

**APLICABILIDAD CLINICA Y CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES  
BIOACTIVOS EN ODONTOLOGIA RESTAURADORA: UNA REVISIÓN DE LA  
LITERATURA**

**CLINICAL APPLICABILITY AND CHARACTERISTICS OF BIOACTIVE  
MATERIALS IN RESTORATIVE DENTISTRY: A LITERATURE REVIEW**

Bernal Moreno Karol Alejandra, Calderón López Daniel Fernando, Cortés Linares Diego Alejandro, residentes especialización en Prostodoncia- UNICOC- Bogotá.  
Ladino Montenegro Luis Gabriel, especialista en prostodoncia y magíster (Msc) en epidemiología clínica, docente UNICOC- Bogotá.

# APLICABILIDAD CLINICA Y CARACTERISTICAS DE LOS MATERIALES BIOACTIVOS EN ODONTOLOGIA RESTAURADORA: UNA REVISION DE LA LITERATURA

## RESUMEN

**Objetivo:** Describir la aplicabilidad clínica, evolución y características de los materiales bioactivos usados en odontología restauradora.

**Métodos:** Se realizó una estrategia en motores de búsqueda electrónicos: PubMed, LILACS, google académico y Scopus. Se utilizaron términos de búsqueda "bioactive"AND"restorative dentistry" para base de datos Pubmed, Scopus, Embase y Google scholar y "materiales bioactivos" AND "odontología" para LILACS y Google académico. Se incluyeron Textos desde 1969 a 2020.

**Resultados:** 48 artículos cumplieron con las especificaciones de los criterios de inclusión y exclusión y se dividieron en 4 categorías acorde con los objetivos de investigación: Evolución de los materiales bioactivos, mecanismos de acción, aplicabilidad clínica posteriormente realzar una clasificación de los materiales disponibles en el mercado.

**Conclusiones:** Los materiales bioactivos han tenido gran impacto en la odontología restauradora, favoreciendo la longevidad de las restauraciones, la estimulación celular para la reparación de la dentina, aumentando la resistencia adhesiva y disminuyendo la recurrencia de caries y microfiltración bacteriana. Sin embargo, aún falta lograr completa biomimética de las características físicas mecánicas y biológicas de los tejidos.

**Palabras clave:** Dental materials, biocompatible materials, prosthodontics, bioactive materials.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad ha surgido un cambio en el comportamiento de los materiales dentales, pasando de ser biomateriales pasivos sin tener reacción positiva o negativa en el organismo a tener una bioactividad constante con una reacción positiva y esperada, causando un intercambio iónico, estimulación celular o antimicrobiana<sup>1</sup>. Con los avances establecidos a finales de la década de 1960 en la segunda generación de biomateriales y las investigaciones del Dr. Hench en la regeneración ósea y la introducción de los vidrios bioactivos, se han implementado diversos compuestos que generan bioactividad en diversas áreas de la odontología<sup>2</sup>. La bioactividad en odontología depende de su

aplicabilidad clínica, pueden ser definidos como "un material que forma una capa superficial de un material parecido a la apatita en presencia de una solución inorgánica de fosfato"<sup>3</sup>. También pueden ser definidos como aquellos materiales capaces de inducir una respuesta tisular deseada del huésped<sup>4</sup>. Los materiales bioactivos han evolucionado en su composición y han sido utilizados en diversos campos de la medicina y la odontología (complemento de regeneración ósea, recubrimiento de implantes, bactericida y bacteriostático en procesos de caries, bases cavitarias, sensibilidad dental, remineralización de esmalte y dentina, adhesivos dentales, reparación de perforaciones endodónticas,

recubrimiento pulpar, desinfección de conductos, selladores endodónticos)<sup>5</sup>.

A pesar de esta gran variedad y de la tendencia a un uso regular, aún muchos clínicos no han comprendido sus características y los alcances que tiene la bioactividad en la práctica

clínica diaria. Por ende, esta revisión está encaminada a identificar la evolución de los materiales bioactivos, las propiedades, sus características, mecanismos de acción con el sustrato dental y comprender las ventajas y limitaciones en la aplicabilidad clínica

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

Se realizó una búsqueda incluyendo términos MeSh “Bioactive” AND “Dentistry” y términos libres “Materiales Bioactivos” y “Odontología” en motores de búsqueda electrónicos, PubMed, Embase, Google Scholar, Scopus, Google académico, y LILACS: Se incluyeron artículos de texto completo, reportados desde el año enero de 1969 hasta agosto del 2020.

### **Criterios de inclusión y exclusión:**

En la selección inicial de textos se tuvo en cuenta los siguientes criterios de inclusión:

- ✓ Todos los diseños.
- ✓ Artículos publicados entre 1969 a 2020.

- ✓ Estudios clínicos e in vitro.
- ✓ Artículos publicados en inglés, español, portugués.

### **Criterios de exclusión:**

Una seleccionados los artículos se excluyeron artículos con estudios en dientes temporales, estudios de materiales de uso exclusivo en endodoncia o estudios de materiales de uso en cirugía oral y maxilofacial.

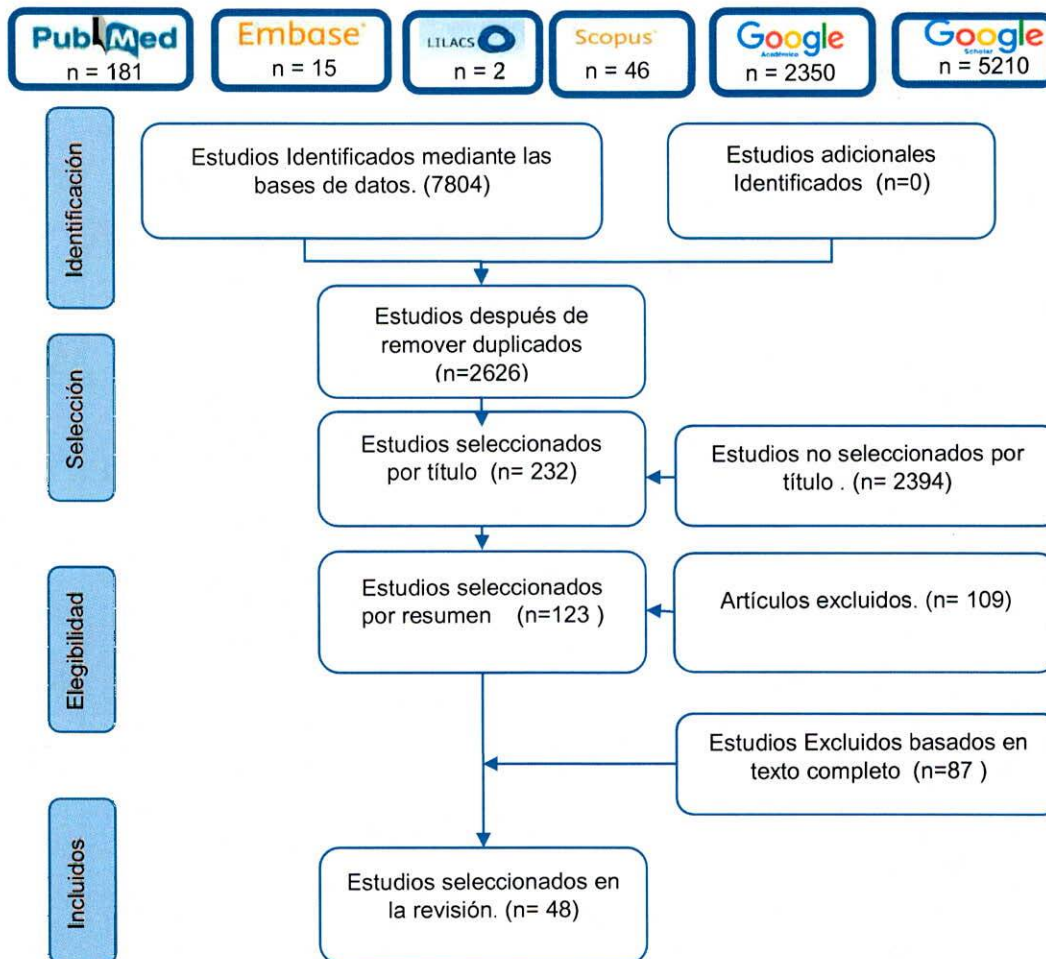
La estrategia de búsqueda se llevó a cabo tratando de responder la siguiente pregunta de investigación ¿Cuál es la evolución, aplicabilidad clínica, características e interacción con los tejidos de los materiales

bioactivos usados en odontología restauradora?

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN.**

Un total de 48 artículos fueron seleccionados después de ser sometidos a selección por parte de los investigadores, teniendo en cuenta los criterios de inclusión y exclusión. 27 corresponden a revisiones narrativas,

3 revisión sistemática, 18 estudios in vitro. Se dividieron por categorías dependiendo de los temas relacionados a los objetivos de investigación. Evolución de los materiales bioactivos, mecanismos de acción, aplicabilidad clínica posteriormente realzar una clasificación de los materiales disponibles en el mercado.



desarrolla nuevos biomateriales que restauran, mejoran o previenen el deterioro de la función de los tejidos comprometidos<sup>6</sup>.

Los materiales dentales tienen una interacción pasiva o activa con los tejidos circundantes<sup>7</sup>. Recientemente han aparecido los materiales bioactivos, que son todos aquellos que

## EVOLUCIÓN DE LOS MATERIALES BIOACTIVOS

La bioingeniería de tejidos tiene como propósito acelerar la regeneración y reparación de los tejidos afectados, de esta manera la ciencia produce y aumenta nuevas terapias y/o

promueven una respuesta biológica en la interfaz del material y el tejido generando una unión entre los mismos<sup>8</sup>. En general los materiales bioactivos han mostrado que promueven la liberación de calcio, sodio, sílice e iones de fosfato quienes producen un efecto como la angiogénesis y la actividad antimicrobiana<sup>6</sup>.

Desde la década de 1920 se han reportado las propiedades osteogénicas en defectos óseos con el uso de fosfato de calcio o "fosfato de tricálcico", siendo uno de los primeros biomateriales utilizados en el campo de la medicina; en la misma década el hidróxido de calcio fue utilizado como agente bioactivo como promotor en la formación de un puente dentinal en tejido pulpar expuesto, siendo desde entonces el "gold standard" del recubrimiento pulpar<sup>9</sup>.

En 1950 palabra biomimético fue citada por el ingeniero biomédico y biofísico Otto Schmitt refiriéndose al estudio de mecanismos multidisciplinarios y biológicos de productos que imiten la naturaleza; la palabra biomimética deriva del latín "*Bio*" que significa vida y "*mimetic*" que está relacionado con la imitación del proceso biomecánico con inspiración de la naturaleza; el entendimiento del enfoque biomimético envuelve la concepción de múltiples ideas de biología química, ciencia de materiales y bioingeniería. En la odontología clínica el término hace referencia a la reparación de la dentición afectada imitando las características de un diente natural en términos de apariencia, biomecánica y función<sup>10</sup>.

La primera generación de materiales tenía como característica ser bioinertes, no generan ninguna o poca respuesta al tejido donde se aloja y simulan las características mecánicas del tejido circundante<sup>11</sup>.

En la década de 1960 Wilson y Kent buscando mejorar las propiedades de los cementos de polialqueonato de zinc introdujeron el ionómero de vidrio (IV), con propiedades anticariogénicas como resultado de la liberación de flúor, adhesión directa a la estructura dental, bajo coeficiente de expansión térmica similar a la estructura dental y poca citotoxicidad, con características "activas" y biomiméticas<sup>7,10</sup>.

Desde entonces varias modificaciones han sido introducidas con el propósito de mejorar sus propiedades mecánicas. La introducción de los ionómeros de vidrio modificados con resina (IVMR) con una fuerza

mecánica superior, fueron usados para restauraciones posteriores, las nuevas generaciones de ionómero de vidrio mantienen las características deseables de los convencionales como: liberación de flúor, intercambio de iones, adhesión a esmalte y dentina y una baja filtración<sup>12</sup>.

Larry L. Hench en 1969 desarrolló un material que precipita hidroxiapatita en soluciones acuosas con la habilidad de unirse a tejidos duros y blandos que a diferencia de los materiales bioinertes no era encapsulado en un tejido fibroso<sup>10</sup>. Así, se introdujo el término de vidrio bioactivo compuesto a base de vidrios de silicato al que llamó "*Bioglass 45S5*" actuando sobre los tejidos circundantes sin generar una respuesta como cuerpo extraño, toxicidad o inflamación<sup>13</sup>.

La segunda generación de materiales bioactivos busca provocar una acción específica y controlada sobre un ambiente biológico<sup>11</sup>.

La tercera generación se inicia en la década de 1990, se enfoca en los procesos de regeneración tisular incluyendo adhesión celular, proliferación, diferenciación a través de la activación de genes específico. Se desarrolla en la Universidad de Melbourne en Australia un compuesto que mezcla los fosfopéptidos de caseína en una solución de sales de fosfato y calcio (CPP-ACP) capaz de formar un cristal amorfo de fosfato de calcio, teniendo propiedades anticariogénicas al adherirse a la biopelícula y liberar iones en condiciones ácidas<sup>6</sup>. A finales de la década de 1990 se empieza a comercializar el trióxido de mineral agregado (*Mineral Trioxide Aggregate*, MTA) desarrollado por Lee

en asociación con la Universidad de Loma Linda. Septodont en el año 2008, desarrolló un material basado en la purificación del silicato de calcio (Biodentine®), con mejor tiempo de fraguado, propiedades mecánicas y manipulación. En el año 2010 la compañía Bisco lanza al mercado el silicato de calcio modificado con resina conocida como (SCMR) o por su nombre comercial TheraCal LC®<sup>14</sup>. Es así como en los últimos años se han generado enfoques biomiméticos para desarrollar materiales dentales con nanopartículas que tienen capacidades remineralizantes, regenerativas y antimicrobianas como: enjuagues orales, pastas dentales, composites, biocerámicos, materiales de unión (adhesivos), materiales sustitutos de dentina, cementos dentales<sup>15</sup>. figura 1.



Figura1. Generaciones de los materiales dentales bioactivos (Martínez G, 2016).

## MECANISMOS DE ACCIÓN DE LOS MATERIALES BIOACTIVOS.

Hench clasifica a los materiales bioactivos en dos grupos: a) en los que la bioactividad conduce a inducción y producción como consecuencia de la rápida reacción superficial del material; induce respuesta intracelular y extracelular, generando la unión del material al tejido duro y blando b) en los que solo se presenta conducción por una reacción superficial más lenta induce solamente respuesta extracelular<sup>16</sup>.

La cavidad oral tiene un ambiente dinámico y complejo en el cual los materiales restaurativos y los tejidos dentales son expuestos a un gran rango de variaciones en términos de pH, temperatura, microorganismos y nutrientes; los tejidos dentales están en un constante intercambio iónico de flúor, calcio, fosfato generando un

balance gracias al papel regulador de la saliva<sup>17</sup>. La odontología contemporánea involucra el manejo mínimo del tejido dental afectado o dañado con materiales bio inspirados para realizar remineralización. Una de las características clínicas importantes es la biocompatibilidad, propiedad biológica esencialmente requerida para las aplicaciones restaurativas<sup>10</sup>.

Podemos entonces clasificar la acción de los materiales bioactivos en la odontología dependiendo a su intervención con los tejidos. Tabla 1.

### **Restauradora**

La incorporación de los agentes bioactivos induce a la mineralización de la malla colágena y la fosfización de las metaloproteinasas, jugando un

papel terapéutico protector de las restauraciones<sup>18</sup>. La hidrólisis de la interfase adhesiva entre el tejido dental y el agente adhesivo del material restaurador es un factor predominante de la longevidad en la odontología restauradora; con la exposición de la malla colágena al desmineralizar se favorece la interdigitación y aumenta la fuerza de unión entre el sustrato dental y el material restaurador pero se activan las proteasas catpentina k, Metaloproteinasas de matriz (MMPs) que degradan la interface adhesiva<sup>19</sup>. El proceso de remineralización puede inducir a la reducción de la degradación enzimática dada por las proteasas. Los vidrios bioactivos tienen un potencial de liberación de silicio y flúor al generar un cambio estructural al tener una acción quelante con  $Ca^{2+}$  y  $Zn^{2+}$ , capaces de inhibir la acción de las

metaloproteinasas (MMPs) catepsina K, preservando la integridad de la malla colágena dentro la capa híbrida<sup>20</sup>.

Esta incorporación rellenos bioactivos en los materiales restauradores induce la formación de cristales de apatita, generando así una unión por interdigitación directamente proporcional al tiempo de exposición entre los vidrios bioactivos y la malla colágena de la dentina desmineralizada y a su vez, la saliva juega un papel crucial en la liberación de iones de fosfato, calcio y sílice mostrando una correlación directa entre la habilidad de formación de apatita inducida por el vidrio bioactivo y la adhesión a la dentina, penetrando profundamente en los túbulos dentinales, generando un entrelazamiento que aumenta la resistencia adhesiva<sup>10 16</sup>. La capa interfacial de apatita por la deposición

y formación dentro de los túbulos dentinarios que se encuentran a una profundidad de 270µm, permite que la presencia del vidrio bioactivo sea beneficiosa en las interfases de restauraciones adhesivas mejorando la interfaz dentina y el sustrato restaurador reduciendo los microgaps<sup>21</sup>.

### **Remineralizantes.**

La remineralización se define como la ganancia de material calcificado en la estructura dental que reemplaza el que previamente se habría perdido por desmineralización que es generada por la generación de ácidos y disminución del pH del metabolismo bacteriano que generan la salida de iones del tejido dental<sup>22</sup>.

Los materiales bioactivos juegan un papel fundamental en los procesos de remineralización gracias al intercambio iónico, generando

una supersaturación en los fluidos que conllevan a una precipitación iónica en los tejidos desmineralizados y la formación de fosfato de calcio amorfo con un crecimiento de cristales de hidroxiapatita no solamente de la malla colágena extra fibrilar y mejora las propiedades mecánicas de la red intra fibrilar, emulando la histomorfología del sustrato dental pero sin restablecer las propiedades físico-mecánicas de los tejidos dentales<sup>13</sup>. El desarrollo de nanopartículas de 700 µm de diámetro tienen gran utilidad en los procesos de remineralización de tejidos, se ha evaluado un mejor comportamiento para los procesos, de remineralización dentinal partículas con un diámetro de 90µm<sup>9</sup>.

Khoroushi y cols en 2013, compararon la fuerza flexural de barras de dentina desmineralizadas y

no desmineralizadas en interacción con ionómero de vidrio modificado con resina, ionómero de vidrio modificado con resina con una composición en 20% de vidrio bioactivo, inmersas en una solución de saliva artificial, demostrando que las condiciones de desmineralización e inmersión tienen un efecto sobre el comportamiento biomecánico de la dentina desmineralizada, en esta misma condición también se observó que los valores de fuerza flexural fueron mayores para los ionómeros modificados con resina con vidrios bioactivos comparado con los ionómeros sin adición de componentes bioactivos<sup>7</sup>. La alta concentración de iones de calcio cerca a la interfaz del material favorece la precipitación y nucleación de fosfato de calcio mejorando la capacidad remineralizante de los ionómeros, pero afectando la microdureza del

material al actuar como rellenos que nos unieron a la matriz de ionómero<sup>23</sup>. Existe un comportamiento similar con la adición de bioactivos a los composites; aunque no afecta el grado de conversión polimérica, se ha observado una reducción de las propiedades mecánicas al aumentar el contenido por volumen; presentando una falta de cohesión entre el conglomerado de composite y relleno bioactivo<sup>24</sup>.

Nuevas composiciones de vidrios bioactivos se han desarrollado para favorecer y mejorar la bioactividad, la adición de óxido de calcio es fundamental en el primer paso de la formación de la hidroxiapatita debido a un intercambio de iones hidrogeno, las composiciones de BAG creados con oxido de calcio y oxido de sílice demostraron mejorar la resistencia mecánica y una mejor habilidad de

mineralización y menor rugosidad de superficie<sup>1</sup>. La adición de flúor al vidrio bioactivo mantiene la polimerización de la red de silicato, la conectividad de la estructura y la bioactividad del vidrio bioactivo, resultando en la formación de fluorapatita (FAP), importante debido a la resistencia del sustrato en medios ácidos, menor solubilidad comparado con la hidroxiapatita, y es más estable químicamente que la hidroxiapatita o la hidroxiapatita carbonatada, favoreciendo la remineralización del esmalte en las lesiones iniciales de caries; incrementa las propiedades mecánicas, el contenido mineral, la recuperación de volumen mineral, Presenta un cubrimiento con una capa de cristales y produce cambios ultra estructurales<sup>20,25</sup>. A nivel de la dentina, la formación de una capa de apatita logra una disminución en el grado de decalcificación durante el proceso de

mineralización, promoviendo el incremento del radio de la matriz mineral y la aparición de una nueva interface indicando una interacción química, disminuyendo ostensiblemente los valores de rugosidad del tejido, la deposición en los túbulos con obliteración por la precipitación de apatita incrementando el porcentaje de oclusión tubular, reduciendo la permeabilidad de la dentina; generando una barrera contra la microfiltración bacteriana y por lo tanto previniendo la inflamación pulpar<sup>1,25</sup>.

### **Desensibilizante.**

Los vidrios bioactivos han sido aceptados como agentes mineralizantes así como agentes desensibilizantes en el tratamiento de la hipersensibilidad dental causada por la apertura de los túbulos dentinales<sup>8</sup>. El vidrio bioactivo

reacciona con saliva artificial formando cristales de hidroxicarbonato de apatita dentro de las fibras colágenas que equivalen a la fase mineral de los tejidos duros humanos<sup>14</sup>. Estos depósitos ocluyen los túbulos dentinales, debido a su comportamiento físico químico lo convierte en un material candidato para los procesos de remineralización y desensibilización dental, provocando un aumento de calcio y fosfato en la superficie del esmalte dental; el término "remineralización" debe emplearse cuando los componentes minerales provienen del exterior del esmalte, es decir del calcio y el fosfato contenido en la saliva<sup>7,8</sup>.

El proceso de remineralización inducido por los vidrios bioactivos es probablemente debido a un fenómeno bioactivo simultáneo caracterizado por

la liberación de sílice y una subsecuente reacción de policondensación inducida por la precipitación de calcio y fosfato sobre la matriz orgánica creando una base para formación de fosfato de calcio<sup>26</sup>.

En un estudio realizado por Ubaldini y col 2020 devaluaron los efectos del bioglass45S5 y el biosilicato en el proceso de remineralización después de un proceso de aclaramiento dental, encontraron un incremento en el contenido mineral de las muestras y adicionalmente se aumentó la fuerza de adhesión luego del tratamiento con el bioglass<sup>27</sup>.

### **Antibacteriano.**

Estos componentes tienen la capacidad de generar un medio alcalino, con pH entre 8 y 9 que favorecen la inhibición bacteriana, reduciendo la formación de caries secundaria gracias a los iones de Zn

que se unen a las proteínas de los microorganismos generando cambios estructurales en la membrana induciendo a la lisis celular<sup>18</sup>.

La incorporación de monómeros de *Methacryloyldodecylpyridinium* (MDPB) crean un efecto antibacteriano largamente prolongado y no compromete propiedades mecánicas como la fuerza y la biocompatibilidad; estos monómeros dependen del amonio cuaternario para mostrar actividades bacterianas y tienen un efecto bactericida sobre una amplia gama de microorganismos producido por el rompimiento de la capa bilipídica y subsecuente muerte de dichos microorganismos<sup>28</sup>

El monómero MDPB quien podría ser copolimerizado y covalentemente unido en la matriz de resina

convirtiéndolo en un agente inmovilizado de larga duración y en contacto contra bacterias orales posee actividad antibacteriana contra *S mutans*, *Lactobacillus casei* y *Actinomyces naeslundii*, fue capaz de erradicar bacterias residuales del interior de los túbulos dentinales de cavidades dentales preparadas<sup>29</sup>.

<b>MECANISMOS DE ACCIÓN</b>	<b>RESTAURADOR</b>	<p>Uno de los objetivos de la biomimética es lograr que los materiales restaurativos imiten el comportamiento biológico y la biomecánica de los tejidos dentales, se han desarrollado nanopartículas introducidas dentro de los materiales dentales, que tienen como mecanismos de acción inducir la mineralización de la malla colágena favoreciendo la interdigitación y aumentando la fuerza de unión, la liberación de iones como el silicio y flúor pueden inhibir la acción de las metaloproteinasas preservando la integridad de la malla colágena dentro de la capa híbrida, generando un aumento de la resistencia adhesiva y reduciendo los micro gaps.</p>
	<b>REMINERALIZANTE</b>	<p>El esmalte, la dentina, el cemento y el hueso son tejidos mineralizados en la cavidad que tiene diferentes proporciones de componentes orgánicos e inorgánicos, esta diferencia en la constitución resulta en unas propiedades específicas para cada tipo de tejido. La remineralización ocurre cuando hay un incremento en el volumen mineral principalmente por la deposición de calcio y cristales de fosfato, el cual es generado por un intercambio iónico. A nivel de la dentina la formación de una capa de apatita promueve el incremento del radio de la matriz mineral y la aparición de una nueva interface indicando una interacción química. Aunque el esmalte es uno de los tejidos más duros, este se solubiliza en ambientes ácidos debido al ataque bacteriano en la cavidad oral. La solubilidad del esmalte decrece, mientras que la dureza aumenta con la absorción de iones de flúor sobre la superficie del esmalte. Es por ello que el flúor tiene un papel significativo en la caries dental aumentando la remineralización; esta</p>

		influencia las propiedades químicas y físicas del esmalte mediante la alteración de la tasa de desmineralización aumentando la remineralización y preservando las estructuras de apatita.
	<b>DESENSIBILIZANTE</b>	De acuerdo con la teoría hidrodinámica la resolución del dolor durante la hipersensibilidad dentinaria puede ser realizado por la oclusión de los túbulos dentinales abiertos quienes podrían restringir el flujo del fluido dentinario; La aplicación de nanopartículas como el BAG 45S5 con concentraciones por encima del 3% en la pasta dental utilizada diariamente es efectiva para bloquear al menos el 75% de los túbulos dentinarios.
	<b>ANTIMICROBIANO</b>	Es un componente antibacterial estabilizado por varias reacciones químicas como enlaces covalentes a un material, que no permite que se lixivie hacia la superficie, pero tiene un efecto inhibitorio cuando entra en contacto con las bacterias. La incorporación de monómeros antibacterianos como el MDPB que posee cargas +se une con la membrana celular la cual generalmente tiene cargas negativas produciendo el rompimiento de la capa bilipídica dando como resultado la muerte de los microorganismos <sup>25</sup> .

Tabla 1: Clasificación de los mecanismos de acción en lo materiales bioactivos

**Materiales Bioactivos en la odontología restauradora.**

Un material bioactivo debe ser biocompatible, estéril, no soluble ni reabsorbible, Bactericida, bacteriostático, mantener la vitalidad pulpar, estimular dentina reparativa, con propiedades adhesivas,

radiopaco, resistente a la compresión y tracción, interactuar con un medio húmedo y de fácil manipulación<sup>14</sup>.

idealmente los materiales restauradores debes mimetizar los tejidos, facilitar la distribución de fuerzas durante el esfuerzo masticatorio, emular la dureza de los tejidos, no generar reacciones alérgicas o citotóxicas, generar una respuesta positiva en los tejidos circundantes<sup>10</sup>.

Los materiales bioactivos abarcan gran variedad dentro de la odontología preventiva y resturadora<sup>30,3,31</sup>. Figura 2. Tabla 2.

### **Bases de Resina**

Las resinas compuestas pueden generar bioactividad al modificar su fase orgánica al adherir monómeros antibacterianos o agregando rellenos bioactivos generando un mecanismo antibacteriano y otro remineralizante. La incorporación de vidrios bioactivos

en la matriz inorgánica de la resina genera una reducción significativa bacteriana (*E. Coli*, *S Aureus*, *S mutans*), sin alterar las propiedades mecánicas; esta reacción puede ser explicada debido a la alcalinización del medio promoviendo la precipitación de iones, de Silicato, Calcio, Sodio y fosfato, generando daño tisular e inhibición de enzimas bacterianas y finalmente lisis<sup>32</sup>.

Para evitar la degradación de la interfaz adhesiva se ha integrado a las resinas compuestas metacrilatos de amonio cuaternario (QAM) como el 12-metacriloxydodecypiridiumbromide (MDPB) con actividades inhibitoras de proteasas y antibacteriano reduciendo la microfiltración bacteriana y la prevalencia de caries secundaria<sup>33</sup>.

La adición de vidrios bioactivos genera mayor de precipitación de minerales entre las fibras de colágeno y con la

presencia de iones de zinc, se estimula la proliferación y diferenciación celular; el zinc interviene en el mecanismo de mineralización e interfiere en el proceso de degradación del colágeno mediado por las metalproteinasas<sup>34</sup>. La incorporación de rellenos de fosfato de calcio amorfo ACP, genera precursores de Hidroxiapatita (HA), favoreciendo el proceso de remineralización por un proceso de disolución de iones de calcio y fosfato generando una sobresaturación del medio y posteriormente una precipitación iónica para la cristalización de HA favoreciendo la mineralización biomimética y a su vez disminuyendo el microgap de la interfase adhesiva<sup>35</sup>.

### **Ionómeros de vidrio**

El ionómero de vidrio fue uno de los primeros materiales denominados "inteligentes", dadas sus

características que le permiten liberar iones de flúor, favoreciendo la reparación dentinal; la liberación de flúor incrementa en medio ácidos realizando un efecto buffer en el medio donde se encuentra, por la presencia de iones de fluoruro de aluminio y fluoruro de hidrogeno que se concentran en su etapa de disolución y gelación, pero van disminuyendo en su etapa de endurecimiento y maduración<sup>36</sup>. La incorporación de agentes bioactivos como el Bioglass en los ionómeros de vidrio, disminuyen las propiedades mecánicas al aumentar su porcentaje en peso de relleno, pero aumenta las propiedades bioactivas<sup>37</sup>.

Los vidrios bioactivos en conjunto con los ionómeros favorecen la formación de hidroxiapatita en la malla colágena expuesta en un medio ácido, mejorando las propiedades mecánicas de la dentina en su proceso de

remineralización; esta precipitación iónica ocluye los túbulos dentinales disminuyendo el flujo hidrodinámico, jugando un rol importante como desensibilizante<sup>38</sup>.

### **Precusores de Hidroxiapatita**

Fosfato de calcio amorfo (ACP) Es un precipitador de iones de calcio y flúor estable, que promueve la formación de Hidroxiapatita. Por su alta solubilidad en medios acuosos y su rápida conversión en HA, se ha estabilizado con fosfopéptido de caseína (CPP) formando un complejo de caseín fosfato de calcio amorfo (CPP-ACP) favoreciendo la saturación de iones flúor y fosfato en saliva y placa bacteriana, generando beneficios anticariogénicos y remineralizantes<sup>15</sup>. En lesiones iniciales de caries, aumenta los valores de dureza superficial en tejidos desmineralizados por el ambiente ácido generado por el

ataque bacteriano, reduce significativamente la rugosidad del esmalte, disminuyendo la energía superficial desfavoreciendo la adhesión de biopelícula<sup>5,39</sup>.

### **Cerámicas**

Las biocerámicas son compuestos bioinertes o bioactivos con una fase cristalina embebidas en un matriz amorfa residual con gran variedad de indicaciones debido a su biocompatibilidad, estabilidad dimensional y habilidad de biomineralización, en los que podemos encontrar los silicatos, aluminicatos, hidroxiapatita, zirconia, fosfatos de calcio, vidrios bioactivos<sup>4</sup>. Se pueden sintetizar por diferentes métodos: Fusión, deposición de vapores, sintetización sol-gel, cambiando las propiedades físico-mecánicas y favoreciendo la biometización con los tejidos circundantes<sup>40</sup>. La bioactividad de las

biocerámicas está dada por sus propiedades adhesivas a los tejidos y a la precipitación iónica que favorece la biomineralización y la alcalinización del medio que le provee actividad antimicrobiana<sup>41</sup>.

### **Vidrios Bioactivos.**

Aunque su primera aplicación dada por el Dr. Hench fue en la regeneración ósea, los vidrios bioactivos han tenido gran aplicabilidad en diferentes ámbitos clínicos. El principio de bioactividad se da por la formación de una capa de apatita sobre la superficie de los tejidos que es capaz de emular sus características, aunque conserva menores propiedades mecánicas<sup>1,17</sup>. La incorporación de vidrios bioactivos a los materiales restauradores facilitan la degradación de proteasas favoreciendo la fuerza de unión entre el material restaurador y disminuye la degradación hidrolítica de la interfase

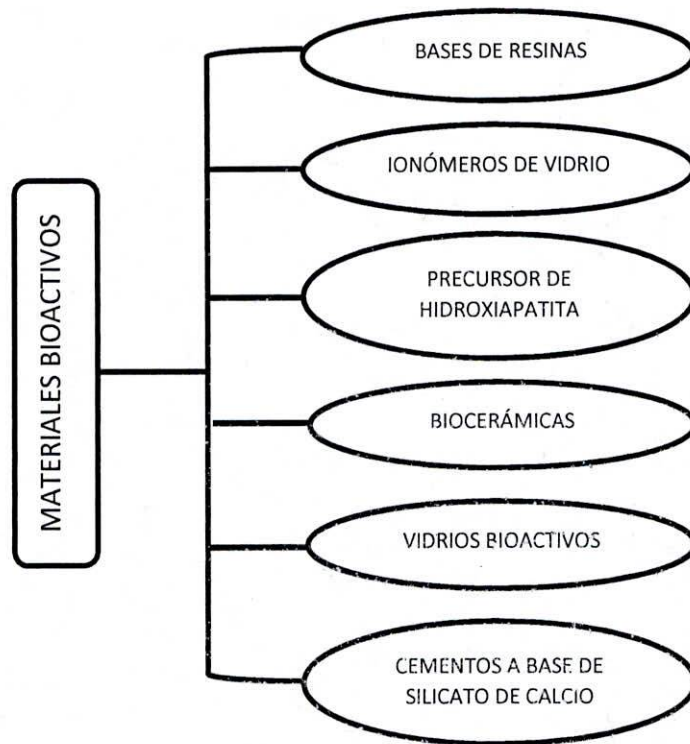
adhesiva<sup>20</sup>. El uso de monómeros con mezclas de vidrios bioactivos y monómeros derivados del amonio cuaternarios, generan ambientes antibacterianos que disminuyen la microfiltración y la caries recurrente<sup>42,43</sup>. Adicionalmente la interdigitación del vidrio bioactivo con la malla colágena permite una mayor resistencia adhesiva y facilita el crecimiento de cristales de apatita que consecuentemente llevaran a la disminución continua del microgap entre el material restaurador y el tejido dental<sup>44</sup>.

### **Cementos a base de silicato.**

Son compuestos hidrófilos con una composición básica de óxido de calcio (CaO), Dióxido de silicio (SiO<sub>2</sub>) y aluminato de calcio derivados del cemento Portland. Uno de los primeros materiales en ser evaluados fue el mineral trióxido agregado

(MTA), que posee propiedades antimicrobianas gracias a su pH alcalino y favorece la formación de puentes dentina en la reparación pulpar<sup>3,45</sup>. Biodentine es un cemento a base silicato tricálcico con mayor resistencia compresiva y flexural, menor tiempo de fraguado y menor solubilidad. Su Ph ejerce un efecto letal bacteriano, debido a la denaturación de proteínas y daño al ADN y citoplasma celular<sup>46</sup>. Mahmoud y cols en 2018 en su revisión sistemática ratificaron las propiedades de Biodentine® y MTA, bacteriostáticas, la inducción de

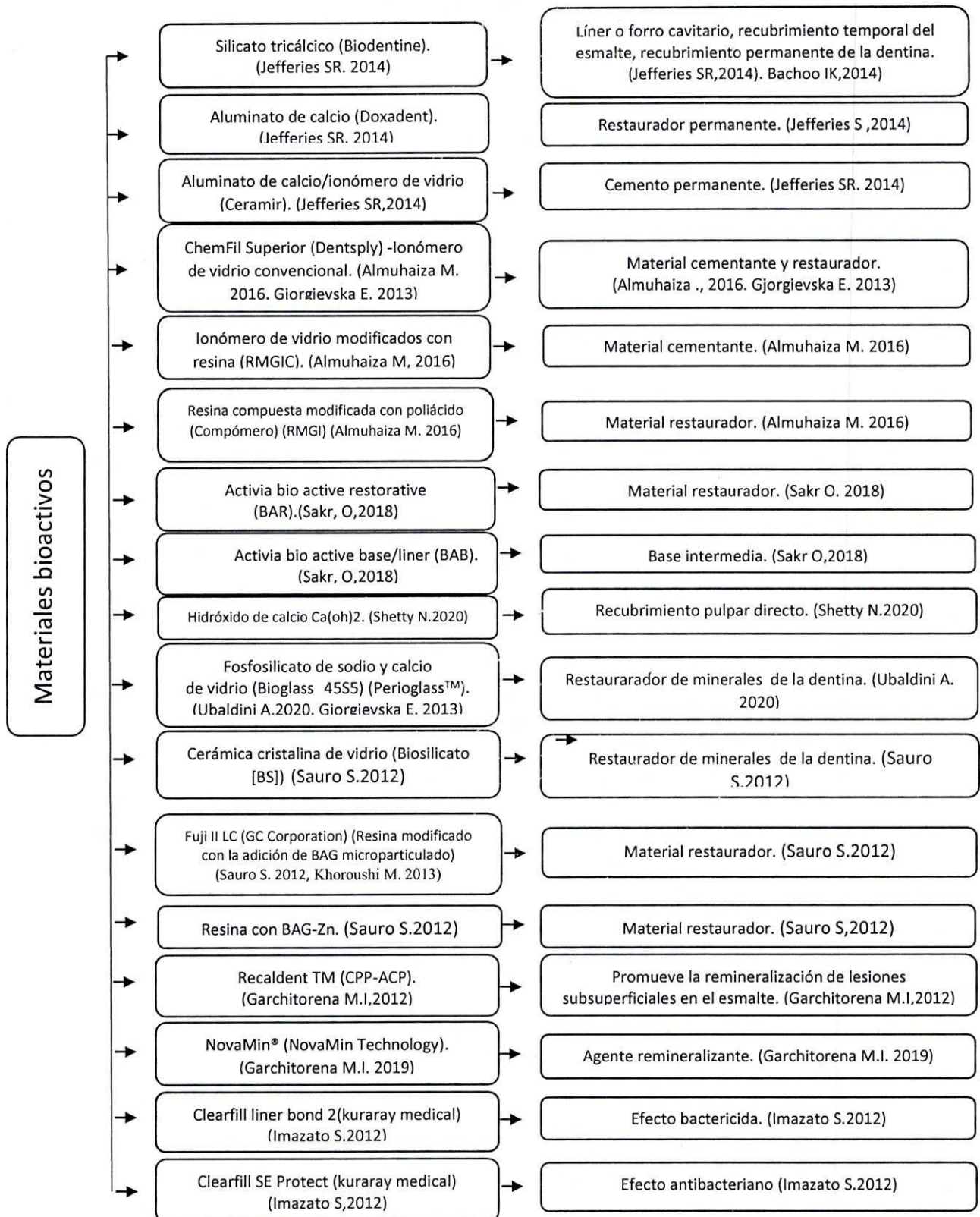
puentes de esmalte, promoviendo la proliferación odontoblástica, dentina reparativa y preservación de vitalidad pulpar<sup>47</sup>. Theracal®, es un cemento a base de silicato de calcio modificado con una resina hidrófila que le permite interactuar en medios húmedos y tener una precipitación de calcio e hidróxido sostenida en el tiempo<sup>48</sup>. La interacción con los compuestos resinosos implica una respuesta inflamatoria en las células pulpaes, siendo el que ofrece menor respuesta terapéutica comparado con otros cementos a base de silicato de calcio<sup>49</sup>.



T: Figura 2. Materiales bioactivos en la odontología restauradora

	MATERIAL	MECANISMO	EFECTO
<b>MATERIAL BIOACTIVO</b>	BASES DE RESINA	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Modificación matriz inorgánica con rellenos bioactivos</li> <li>-Modificación matriz orgánica con monómeros de amonio cuaternarios antibacterianos</li> </ul>	Favorece la precipitación iónica para la formación de hidroxiapatita. Efecto remineralizante, antibacteriano, disminución del gap, disminución caries recurrente.
	IONÓMEROS DE VIDRIO	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Liberación de flúor.</li> <li>-Adición de BAG en la regeneración dentinal.</li> </ul>	Remineralizante, favorece dentina reparativa, antimicrobiano.
	PRECURSORES DE HIDROXIAPATITA	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Precursor de apatita amorfa</li> <li>-Efecto buffer</li> <li>-Intercambio iónico en tejidos desmineralizados.</li> </ul>	Remineralización de lesiones incipientes de caries, oclusión de túbulos dentinales disminuyendo el flujo hidrodinámico en la dentina, disminuye sensibilidad dentinal.
	BIOCERÁMICAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>-proliferación de minerales</li> <li>-Biomineralización.</li> <li>-Biomimetización.</li> </ul>	Remineralización de tejidos. Restaurador, desensibilizante.
	VIDRIOS BIOACTIVOS	<ul style="list-style-type: none"> <li>-adhesión a tejidos circundantes.</li> <li>-Precursor de minerales.</li> <li>-Precursor en lisis de proteasas</li> </ul>	Remineralización de tejidos. Precursor lisis de metaloproteinasas y catepsina K.
	CEMENTOS A BASE DE SILICATO DE CALCIO	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Inducción celular</li> <li>-Biomimética.</li> <li>-Alcalinidad.</li> <li>Liberación iónica.</li> </ul>	Formación de dentina reparativa, inducción a la proliferación odontoblástica. Antibacteriano.

Gráfica3. Materiales bioactivos v su aplicabilidad clínica en odontología preventiva v restauradora.



## CONCLUSIONES

En la actualidad el éxito clínico de los procedimientos odontológicos está encaminado a disminuir el número de complicaciones que se puedan presentar en los mismos y se están buscando materiales que no solo sustituyan el tejido perdido con un compuesto bioinerte. Los materiales bioactivos han surgido como respuesta a esa necesidad de generar una interacción física, química y biológica con los tejidos dentales.

El tratamiento con materiales bioactivos ha cubierto diversos campos en la odontología restauradora, generando interacciones directas con el sustrato generando remineralización al iniciar una precipitación e intercambio de iones que permiten desarrollar una capa de hidroxiapatita que favorece en

el proceso de remineralización dental.

Dicha formación de enlaces favorece la fuerza adhesiva de las restauraciones y disminuye la degradación hidrolítica de la interfase adhesiva al jugar un rol crucial en la inhibición de proteasas. Su acción antimicrobiana tiene impacto en la protección de caries recurrente y microfiltración bacteriana. La interdigitación con la malla colágena y la cristalización de apatita en los túbulos dentinales favorece el tratamiento de sensibilidad dental.

Sin embargo, aún se requieren nuevas investigaciones que conlleven a la bioemulación completa de las características físicas, mecánicas y biológicas de los tejidos dentales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Mocquot C, Attik N, Pradelle-Plasse N, Grosogeat B, Colon P. Bioactivity assessment of bioactive glasses for dental applications: A critical review. *Dent mater.* 2020;1–28.
2. Hench L. The story of Bioglass®. *J mater sci mater med.* 2006;17(11):967–78.
3. Jefferies S. Bioactive and biomimetic restorative materials: A comprehensive review. Part i. *j esthet restor dent.* 2014;26(1):14–26.
4. Sanz J, Rodríguez F, Llena C, Sauro S, Forner L. Bioactivity of bioceramic materials used in the dentin-pulp complex therapy: A systematic review. *Materials* (Basel). 2019;12(7):1–30.
5. Skallevoid H, Rokaya D, Khurshid Z, Zafar M. Bioactive glass applications in dentistry. *Int J mol sci.* 2019 27;20(23):5960.
6. Francine B. Bioactive materials in dentistry. New york: ed nova science publishers; 2019.
7. Khoroushi M, Mousavinasab S, Keshani F, Hashemi S. Effect of resin-modified glass ionomer containing bioactive glass on the flexural strength and morphology of demineralized dentin. *Oper dent.* 2013;38(2):E1-10.
8. Gjorgievska E, Nicholson J, Apostolska S, Coleman N, Booth S, Slipper I y Cols. Interfacial properties of three different bioactive dentine substitutes. *Microsc microanal.* 2013;19(6):1450-1457.

9. Shetty N, Kundabala M. "Biomaterials in restorative dentistry." *Journal of interdisciplinary dentistry*, vol. 3, no. 2, 2013, p. 64.
10. Zafar M, Amin F, Fareed M, Ghabbani H, Riaz S, Khurshid Z, Kumar N. Biomimetic aspects of restorative dentistry biomaterials. *Biomimetics (Basel)*. 2020 15;5(3):34.
11. Martínez G, Estelrich. M. Bioactivity in restorative dentistry. *Fac odontol uncuyo*. 2016;7-12.
12. Almuhaiza M. Glass-ionomer Cements in Restorative Dentistry: A Critical appraisal. *J Contemp dent pract*. 2016 Apr 1;17(4):331-6.
13. Lee J, Seo S, Kim H. Bioactive glass-based nanocomposites for personalized dental tissue regeneration. *Dent mater j*. 2016 1;35(5):710-720.
14. Skallevoid H, Rokaya D, Khurshid Z, Zafar M. Bioactive glass applications in dentistry. *Int j mol sci*. 2019 27;20(23):5960.
15. Ameneiros O, Gamboa J, Soto A, Martínez A, Ruiz H. El uso de materiales bioactivos en la estomatología conservadora contemporánea. *Biodentine®. Investigaciones medicoquirúrgicas* 2020 11(3):1-14.
16. Garchitorea M. Materiales bioactivos en la remineralización dentinaria. *Odontoestomatología*. 2016. 18( 28 ): 11-19.
17. Garchitorea M. Vidrios bioactivos en odontología restauradora.

- Odontostomatología. 2019. 21( 34 ): 33-43.
18. Fernando D, Attik N, Pradelle-Plasse N, Jackson P, Grosogeat B, Colon P. Bioactive glass for dentin remineralization: A systematic review. *mater sci eng C*. 2017;76:1369–1377.
19. Sauro S, Osorio R, Watson T, Toledano M. Therapeutic effects of novel resin bonding systems containing bioactive glasses on mineral-depleted areas within the bonded-dentine interface. *J mater sci mater med*. 2012;23(6):1521-1532.
20. Sakr M. 'Microshear Bond Strength of Bioactive Restorative Materials to Dentin.' *International journal of dental sciences and research* 6, no. 4 (2018): 90-94.
21. Tezvergil-Mutluay A, Seseogullari-Dirihan R, Feitosa V, Cama G, Brauer D, Sauro S. Effects of Composites containing bioactive glasses on demineralized dentin. *J dent res*. 2017 (9):999-1005.
22. Efflandt S, Magne P, Douglas W, Francis L. Interaction between bioactive glasses and human dentin. *J mater sci mater med*. 2002;13(6):557-565.
23. Castellanos J, Marín L, Úsuga M, Castiblanco G, Martignon S. La remineralización del esmalte bajo el entendimiento actual de la caries dental. *Univ odontol*. 2013; 32(69): 49-59.
24. Prabhakar A, Paul M, Basappa, N. (2010). Comparative Evaluation of the Remineralizing Effects and Surface Micro hardness of Glass Ionomer Cements

- Containing Bioactive Glass (S53P4): An in vitro Study. *International journal of clinical pediatric dentistry*, 3(2), 69–77.
25. Chiari M, Rodrigues M, Xavier T, De souza E, Arana-Chavez V, Braga R. Mechanical properties and ion release from bioactive restorative composites containing glass fillers and calcium phosphate nano-structured particles. *Dent mater.* 2015 ;31(6):726-733.
26. Mocquot C, Attik N, Pradelle-Plasse N, Grosogogeat B, Colon P. Bioactivity assessment of bioactive glasses for dental applications: A critical review. *Dent mater.* 2020 ;36(9).
27. Moya A, Moya T, Zambrano M, Bonilla P. Análisis de dos agentes remineralizantes en lesiones incipientes de caries mediante AFM. *Revista arbitrada interdisciplinaria de ciencias de la salud. Salud y vida.* 2019; 3 (6). 568-581.
28. Wang Z, Jiang T, Sauro S, Wang Y, Thompson I, Watson T y Cols. Dentine remineralization induced by two bioactive glasses developed for air abrasion purposes. *J dent.* 2011 ;39(11):746-56.
29. Ubaldini A, Pascotto R, Sato F, Soares V, Zanotto E, Baesso M. Effects of bioactive agents on dentin mineralization kinetics after dentin bleaching. *Oper dent.* 2020;45(3):286-296.
30. Imazato, S. "Antibacterial resin monomers based on quaternary ammonium and their benefits in restorative dentistry." *Japanese dental science review* 48 (2012): 115-125.

31. Zhang K, Zhang N, Weir M, Reynolds M, Bai Y, Xu H. Bioactive dental composites and bonding agents having remineralizing and antibacterial characteristics. *Dent clin north am.* 2017;61(4):669-687.
32. Vallittu P, Boccaccini A, Hupa L, Watts D. Bioactive dental materials do they exist and what does bioactivity mean?. *Dent mater.* 2018;34(5):693-4.
33. Jefferies S.. Bioactive and biomimetic restorative materials: A comprehensive review. part I. *J esthet restor dent.* 2014;26(1):14-26.
34. Jefferies S. Bioactive and biomimetic restorative materials: a comprehensive review. Part II. *J esthet restor dent.* 2014 Jan-Feb;26(1):27-39.
35. Korkut E, Torlak E, Altunsoy M. Antimicrobial and mechanical properties of dental resin composite containing bioactive glass. *J appl biomater funct mater.* 2016 26;14(3):e296-301.
36. Tjäderhane L, Tezvergil-Mutluay A. Performance of adhesives and restorative materials after selective removal of carious lesions: Restorative materials with anticaries properties. *Dent clin north am.* 2019;63(4):715-729.
37. Sauro, S, Luzi A. Remineralización biomimética y biocompatibilidad de un sistema de curado por luz con microrrelleno bioactivo embebido con ácido 4-oxoheptanodioico. *Gaceta dental.* (2014). 258. 88-101.

38. Tarle Z, Matej P. "Bioactive dental composite materials." Rad hrvatske akademije znanosti i umjetnosti. Medicinske znanosti, vol. , no. 533=45, 2018, pp. 83-99.
39. Sidhu S, Nicholson J. A review of glass-ionomer cements for clinical dentistry. *J funct biomater.* 2016;7(3):16.
40. Mousavinasab S, Khoroushi M, Keshani F, Hashemi S. Flexural strength and morphological characteristics of resin-modified glass-ionomer containing bioactive glass. *J Contemp dent pract.* 2011 1;12(1):41-6.
41. Yli-Urpo H. "Compressive strength and surface characterization of glass ionomer cements modified by particles of bioactive glass." *Dental materials.* vol. 21,3 (2005): 201-9.
42. Dai L, Mei M, Chu C, Lo E. Mechanisms of bioactive glass on caries management: A review. *Materials (Basel).* 2019;12(24):1-14.
43. Sanz J, Rodríguez-Lozano F, Llena C, Sauro S, Forner L. Bioactivity of Bioceramic Materials used in the dentin-pulp complex therapy: A systematic review. *Materials (Basel).* 2019 Mar 27;12(7):1015.
44. Kaur G. Mechanical properties of bioactive glasses, ceramics, glass-ceramics and composites: Stateoftheart review and future challenges, *Materials science and engineering: C*, 2019,104: 1-14.

45. Dahiya M, Tomer V, Duhan, S. Bioactive glass/glass ceramics for dental applications. Applications of nanocomposite materials in dentistry, 2019.1-25.
46. Chen L, Suh B, Yang J. Antibacterial dental restorative materials: A review. Am j dent. 2018 15;31(Sp Is B):6B-12B.
47. Fujimura Y, Weerasinghe D, Kawashima M. Development of an antibacterial bioactive dental adhesive: Simplicity and innovation. Am j dent. 2018,15;31:13B-16B.
48. Jefferies S, Fuller A, Boston D. Preliminary evidence that bioactive cements occlude artificial marginal gaps. J esthet restor dent. 2015;27(3):155-66.
49. Giani A, Cédres C. Avances en protección pulpar directa con materiales bioactivos / Recent advances in direct pulp capping with bioactive materials. Actas odontol ; 2017,14(1): 4-13.
50. Prati C, Gandolfi M. Calcium silicate bioactive cements: Biological perspectives and clinical applications. Dent mater. 2015;31(4):351-70.
51. Mahmoud S, El-Negoly S, Zaen A, El-Zekrid M, Grawish L, Grawish H, Grawish M. Biodentine versus mineral trioxide aggregate as a direct pulp capping material for human mature permanent teeth - A systematic review. J conserv dent. 2018;21(5):466-473.
52. Kunert M, Lukomska-Szymanska M. Bio-Inductive Materials in Direct and Indirect Pulp Capping-A review article. Materials (Basel). 2020;13(5):1204.

53. Arandi N, Tarek R. "TheraCal  
LC: From biochemical and  
bioactive properties to clinical  
applications." International  
journal of dentistry 2018 1-6.