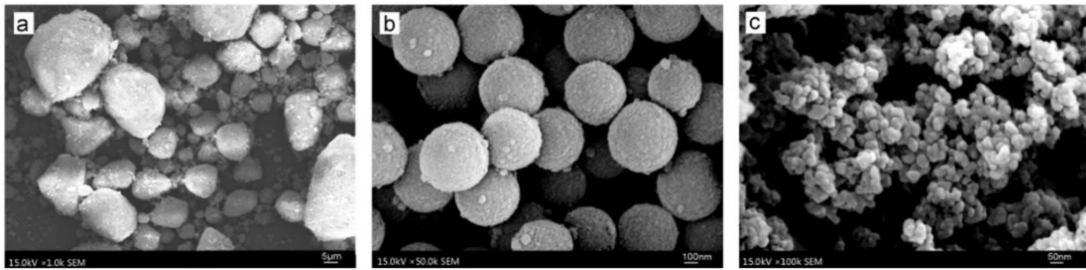


Figura 15. Morfología superficial de los tres tamaños de micro y nanopartículas utilizadas en este estudio⁽⁵⁸⁾.

Las nanopartículas de biovidrio aumentan su área de superficie cuando su volumen disminuye esto se traduce en una rápida respuesta bioactiva al liberar rápidamente iones al medio y una mejora de sus propiedades antimicrobianas al incrementar de manera rápida el pH. Considerando el tamaño de los túbulos dentinarios y el diámetro nanométrico de las estructuras que componen al esmalte la aplicación de partículas de tamaño nanométrico a los túbulos dentinarios parece haber aumentado los efectos oclusivos de los túbulos dentinarios y la remineralización del esmalte^(42,48,59).

Table 1

The surface areas, total pore volumes and average pore diameters of BG.

Sample	Surface area ($\text{m}^2 \text{g}^{-1}$)	Total pore volume ($\text{cm}^3 \text{g}^{-1}$)	Average pore diameter (nm)
<i>m</i> -BG	28.020 ± 0.1	0.113 ± 0.01	15.5042 ± 0.02
<i>sm</i> -BG	38.087 ± 0.1	0.382 ± 0.01	4.015 ± 0.03
<i>n</i> -BG	63.545 ± 0.2	0.230 ± 0.01	15.0104 ± 0.03

Figura 16. En la que podemos comprobar que cuando más se reduce el tamaño de la partícula más aumenta el área de superficie⁽⁵⁸⁾.

Una vez fabricadas las micro y nanopartículas de biovidrio se procedió a realizar una recolección de dientes extraídos para aplicar los materiales previamente sintetizados. Ya adecuada la superficie e implantados los biovidrios se procedió a sumergirlos en saliva artificial por dos semanas, después se procedió a analizarlos por medio de microscopia electrónica de barrido, la última prueba consistió en sumergirlos durante dos minutos en refresco de cola para poder observar la desmineralización por medio de microscopia. Los resultados concluyeron en que la mineralización de las nanopartículas que iban de un rango de 20-30 nm fue la más eficaz para poder ocluir el túbulo dentinario, también se observó que en la prueba de sumersión en refresco de cola para medir el grado de desmineralización de la muestra que fue tratada con nanopartículas de 20-30 nm se mantuvo estable, mientras que las muestras que fueron tratadas con partículas de 2-20 μm y 500 nm no pudieron mantenerse de forma estable y se desprendieron en su mayoría⁽⁵⁸⁾.

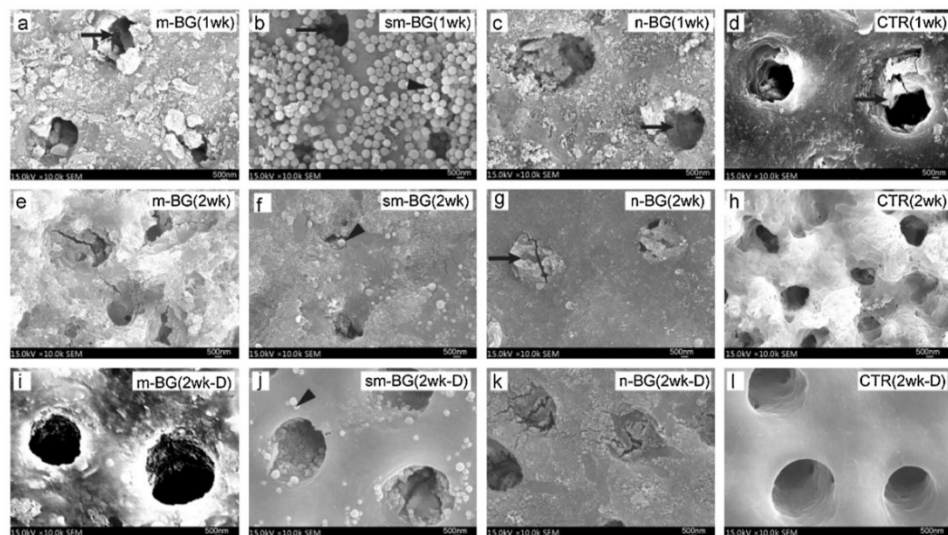


Figura 17. Imagen en la que podemos observar ver los depósitos minerales formados por las diferentes medidas de micro y nanopartículas después de ser sumergidos en saliva artificial por dos semanas y en refresco de cola por dos minutos. m-BG: Biovidrio microparticulado, sm-BG: Biovidrio mono disperso, n-BG: Biovidrio nanoparticulado, CTR: muestra control⁽⁵⁸⁾.

6. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS.

La incorporación de las nanopartículas a base de biovidrios en las resinas compuestas potencializan sus propiedades físicas y mecánicas. Asimismo, estudios señalan que también proporcionan propiedades antimicrobianas y remineralizantes, lo que podría brindar tratamientos de mayor calidad y durabilidad para el paciente fortaleciendo el desarrollo de nuevos biomateriales nanoestructurados.

Es importante señalar que existe una clara y marcada diferencia entre el tamaño de partícula ocupada en los estudios mencionados en esta tesina, comprobando así las ventajas de las nanopartículas sobre su contraparte micrométrica. La nanotecnología nos ha permitido comprender de mejor forma la compleja jerarquización de la estructura anatómica del órgano dental y ésta también nos puede ayudar a mejorar los biomateriales existentes ya que estos podrían adaptarse de mejor manera si se diseñan para interactuar con un tejido que también esta nanoestructurado.

Aunque este biomaterial sigue en etapa de estudio, las evidencias sugieren que existen suficientes fundamentos que podrían demostrar su eficacia en el uso clínico. Además, la implementación de adhesivos que contengan las nanopartículas de biovidrio ayudaría a generar una sinergia con la resina generando así la solución a la caries asociada a la restauración con resina compuesta.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.

1. Duffo G. Materiales y materias primas. En: InstNalEducTecnol [Internet]. 2011 [citado el 3 de febrero de 2021]. p. 1–43. Disponible en: <http://www.inet.edu.ar/wp-content/uploads/2012/11/biometales.pdf>
2. Lizarbe MA. Sustitutivos de tejidos: De los biomateriales a la ingeniería tisular. CiencExactFísNat (Esp) [Internet]. 2007 [citado el 3 de febrero de 2021];101(1):227–49. Disponible en: <https://rac.es/ficheros/doc/00483.pdf>
3. Copete López H. Biomateriales: calidad de vida. RevVirtPro [Internet]. 2015 [citado el 5 de febrero de 2021];162:4-. Disponible en: <https://www.virtualpro.co/editoriales/20150701-ed.pdf>
4. Reyes-Blas H, Olivas-Armendáriz I, Martel-Estrada SA, Valencia-Gómez LE. Uso de Biomateriales Funcionalizados con Moléculas Bioactivas en la Ingeniería Biomédica. Rev Mex Ing Biomed [Internet]. el 1 de septiembre de 2019 [citado el 8 de febrero de 2021];40(3):20. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-95322019000300009&lng=es&nrm=iso&tlng=es
5. Riva YR, Rahman SF. Dental composite resin: A review. En: AIP Conference Proceedings [Internet]. American Institute of Physics Inc.; 2019 [citado el 1 de marzo de 2021]. p. 6. Disponible en: <https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.5139331>
6. Krishna Alla R, Mohammed S, Krishna Ravi R, Shammam M, Devarhubli A. Dental Composites-A Versatile Restorative Material: An Overview. Indian J Dent Sci [Internet]. 2013 [citado el 1 de marzo de 2021];5(5):111–5. Disponible en: www.ijds.in
7. Carrillo Sánchez C, Monroy Pedraza M. Materiales de resinas compuestas y su polimerización. Rev ADM [Internet]. 2009 [citado el 2 de marzo de 2021];65(4):10–7. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/adm/od-2009/od094b.pdf>
8. Ferracane JL. Resin composite - State of the art. Dent Mater [Internet]. enero de 2011 [citado el 1 de marzo de 2021];27(1):29–38. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S010956411000463X>
9. World Health Organization. Future Use of Materials for Dental Restoration [Internet]. WHO; 2010 [citado el 3 de marzo de 2021]. 3–12 p. Disponible en: https://www.who.int/oral_health/publications/dental_material_2011.pdf
10. Rekow ED, Fox CH, Watson T, Petersen PE. Future innovation and

research in dental restorative materials. *Adv Dent Res* [Internet]. el 1 de noviembre de 2013 [citado el 3 de marzo de 2021];25(1):2–7. Disponible en: <https://moscow.sci-hub.se/3301/7b63bb3c36e7cef96dd29c4d6bc647d2/rekow2013.pdf?download=true>

11. Martínez GE, Estelrich MJ, Bermúdez S. Bioactividad en odontología restauradora. *Fac Odontol UNCuyo* [Internet]. 2016 [citado el 4 de febrero de 2021];10(2):6. Disponible en: https://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/10852/martinezrfo-1022016.pdf
12. Korkut E, Torlak E, Altunsoy M. Antimicrobial and mechanical properties of dental resin composite containing bioactive glass. *J Appl Biomater Funct Mater* [Internet]. 2016 [citado el 2 de marzo de 2021];14(3):296–301. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27149938/>
13. Nedeljkovic I, Teughels W, De Munck J, Van Meerbeek B, Van Landuyt KL. Is secondary caries with composites a material-based problem? *Dent Mater* [Internet]. el 1 de noviembre de 2015 [citado el 2 de marzo de 2021];31(11):247–77. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0109564115003978>
14. Par M, Tarle Z. Bioactive dental composite materials. *Med Sci* [Internet]. 2018 [citado el 3 de marzo de 2021];533(45):83–99. Disponible en: <https://hrcak.srce.hr/file/296084>
15. Cáceres M, Mederos M, Cuevas C, Maglione F, Grazioli G. Estudio in vitro de la relación entre resistencia de unión a esmalte dental y microfiltración en resinas compuestas fotopolimerizables. *Odontoestomatología* [Internet]. el 6 de junio de 2020 [citado el 10 de marzo de 2021];22(35):38–49. Disponible en: http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?pid=S1688-93392020000100038&script=sci_arttext
16. Eman M S, Ibrahim L E, Adel A KA. Effect of Preheating on Microleakage and Microhardness of Composite Resin (An In Vitro Study). *Alexandria Dent J* [Internet]. el 1 de abril de 2016 [citado el 10 de marzo de 2021];41(1):4–11. Disponible en: http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?pid=S1688-93392020000100038&script=sci_arttext
17. Garchitorea MI. Vidrios bioactivos en odontología restauradora. *Odontoestomatología* [Internet]. el 12 de diciembre de 2019 [citado el 11 de marzo de 2021];21(34):33–43. Disponible en: http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1688-93392019000200033

18. Jokstad A. Secondary caries and microleakage. En: Dental Materials [Internet]. Elsevier Inc.; 2016 [citado el 8 de marzo de 2021]. p. 11–25. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/313333506_Secondary_caries_and_microleakage
19. Hench LL. The story of Bioglass®. J Mater Sci Mater Med [Internet]. noviembre de 2006 [citado el 8 de febrero de 2021];17(11):967–78. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17122907/>
20. Hench L, Allen WC, Greenlee TK. Bonding mechanisms at the interface of ceramic prosthetic materials. J Biomed Mater Res [Internet]. 1971 [citado el 7 de febrero de 2021];5(6):117–41. Disponible en: <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a053826.pdf>
21. Reyes J, García MV. La Hidroxiapatita, su Importancia en los Tejidos Mineralizados y su Aplicación Biomédica. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas [Internet]. 2006 [citado el 9 de febrero de 2021];9(2):90–5. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43211937005>
22. Melero H, Fernández J, Guilemany JM. Recubrimientos bioactivos: Hidroxiapatita y titania [Internet]. Vol. 19, Universidad de Barcelona, Facultad de Química. . 2011 [citado el 9 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/41789105.pdf>
23. Aguiar H, Serra J, González P. Los vidrios bioactivos en el mundo de los biomateriales. . Real Soc Española Química [Internet]. 2011 [citado el 8 de febrero de 2021];107(3):237–42. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/230600589_Los_vidrios_bioactivos_en_el_mundo_de_los_biomateriales
24. Curiá Chíncoa A. Vidrios Bioactivos para la Fabricación de Scaffolds en la Regeneración del Tejido Óseo. [Internet]. Facultad de Farmacia, Universidad Complutense. 2016 [citado el 18 de febrero de 2021]. Disponible en: <https://eprints.ucm.es/id/eprint/49158/>
25. Boccaccini A, Chen Q, Roether J. Tissue Engineering Scaffolds from Bioactive Glass and Composite Materials [Internet]. Vol. 4, Oulu University. 2008 [citado el 18 de febrero de 2021]. 27 p. Disponible en: https://www.oulu.fi/spareparts/ebook_topics_in_t_e_vol4/abstracts/q_ch_en.pdf
26. Vichery C, Nedelec JM. Bioactive glass nanoparticles: From synthesis to materials design for biomedical applications. Materials (Basel) [Internet]. 2016 [citado el 25 de febrero de 2021];9(4):17. Disponible en: https://res.mdpi.com/d_attachment/materials/materials-09-00288/article_deploy/materials-09-00288.pdf
27. Bagheri R. Bioactive Glasses in Dentistry: A Review Direct Restorations

of root filled teeth View project resin composites View project Bioactive Glasses in Dentistry: A Review [Internet]. Vol. 2, Journal of Dental Biomaterials. 2015 [citado el 9 de marzo de 2021]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/277608476>

28. Lee JH, Seo SJ, Kim HW. Bioactive glass-based nanocomposites for personalized dental tissue regeneration. *Dent Mater J* [Internet]. 2016 [citado el 11 de marzo de 2021];35(5):710–20. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/306329312_Bioactive_glass-based_nanocomposites_for_personalized_dental_tissue_regeneration
29. Farooq I, Ali S, Husain S, Khan E, Hill RG. Bioactive glasses—structure and applications. En: *Advanced Dental Biomaterials* [Internet]. Elsevier; 2019 [citado el 23 de marzo de 2021]. p. 453–73. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/330666384_Bioactive_glasses_-_Structure_and_applications
30. Skallevoid HE, Rokaya D, Khurshid Z, Zafar MS. Bioactive glass applications in dentistry. *Int J Mol Sci* [Internet]. el 1 de diciembre de 2019 [citado el 15 de febrero de 2021];20(23):24. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6928922/>
31. Polini A, Bai H, Tomsia AP. Dental applications of nanostructured bioactive glass and its composites. *Wiley Interdiscip Rev Nanomedicine Nanobiotechnology* [Internet]. julio de 2013 [citado el 23 de febrero de 2021];5(4):399–410. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3683357/>
32. Sarin S, Rekhi A. Bioactive glass: A potential next generation biomaterial. *SRM J Res Dent Sci* [Internet]. 2016 [citado el 15 de febrero de 2021];7(1):27. Disponible en: <http://www.srmjrds.in>
33. Monjes JF, María Maresca B, Bregni C. Biocerámicos: Aspectos Fármaco-Tecnológicos y Clínicos de Uso Odontológico. *Revista del Ateneo Argentino de Odontología* [Internet]. 2020 [citado el 2 de marzo de 2021];62(1):31–8. Disponible en: <https://www.ateneo-odontologia.org.ar/articulos/lxii01/revista202001.pdf>
34. Castellanos J, María Marín Gallón L, Alejandra Castiblanco Rubio G, Úsuga M. La remineralización del esmalte bajo el entendimiento actual de la caries dental. *Univ Odontológica* [Internet]. 2013 [citado el 16 de febrero de 2021];32(69):49–59. Disponible en: <http://www.javeriana.edu.co/universitasodontologica>
35. Anne A, Castañeda H, Cristina G, Moya A. Características y Propiedades Físico-Químicas de la Saliva: Una Revisión. *Rev Usta Salud* [Internet]. 12d. C. [citado el 18 de febrero de 2021];11(2):102–12. Disponible en: http://revistas.ustabuca.edu.co/index.php/USTASALUD_ODONTOLOGI

A/article/view/1123

36. Espinoza J, González L, Ruiz P. Tratamiento de la hipersensibilidad dentinaria post terapia periodontal, mediante el uso de dos dentífricos desensibilizantes. *Rev clínica periodoncia, Implantol y Rehabil oral* [Internet]. 2013 [citado el 16 de febrero de 2021];6(2):78–82. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/piro/v6n2/art06.pdf>
37. Kumar A, Singh S, Thumar G, Mengji A. Bioactive Glass Nanoparticles (NovaMin®) for Applications in Dentistry. *IOSR J Dent Med Sci e-ISSN* [Internet]. 2015 [citado el 16 de febrero de 2021];14(8):30–5. Disponible en: www.iosrjournals.org
38. Padilla-Vaca F, Mendoza-Macías CL, Franco B, Anaya-Velázquez F, Ponce-Noyola P, Flores-Martínez A. El mundo micro en el mundo nano: importancia y desarrollo de nanomateriales para el combate de las enfermedades causadas por bacterias, protozoarios y hongos. *Mundo Nano Rev Interdiscip en Nanociencia y Nanotecnología* [Internet]. el 29 de junio de 2018 [citado el 22 de febrero de 2021];11(21):15. Disponible en: <http://www.mundonano.unam.mx/ojs/index.php/nano/article/view/62591>
39. Mulvaney P. Nanoscience vs nanotechnology-defining the field. *ACS Nano* [Internet]. el 24 de marzo de 2015 [citado el 22 de febrero de 2021];9(3):2215–7. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/acsnano.5b01418>
40. Moradian-Oldak J. Protein-mediated enamel mineralization. *Front Biosci* [Internet]. 2012 [citado el 21 de febrero de 2021];17:43. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3442115/>
41. Alano Díaz S. Alteraciones de la Dentina con el Envejecimiento. *Revista de la Facultad de Odontología, Universidad de Buenos Aires* [Internet]. 2018 [citado el 23 de febrero de 2021];33(75):9. Disponible en: www.odontologia.uba.ar
42. Hannig M, Hannig C. Nanomaterials in preventive dentistry [Internet]. Vol. 5, *Nature Nanotechnology*. Nature Publishing Group; 2010 [citado el 15 de marzo de 2021]. p. 565–9. Disponible en: <https://uploads.carifree.com/2017/04/nanomaterials-in-preventitive-dentistry.pdf>
43. Jandt KD, Watts DC. Nanotechnology in dentistry: Present and future perspectives on dental nanomaterials. *Dent Mater* [Internet]. el 1 de noviembre de 2020 [citado el 4 de marzo de 2021];36(11):1365–78. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0109564120302177>
44. Cantín ML, Vilos CO, Suazo IG. Nanodontología: el Futuro de la

- Odontología Basada en Sistemas Nanotecnológicos Nanodentistry: the Future of Dentistry Based on Nanotechnology Systems. *Int J Odontostomat* [Internet]. 2010 [citado el 4 de marzo de 2021];4(2):127–32. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ijodontos/v4n2/art05.pdf>
45. Khvostenko D, Hilton TJ, Ferracane JL, Mitchell JC, Kruzic JJ. Bioactive glass fillers reduce bacterial penetration into marginal gaps for composite restorations. *Dent Mater* [Internet]. el 1 de enero de 2016 [citado el 6 de marzo de 2021];32(1):73–81. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4696903/>
 46. Nedeljkovic I, De Munck J, Vanloy A, Declerck D, Lambrechts P, Peumans M, et al. Secondary caries: prevalence, characteristics, and approach. *Clin Oral Investig* [Internet]. el 1 de febrero de 2020 [citado el 16 de marzo de 2021];24(2):683–91. Disponible en: <https://dacemirror.sci-hub.se/journal-article/1c8282b56bb1dd47d1b14e7a90b0dd94/nedeljkovic2019.pdf?download=true>
 47. Chatzistavrou X, Lefkelidou A, Papadopoulou L, Pavlidou E, Paraskevopoulos KM, Christopher Fenno J, et al. Bactericidal and bioactive dental composites. *Front Physiol* [Internet]. el 16 de febrero de 2018 [citado el 16 de marzo de 2021];9(103):1–11. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/323223936_Bactericidal_and_Bioactive_Dental_Composites/fulltext/5a86de05aca272017e5a1279/Bactericidal-and-Bioactive-Dental-Composites.pdf?origin=publication_detail
 48. Odermatt R, Par M, Mohn D, Wiedemeier DB, Attin T, Tauböck TT. Bioactivity and Physico-Chemical Properties of Dental Composites Functionalized with Nano- vs. Micro-Sized Bioactive Glass. *J Clin Med* [Internet]. el 12 de marzo de 2020 [citado el 15 de marzo de 2021];9(3):1–13. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/339896553_Bioactivity_and_Physico-Chemical_Properties_of_Dental_Composites_Functionalized_with_Nano_vs_Micro-Sized_Bioactive_Glass
 49. Khvostenko D, Mitchell JC, Hilton TJ, Ferracane JL, Kruzic JJ. Mechanical performance of novel bioactive glass containing dental restorative composites. *Dent Mater* [Internet]. noviembre de 2013 [citado el 16 de marzo de 2021];29(11):1–22. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/256836406_Mechanical_performance_of_novel_bioactive_glass_containing_dental_restorative_composites
 50. Sauro S, Osorio R, Fulgêncio R, Watson TF, Cama G, Thompson I, et al. Remineralisation properties of innovative light-curable resin-based

- dental materials containing bioactive micro-fillers. *J Mater Chem B* [Internet]. el 28 de mayo de 2013 [citado el 12 de marzo de 2021];1(20):2624–38. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/236231008_Remineralsation_properties_of_innovative_light-curable_resin-based_dental_materials_containing_bioactive_micro-filler
51. Tapia V. Síntesis de Resinas Compuestas a Base de Nanopartículas Cerámicas con Propiedades Remineralizante y de Liberación de Fluoruro. [Internet]. Facultad de Odontología de la Universidad de Chile . 2017 [citado el 12 de marzo de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/144979/Síntesis-de-resinas-compuestas-a-base-de-nanopartículas-cerámicas-con-propiedades-remineralizante-y-de-liberación-de-fluoruro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
 52. Bairo F, Hamzehlou S, Kargozar S. Bioactive glasses: Where are we and where are we going? *J Funct Biomater* [Internet]. el 19 de marzo de 2018 [citado el 8 de febrero de 2021];9(1):26. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5872111/>
 53. Hanif A, Ghani F. Mechanical properties of an experimental resin based composite containing silver nanoparticles and bioactive glass. *Pakistan J Med Sci* [Internet]. el 1 de mayo de 2020 [citado el 4 de marzo de 2021];36(4):776–81. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7260929/>
 54. Garchitorena MI. Materiales bioactivos en la remineralización dentinaria Bioactive materials in dentin remineralisation. *Odontoestomatología* [Internet]. 2016 [citado el 10 de febrero de 2021];18(28):11–9. Disponible en: http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_issuetoc&pid=1688-933920160002
 55. Bresciani E, Wagner WC, Navarro MFL, Dickens SH, Peters MC. In vivo dentin microhardness beneath a calcium-phosphate cement. *J Dent Res* [Internet]. agosto de 2010 [citado el 14 de marzo de 2021];89(8):836–41. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/44639014_In_vivo_Dentin_Microhardness_beneath_a_Calcium-Phosphate_Cement
 56. Efflandt SE, Magne P, Douglas WH, Francis LF. Interaction between bioactive glasses and human dentin. *J Mater Sci* [Internet]. 2002 [citado el 15 de marzo de 2021];13:557–65. Disponible en: https://www.academia.edu/25586340/Interaction_between_bioactive_glasses_and_human_dentin
 57. Jang JH, Lee MG, Ferracane JL, Davis H, Bae HE, Choi D, et al. Effect of bioactive glass-containing resin composite on dentin remineralization. *J Dent* [Internet]. el 1 de agosto de 2018 [citado el 15 de marzo de 2021];46(8):836–41. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6111111/>

2021];75:58–64. Disponible en:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29807059/>

58. Sheng XY, Gong WY, Hu Q, Chen X feng, Dong YM. Mineral formation on dentin induced by nano-bioactive glass. *Chinese Chem Lett* [Internet]. 2016 [citado el 23 de marzo de 2021];27(9):1509–14. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/299417098_Mineral_formation_on_dentin_induced_by_nano-bioactive_glass
59. Choi YJ, Bae MK, Kim Y Il, Park JK, Son SA. Effects of microsurface structure of bioactive nanoparticles on dentinal tubules as a dentin desensitizer. *PLoS One* [Internet]. el 1 de agosto de 2020 [citado el 15 de marzo de 2021];15(8):1–17. Disponible en: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0237726>