

Vidrios bioactivos en odontología restauradora

Bioactive glasses in restorative dentistry

María Inés Garchitorea¹ ORCID: 0000-0001-6162-1466

DOI: 10.22592/ode2019n34a5

Resumen

Los vidrios bioactivos (vb) son materiales cerámicos con una composición química tal que poseen la propiedad de inducir y conducir la mineralización de los tejidos. La obtención de estos vidrios por medio del método sol-gel y la posibilidad de obtener tamaño nanométrico de partícula, han ampliado y potenciado las indicaciones de estos materiales.

Las propiedades antibacterianas de los vb son una característica sobresaliente; es debida a la liberación de iones que alcaliniza el medio, actuando sobre las colonias bacterianas.

Las aplicaciones médicas y odontológicas de estos materiales son muy amplias, destacándose la regeneración ósea, la remineralización de los tejidos duros dentarios y el tratamiento de la hipersensibilidad. Sin embargo, por tratarse de materiales con estructura química amorfa, sus propiedades mecánicas no son buenas, siendo esta característica su principal limitación para la aplicación clínica en el área de la odontología restauradora. En este sentido las investigaciones científicas se han enfocado en determinar la posibilidad de incorporar vb a diversos materiales dentales como forma de combinar su bioactividad con propiedades mecánicas apropiadas.

Hasta el momento no se ha logrado determinar la proporción y la metodología para incorporar vb en los materiales dentales sin alterar su comportamiento clínico, por lo que son necesarias más investigaciones.

Palabras clave: vidrios bioactivos, odontología restauradora, remineralización.

¹ Odontología restauradora integral, Facultad de Odontología, Universidad de la República, Uruguay.

Fecha de recibido: 05.09.2018 - Fecha de aceptado: 07.07.2019

Abstract

Bioactive glasses (bg) are ceramic materials whose chemical composition allows them to induce and conduct tissue mineralization. As these glasses can be obtained with the sol-gel method and in nanometric particle sizes, their indication has been extended and enhanced.

The antibacterial properties of bg are outstanding; they are possible given the release of ions, which alkalinizes the medium, acting on the bacterial colonies.

The medical and dental applications of these materials are wide, with an emphasis on bone regeneration, remineralization of hard dental tissues and treatment of hypersensitivity. However, as they are materials with an amorphous chemical structure, their mechanical properties are not good, this being their main limitation for clinical application in restorative dentistry. In this sense, scientific research has focused on determining the possibility of including bg in various dental materials as a way to combine bioactivity with appropriate mechanical properties.

So far, it has not been possible to determine the proportion and methodology necessary to include bg in dental materials without altering their clinical behavior, which is why further research is necessary.

Keywords: bioactive glass, restorative dentistry, remineralization.

Resumo

Os vidros bioativos (vb) são materiais cerâmicos com uma composição química tal que eles possuem a propriedade de induzir e conduzir a mineralização dos tecidos. A obtenção desses vidros por meio do método sol-gel e a possibilidade de obtenção de partículas nanométricas ampliaram e reforçaram as indicações desses materiais.

As propriedades antibacterianas do vb são uma característica marcante; é devido à liberação de íons que alcaliniza o meio, atuando nas colônias bacterianas.

As aplicações médicas e odontológicas desses materiais são muito amplas, destacando-se a regeneração óssea, a remineralização dos tecidos duros e o tratamento da hipersensibilidade. No entanto, por serem materiais com estrutura química amorfa, suas propriedades mecânicas não são boas, sendo essa a sua principal limitação para aplicação clínica na área de odontologia restauradora. Nesse sentido, a pesquisa científica tem se concentrado em determinar a possibilidade de incorporar vb em vários materiais odontológicos, como forma de combinar sua bioatividade com propriedades mecânicas apropriadas.

Até agora, não foi possível determinar a proporção e metodologia para incorporar vb em materiais odontológicos sem alterar seu comportamento clínico, razão pela qual mais pesquisas são necessárias.

Palavras-chave: vidro bioativo, odontologia restaurativa, remineralização.

Introducción

La remineralización es un proceso que implica devolver a la estructura dentaria los iones minerales perdidos, permitiendo el fortalecimiento y la funcionalidad de la estructura cristalina. ⁽¹⁾

Los huesos y los dientes son órganos extremadamente complejos, con una combinación de diferentes tejidos duros (hueso trabecular y compacto, esmalte dental, dentina, cemento dental) y tejidos blandos (médula ósea, pulpa

dental, ligamento periodontal). Presentan una estructura jerárquica única, con una gran combinación de fenómenos complejos como las interacciones biomoleculares, el intercambio de nutrientes o el transporte de fluidos. ⁽²⁾

La interacción de los materiales con los tejidos dentales está determinada por una serie de factores como la composición, el tamaño de la partícula, la química de los elementos liberados y la posibilidad de los tejidos de responder a estos agentes. ⁽³⁾ El objetivo de la odontología actual, es reparar los tejidos dañados y restituirlos a su estado natural, en lugar de sustituirlos con materiales sintéticos inertes. La ciencia de los materiales no solo estudia la posible toxicidad de los mismos, sino fundamentalmente, las respuestas tisulares específicas que ellos puedan desencadenar.

Nuevos materiales han surgido, entre ellos los vb, que han supuesto el desarrollo de técnicas remineralizantes de las estructuras dentarias y, en los últimos años, se ha planteado un nuevo paradigma en el ámbito de la salud: la odontología regenerativa. Esta propone reparar los tejidos dañados, utilizando mecanismos similares a los que utiliza el organismo para la renovación de las poblaciones celulares. Este enfoque requiere la utilización de biomateriales porosos, denominados andamiajes o *scaffolds*, que permiten y favorecen el crecimiento y organización del tejido vivo, a partir de cultivos celulares y factores bioquímicos adecuados, que inducen y promueven la regeneración del tejido dañado. Así, surgen nuevos retos orientados al desarrollo de andamiajes tridimensionales adecuados para que las células puedan crecer, proliferar y desarrollar la función específica para la que están destinadas. Los vb pueden utilizarse con este fin ya que cumplen con los requisitos necesarios, como osteoinducción, osteoconducción, biodegradabilidad, biocompatibilidad, radiopacidad, adecuadas propiedades mecánicas, fácil manipulación y esterilización. ⁽⁴⁾

Asimismo, la incorporación de estos vidrios a diversos materiales dentales restauradores se

está investigando con el propósito de aportar propiedades bioactivas y antimicrobianas que mejorarían el pronóstico de los tratamientos.

El objetivo de este trabajo de revisión es profundizar en el conocimiento de los vb y determinar la posibilidad de incorporarlos en diversos materiales dentales restauradores.

Metodología

La revisión de artículos se realizó a través de PubMed, Timbó y Scielo. El criterio de inclusión fue la fecha de los artículos, incluyendo aquellos publicados a partir del año 2000 (a excepción de los artículos de Larry Hench que, por su relevancia, se incluyeron pese a ser anteriores al año 2000) tanto en idioma inglés como en español.

Desarrollo

La evolución conceptual y técnica de los materiales ha transitado el camino de evitar el daño, utilizando materiales inertes, continuando con materiales biocompatibles y finalmente con materiales regenerativos, ⁽⁵⁻⁶⁻⁷⁾ que sustituyen los tejidos dentarios aplicando mecanismos similares a los que se producen en el organismo ⁽⁸⁾. Los materiales bioactivos son aquellos que generan una respuesta biológica en los tejidos y se manifiesta en la fuerte unión química del material con los tejidos duros y blandos. ⁽²⁻⁶⁻⁹⁾

Un material bioactivo ideal debe ser ⁽¹⁰⁾:

- a) Bactericida
- b) Bacteriostático
- c) Estéril
- d) Estimular la formación de dentina
- e) Mantener la vitalidad pulpar.

En el año 1969, Larry Hench desarrolla los vidrios bioactivos; buscando un material que pudiera unirse al hueso, descubre una composición que contenía 45 % en peso de óxido de silicio (SiO₂), 24,5 % en peso de óxido de sodio (Na₂O), 24,5 % en peso de óxido de cal-

cio (CaO), y 6 % en peso de óxido de fósforo (P₂O₅), que fue comercializada con el nombre de Bioglass® 45s5 a partir del año 1985. ⁽²⁻¹¹⁻¹²⁾

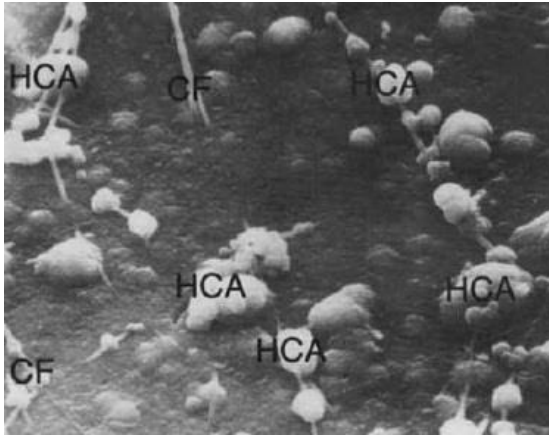


Fig. 1: La imagen muestra la formación de hidroxycarbonato de apatita sobre la superficie del material y en íntima relación con las fibras colágenas (hench, I. L. *Bioceramics: from concept to clinic. Journal of the american ceramic society* 1991; 74(7): 1487-1510.)

La primera publicación acerca de los vb se realizó en el año 1971, mostrando resultados *in vitro* e *in vivo* de la unión entre el hueso y el vb. Esta unión química es extremadamente fuerte debido a la unión a la estructura colágena; sin embargo, este vínculo a la estructura orgánica no fue descubierto sino hasta el año 1981. ⁽¹³⁾ (Fig 1)

Originalmente el vidrio se obtenía por el método de procesamiento tradicional que requería someter una mezcla de reactivos, en concentraciones moleculares adecuadas, a altas temperaturas (mayores a 1300°C), fundiendo los óxidos en un crisol de platino, para luego proceder a su enfriamiento rápido. Este enfriamiento aumenta la viscosidad y de esta forma el vidrio solidifica. Este método tiene varias desventajas, fundamentalmente debido a las altas temperaturas empleadas, que implica la obtención de una estructura altamente cristalina, la cual es considerada insoluble en medio fisiológico. ^(9, 14-16)

Este método tradicional ha sido sustituido por el método sol-gel, a partir del año 1991, en el que se realiza una síntesis química de precursores de sílice para formar y aglomerar nanopartículas dentro de un gel a temperatura ambiente ⁽¹⁷⁾. Este nuevo método tiene grandes ventajas: requiere temperaturas de procesamiento sustancialmente menores (600 a 700°C), se obtienen vidrios más puros y homogéneos, permite un mayor control en el tamaño de las partículas (pudiéndose obtener tamaño nanométrico), y permite potenciar la bioactividad. Es, además, un proceso de menores costos económicos. El método sol-gel permite generar estructuras nanoporosas (con poros entre 2 a 50 nm), aumentando así el área de superficie y por lo tanto aumentando la bioactividad. ^(5, 14-18) La porosidad permite, además, utilizar el vidrio como andamio o scaffold para la regeneración tisular ⁽¹⁵⁾ y como cápsulas portadoras de enzimas, antibióticos y antígenos. ^(2, 5, 16)

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; b) en los que solo se presenta conducción por una reacción superficial más lenta. ⁽¹¹⁾ El grupo a induce respuesta intracelular y extracelular, generando la unión del material al tejido duro y blando, mientras el grupo b induce solamente respuesta extracelular. ⁽¹⁹⁾

Los vidrios bioactivos (vb) son materiales cerámicos que se clasifican dentro del grupo de los materiales bioactivos tipo a. ⁽⁹⁾

En contacto con fluidos fisiológicos desencadenan reacciones químicas en su superficie, dando como resultado la formación de una capa de hidroxapatita carbonatada que favorece su biocompatibilidad y su integración en el hueso y los tejidos duros dentarios. ⁽⁴⁻²⁰⁾ Cuando el vb se encuentra en ambiente fisiológico, es decir en solución, se activan la osteoinducción y la producción de factores de crecimiento, produciéndose hueso con las mismas características del normal. ⁽⁷⁻¹³⁾ Existe evidencia, tanto *in vivo*

como *in vitro*, de que los productos de disolución lixiviados desde los vb, es decir separados de la estructura del material al encontrarse en el medio fisiológico, tienen efecto angiogénico. La estimulación directa por parte de los productos de disolución produce incrementos en factores de crecimiento, como el factor de crecimiento endotelial vascular (vegf) y el factor básico de crecimiento fibroblástico (bfgf) en las células fibroblásticas, además de regular la expresión de sus receptores respectivos. ⁽²¹⁾ Además, el aumento de ph asociado a la disolución-precipitación de los vb, afecta a los procesos celulares y se relaciona con un aumento de la actividad metabólica y la tasa de proliferación en las células eucariotas. ⁽²¹⁻²²⁾

La superficie de un implante de vb, cuando se somete a una solución acuosa o fluidos corporales, se convierte en una capa de gel de sílice, rica en óxido de calcio y óxido de fósforo, que se mineraliza luego en hidroxicarbonato en cuestión de horas. ⁽²³⁾ En vidrios con altos niveles de bioactividad, como el bioglass® 45s5, las primeras etapas de la reacción ocurren rápidamente, completándose a las 24 horas. ⁽¹⁴⁾ Se ha demostrado que los vb son efectivos contra bacterias orales, como streptococcus sanguis, streptococcus mutans y actinomyces viscosus. En un estudio *in vitro* se observó la disminución de la viabilidad bacteriana luego

de una hora de exposición al vidrio. Este efecto antibacteriano aumenta a las 3 hs. ⁽²⁴⁾

Actualmente las aplicaciones de los vidrios bioactivos son múltiples: se utilizan para sustitución ósea, reparación de defectos periodontales, reconstrucción maxilofacial, aumento del reborde alveolar, tratamientos terapéuticos de tumores, recubrimientos bioactivos sobre sustratos metálicos (como en el caso de los implantes dentales), tratamiento de la hipersensibilidad dental, remineralización dental, reparación craneal, dispositivos de acceso percutáneo, reparación de la cresta ilíaca, ortopedia y otorrinolaringología ⁽¹⁶⁾.

Discusión

Las pobres propiedades mecánicas de los vb, fundamentalmente baja resistencia a la fractura, limitan sus aplicaciones. Es por este motivo que se busca combinar el vb con diversos materiales que actúan como vehículo para su aplicación clínica. ⁽²⁵⁾ Asimismo, la posibilidad de incorporar vb en materiales restauradores y sistemas adhesivos como forma de dotarlos de características antibacterianas y promover la remineralización es una alternativa que podría aportar al tratamiento conservador en odontología restauradora. Modificar los materiales dentales con vb es una de las aplicaciones más interesan-

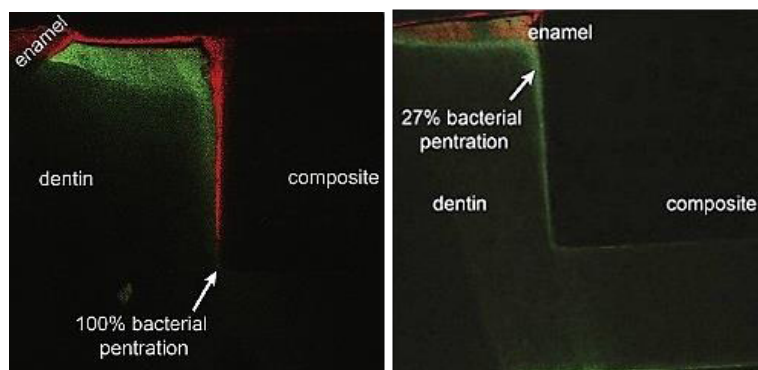


Fig. 2: Las imágenes muestran (por fluorescencia) la diferencia en penetración bacteriana en la interfaz dentina-resina y dentina-resina/vb (khvostenko 2015)

tes en el área odontológica ya que estos materiales combinados podrían generar una respuesta en el área marginal de las restauraciones que es la zona más crítica y sensible a la recidiva de caries. Podría, además, generarse una zona de unión entre el material restaurador y los tejidos gingivales en los casos de restauraciones coronarias totales, al comportarse el material como el tejido adamantino.⁽⁹⁻²⁶⁾

Sin embargo, el estudio de estos materiales combinados presenta múltiples desafíos. Por un lado, obtener materiales homogéneos es difícil, por lo general quedan poros en el material debido a la técnica de fabricación. Además, los test para comprobar el comportamiento mecánico no reproducen, la mayor parte de las veces, la situación oral. La mejor forma de predecir el comportamiento clínico de los materiales es diseñar tests que imiten lo mejor posible la situación clínica, utilizando *in vitro* especímenes con tamaño y forma similar a la utilizada clínicamente y siguiendo protocolos clínicos y de laboratorio estandarizados.⁽²⁷⁾ Las investigaciones apuntan a determinar los beneficios que los vb aportan al material dental, así como a observar las posibles alteraciones que pueden provocar en los mismos, en lo referente a comportamiento óptico, propiedades mecánicas, endurecimiento, etc.

En relación a los beneficios que aportan los vb se han estudiado el potencial antimicrobiano y remineralizante. Un reciente estudio *in vitro* ha demostrado la efectividad antibacteriana en una resina con 15% de incorporación de vb.⁽²⁸⁾ Se observó que la penetración bacteriana a nivel marginal fue mucho menor en las muestras en las que se utilizó el material experimental en relación con el material de control. (Fig. 2) Este beneficio antimicrobiano se suma a la capacidad del vb a remineralizar las estructuras dentarias, por lo que aparece como una alternativa muy prometedora en el área de la odontología restauradora. Sin embargo, lamentablemente aún no se dispone comercialmente de materiales que presenten estas características.

En cuanto a la remineralización de los tejidos duros dentarios se estudia el efecto de los vb tanto en esmalte como en la dentina.

En la remineralización del esmalte dental los vb se presentan como una alternativa prometedora y se han modificado con iones de flúor como forma de potenciar su poder remineralizante, mediante la formación de fluorapatita.⁽²⁹⁾

Se ha observado también que los vb se adhieren firmemente a la dentina y se ha demostrado que los iones del vidrio penetran en el tejido dentinario, mientras la superficie del vidrio en contacto con la dentina se altera, formándose apatita en la interfaz.⁽³⁰⁾ En un estudio *in vitro* para corroborar la mineralización dentinaria con vb, se observó nucleación y precipitación mineral en el tejido.⁽³¹⁾ Sin embargo, queda por confirmar si esta remineralización neta es, a la vez, una remineralización funcional que le devuelva las propiedades mecánicas al tejido⁽²²⁾, ya que las mismas no han podido ser restablecidas completamente en todos los casos estudiados.⁽²²⁻³²⁻³³⁾

En un estudio *in vitro* utilizando ionómero de vidrio mejorado con resina y vb se confirmó el aumento de la resistencia flexural de la dentina desmineralizada.⁽³⁴⁾ Se observó un aumento de la resistencia flexural de 10% en la dentina sana, y de 20% en la dentina desmineralizada. Los autores suponen que la diferencia de estos resultados en relación a estudios previos, podría deberse a la utilización de diferentes métodos de desmineralización dentinaria; mientras que estudios anteriores utilizaron edta⁽³³⁾, Khoroushi y col. utilizaron una mezcla de cloruro de calcio, fosfato monopotásico y ácido acético. Según los autores, el edta, al destruir totalmente la matriz colágena, produce una dentina más deteriorada que la que se observa en lesiones cariosas naturales, lo que imposibilitaría una adecuada remineralización y, por lo tanto, la restitución de la resistencia flexural. La unión del vb a la estructura dentinaria se debe, en gran medida, a su vínculo con la matriz colágena. La sustancia desmineralizante utilizada en este es-

tudio permite, según los autores, recrear más fielmente la situación clínica de la lesión dentinaria, eliminando selectivamente el contenido inorgánico, sin afectar la estructura orgánica. ⁽³⁴⁾

Un reciente estudio *in vitro* demostró la recuperación mecánica de la dentina, en términos de módulo elástico y dureza. Esta recuperación se explica por la asociación de los minerales neoformados, con la matriz orgánica. ⁽³⁵⁾

Como agente remineralizante y desensibilizante en dentífricos se desarrolló Novamin® (Novamin Technology, Glaxosmithkline, Florida, UK), un vidrio con partículas muy finas de aproximadamente 18 µm. ⁽²⁻¹⁵⁻¹⁸⁻¹⁹⁾ Este vidrio particulado tiene, además, propiedades antiplaca, antigingivitis, desensibilizante y regenerador. ⁽³⁶⁾

Se ha estudiado la utilización de vb como elemento desensibilizante en la profilaxis dental (Osspray Ltd., UK), evaluando clínicamente la efectividad de polvo de bicarbonato de sodio y polvo conteniendo vb. Se observó mayor eficacia estadística y clínica del polvo conteniendo vb en lo referente a la remoción de manchas, conjuntamente con mayor confort para el paciente por disminuir la sensibilidad generada en el procedimiento. Esto es debido a la oclusión de los túbulos a través de las partículas de vb. Una característica importante de este efecto desensibilizante es que es duradero, debido a que no se trata solamente de una oclusión mecánica de los túbulos, sino que se produce la deposición de ha por reacción de las partículas de vidrio; dicha ha presenta características estructurales y químicas semejantes a las estructuras naturales ⁽¹⁵⁻³⁷⁾ sustituir el uso de materiales abrasivos, como la alúmina, por vb en la profilaxis dental tiene el beneficio de permitir la remineralización, generar menos abrasividad y no tener efectos nocivos a nivel respiratorio ⁽¹⁵⁻³⁸⁾

La adhesión de los materiales dentales a la dentina continúa siendo un desafío, debido a las dificultades de evitar la hidrólisis que se presenta en los adhesivos luego de un período de tiempo. Esta hidrólisis debe a la presencia de

humedad en el tejido, que afecta a la estructura colágena desprovista de mineral. Las técnicas de autograbado y de grabado total no pueden sustituir completamente el agua presente en los espacios intrafibrilares y extrafibrilares de la matriz colágena. ⁽³⁹⁾ Es por este motivo que se buscan alternativas en las técnicas adhesivas en la dentina que permitan, a través del desarrollo de materiales más interactivos, sortear estos desafíos.

⁽³⁰⁾ Una alternativa para prevenir la hidrólisis en la interfaz resina- dentina es desarrollar un material que pueda inducir la remineralización del colágeno desnudo, evitando así la degradación proteica y, por lo tanto, el fallo adhesivo. ⁽³⁹⁾

Se ha comenzado a investigar la posibilidad de desarrollar sistemas adhesivos con incorporación de vb, comprobando que no se afecta la resistencia adhesiva ⁽³⁵⁾. En un estudio *in vitro* se analizó el comportamiento de dos sistemas adhesivos, uno conteniendo vb 45s5 y otro con vb modificado con zinc (45s6), sobre especímenes de dentina desmineralizada. Se observó un incremento estadísticamente significativo de las propiedades mecánicas (dureza y módulo elástico) del tejido, debido a la remineralización lograda. ⁽³⁵⁾

En relación a las posibles alteraciones que la incorporación de vb pueden provocar en los materiales dentales los estudios han mostrado resultados dispares. Según los investigadores hay dos aspectos que son objeto de preocupación y por lo tanto de numerosos estudios: por un lado, la falta de unión entre el vb y la matriz resinosa y por otro la liberación de iones característica de la bioactividad, ambos aspectos responsables de la alteración mecánica que se observa en los materiales resinosos con contenido de vb. ⁽⁴⁰⁾

En el año 1999 se estudió la incorporación de vb en un *iv* convencional, determinándose que “esencialmente” no se ve alterado el tiempo de fraguado ⁽⁴¹⁾

En el año 2003 se realizó un estudio para evaluar el efecto que la incorporación de vb, a un material de *iv* mejorado con resina, podría tener en el mecanismo y tiempo de fraguado, así como

en las propiedades mecánicas del material. Se observó que el tiempo de fraguado aumenta y que la resistencia compresiva disminuye. ⁽⁴²⁾

Se estudiaron la resistencia compresiva, el módulo elástico y la dureza vickers, tanto de iv convencionales como de iv modificados con resina a los que se les incorporó vb ⁽⁴³⁾ se observó que las propiedades mecánicas se ven alteradas en alguna medida, proponiendo el uso restrictivo de estos materiales combinados a aquellas situaciones clínicas que se benefician de las propiedades bioactivas y que no requieran soportar cargas intensas, como por ejemplo en protección pulpar y como sellador endodóntico.

En el año 2008 se incorporó vb a un ionómero vítreo de uso comercial muy extendido (Fuji 1, GC, Japan) ⁽⁴⁴⁾. Se utilizaron polvos de vidrio de tamaño micrométrico, en proporciones entre 10% y 30 %. Se examinó el comportamiento del material en relación a tiempo de fraguado, resistencia tensional y bioactividad in vitro. El tiempo de fraguado se vio aumentado a medida que se aumenta la proporción de vb, sin embargo, la resistencia tensional no se vio afectada. ⁽⁴⁴⁾

Se ha estudiado la posibilidad de incorporar vb conteniendo flúor en una proporción, entre 12% a 15% en peso, a un material compuesto, de forma que, a través de una única fuente, se aporte flúor y calcio al medio, así como la posibilidad de recargar de flúor al material al exponerlo a una solución de 5000 ppm de flúor. Se pudo demostrar que al utilizar vb obtenidos a partir del método sol-gel es posible liberar rápidamente iones y recargar el material compuesto con flúor, sin alterar las propiedades mecánicas. Esto es gracias a la mayor superficie reactiva que se genera en los vb producidos con el método sol-gel. ⁽⁴⁵⁾ Esta proporción de 15% de vb en el material resinoso ha demostrado ser efectiva para proveer al material de propiedades bioactivas y antibacterianas sin afectar las propiedades mecánicas. ⁽⁴⁰⁾

En el año 2011 se realizó una investigación para determinar las propiedades mecánicas, particularmente la resistencia flexural, de un

material restaurador combinando cerámica/vb. Se utilizó porcelana leucítica (k) entre un 50 % y un 70%, comprobándose que puede obtenerse un material con adecuadas propiedades mecánicas sin perder la bioactividad. Las propiedades mecánicas mejoran a medida que se aumenta el contenido cerámico del material. ⁽⁴⁶⁾ En investigaciones posteriores se concluyó, pese a las limitaciones de las investigaciones in vitro, que el porcentaje ideal para alcanzar buenas propiedades mecánicas sin perder la bioactividad es 20 % vb y 80 % cerámica. ⁽²⁷⁾ Un aspecto interesante de este material combinado sería la potencial formación de una unión gingival alrededor de restauraciones coronarias totales, facilitada por el comportamiento bioactivo y la composición similar al esmalte dental. Esta unión sellaría la interfaz diente-restauración eliminando la posibilidad de disolución y deterioro del cemento utilizado en la fijación, recidiva de caries y eventual fracaso de la restauración. ⁽⁴⁶⁻⁴⁷⁾

Comentarios finales

La remineralización de las estructuras dentarias con materiales bioactivos es un campo en el que la odontología restauradora ha evolucionado acompañando la odontología de mínima intervención. Los vb, a pesar de haber sido desarrollados hace ya varias décadas, han encontrado un nuevo impulso en los últimos años, fundamentalmente gracias a los avances científicos que han posibilitado controlar los métodos de obtención y el tamaño de la partícula.

Sin embargo, queda aún pendiente definir aspectos trascendentes, como técnicas de sintetización, porcentaje ideal, etc, que permita aplicar los vb en los materiales restauradores. Serán necesarios más estudios de investigación para lograr incorporar los elementos bioactivos a los materiales restauradores, combinando las propiedades de ambas fases.

El objetivo utópico de regenerar los tejidos dentarios podría no estar tan lejano a la vista del potencial que estos materiales presentan.

Contribución de autoría

1. Concepción y diseño del estudio
2. Adquisición de datos
3. Análisis de datos
4. Discusión de los resultados
5. Redacción del manuscrito
6. Aprobación de la versión final del manuscrito

MIG ha contribuido en: 1, 2, 3, 4, 5 y 6.

Referencias

1. Ferracane JL, Cooper PR, Smith AJ. Can interaction of materials with the dentin-pulp complex contribute to dentin regeneration? *Odontology*. 2010; 98 (1): 2-14
2. Krishnan V, Lakshmi T. Bioglass: a novel bio-compatible innovation. *J adv pharm tech res*. 2013; 4 (2): 78-83
3. Salinas AJ, Vallet-Regí M. The sol-gel production of bioceramics. *Key engineering materials*. Trans tech publications, 2009; 391:141-158
4. Sarin S, Rekhi A. Bioactive glass: a potential next generation biomaterial. *Srm j res den sci*. 2016; 7 (1): 27
5. Saqib A, Imran F, Kefi I. A review of the effect of various ions on the properties and the clinical applications of novel bioactive glasses in medicine and dentistry. *The saudi dental journal*. 2014; 26:1-5.
6. López Piriz R. Vidrios bioactivos en odontología. *Gaceta dental*. 2016; 281: 104-22
7. Fernando D, Attik N, Pradelle-Plasse N, Jackson P, Grosogeat B, Colon P. Bioactive glass for dentin remineralization: a systematic review. *Materials science and engineering*. 2017.
8. Kaur G, Pandey OP, Singh K, Homa D, Scott B, Pickrell G. A review of bioactive glasses: their structure, properties, fabrication and apatite formation. *J biomed mater res a*. 2014;102 (1): 254-74.
9. Sonarkar S, Purba R. Bioactive materials in conservative dentistry. *Inter j contemp dent med rev*. 2015: 1-4.
10. Sepúlveda Rebaudo G. Evaluación de la bioactividad del cemento biodentine modificado con nanopartículas de vidrio bioactivo. Universidad de Chile, facultad de odontología. 2015.
11. Badami V, Ahuja B. Biosmart materials: breaking new ground in dentistry. *Scientific world j*. 2014; 2014: 986912. Doi:10.1155/2014/986912
12. Abbasi Z, Bahrololoum ME, Bagheri R, Shariat MH. Characterization of the bioactive and mechanical behavior of dental ceramic/sol-gel derived bioactive glass mixtures. *J of the mechanical behavior of biomedical materials*. 2016; 54: 115-22.
13. Polini A, Bai H, Tomsia A. Dental applications of nanostructured bioactive glass and its composites. *Wiley interdiscip rev nanomed nanobiotechnol*. 2014; 5 (4): 399-410
14. Hench L. The story of bioglass. *J mater sci: mater med*. 2006; 17: 967-978 .
15. Khoroushi M, Keshani F. A review of glass-ionomers: from conventional glass-ionomer to bioactive glass-ionomer. *Dental research journal*. 2013; 10 (4): 411-420.
16. Narayana S, Deepa VK, Ahamed S, Sathish ES, Meyappan R, Kumar S. Remineralization efficiency of bioactive glass on artificially induced carious lesion an *in-vitro* study. *Journal of indian society of pedodontics and preventive dentistry*. 2014; 32(1): 19-25.
17. Hench, LL. Bioceramics: from concept to clinic. *J american cer soc*. 1991; 74 (7): 1487-1510.
18. Salonen JI, Arjasamaa M, Tuominen U, Behbehani MJ, Zaatar EI. Bioactive glass in dentistry. *J minim interv dent*. 2009; 2 (4): 208-18.
19. Jones JR. Review of bioactive glass: from hench to hybrids. *Acta biomaterialia*. 2013; 9 (1): 4457-4486.
20. Aguiar H, Serra J, González P. Los vidrios bioactivos en el mundo de los biomateriales. *An. Quím*. 2011; 107 (3): 237-42.

21. Hench L. Chronology of bioactive glass development and clinical applications. *New journal of glass and ceramics*. 2013; 3 (2): 67-73.
22. Sepulveda P, Jones JR, Hench LL. Characterization of melt-derived 45s5 and sol-gel-derived 58s bioactive glasses. *J biomed mater res*. 2001; 58 (6): 734-40.
23. Abbasi Z, Bahrololoom ME, Shariat MH, Bagheri R. Bioactive glasses in dentistry: a review. *J dent biomater*. 2015; 2 (1):1-9.
24. Allan I, Newman H, Wilson M. Antibacterial activity of particulate bioglass against supra and subgingival bacteria. *Biomaterials*. 2001; 22: 1683-87.
25. Stanciu GA, Stanciu SG, Sandulescu I, Bogdan Savu. Investigation of the hydroxyapatite growth on bioactive glass surface. *J. Biomed. Pharm. Eng*. 2007; (1): 34-9.
26. Goudouri OM, Kontonasaki E, Papadopoulou L, Manda M, Kavouras P, Triantafyllidis KS., Paraskevopoulos KM. An experimental bioactive dental ceramic for metal-ceramic restorations: textural characteristics and investigation of the mechanical properties. *J mec behavior biomed mater*. 2017; 66: 95-103.
27. Matsuya S, Matsuya Y, Ohta M. Structure of bioactive glass and its application to glass ionomer cement. *Dent mater j*. 1999;18 (2): 155-66
28. Khvostenko D, Hilton TJ, Ferracane JL, Mitchell JC, Kruzic JJ. Bioactive glass fillers reduce bacterial penetration into marginal gaps for composite restorations. *Dent mater*. 2015; 32 (1): 73-81.
29. Brauer DS, Karpukhina N, O'donnell MD, Law RV, Hill RG. Fluoride-containing bioactive glasses: effect of glass design and structure on degradation, pH and apatite formation in simulated body fluid. *Acta biomater*. 2010; 6 (8): 3275-82.
30. Efflandt SE, Magne P, Douglas WH, Francis Lf. Interaction between bioactive glasses and human dentin. *Journal of materials science: materials in medicine*. 2002; 13 (6): 557-65.
31. Forsback AP, Areva S, Salonen J. Mineralization of dentin induced by treatment with bioactive glass s53p4 in vitro. *Acta odontologica scandinavica*. 2004; 62 (1): 14-20.
32. Hannig M, Hannig C. Nanomaterials in preventive dentistry. *Nat nanotechnol*. 2010; 5: 565-9.
33. Vollenweider M, Brunner TJ, Knecht S, Grass Rn, Zehnder M, Imfeld T, Stark Wj. Remineralization of human dentin using ultrafine bioactive glass particles. *Acta biomater*. 2007; 3: 936-43.
34. Khoroushi M, Mousavinasab SM, 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): E21-e30.
35. Sauro S, Osorio R, Watson Tf, Toledano M. Therapeutic effects of novel resin bonding systems containing bioactive glasses on mineral-depleted areas within thebonded-dentineinterface. *J mater sci mater med* .2012; 23: 1521-32
36. Crovace M C, Souza M T, Chinaglia C R, Peitl O, Zanotto E D. Biosilicate®—a multipurpose, highly bioactive glass-ceramic. In vitro, in vivo and clinical trials. *J of non-crystalline solids*. 2016; 432: 90-110
37. Kumar A, Singh S, Thumar G, Mengji A. Bioactive glass nanoparticles (novamin®) for applications in dentistry. *J dent and med*. 2015;14 (8):30-5
38. Banerjee A, Hajatdoost-Sani M, Farrell S, Thompson I. A clinical evaluation and comparison of bioactive glass and sodium bicarbonate air-polishing powders. *J dent*. 2010; 38 (6): 475-79.
39. Farooq I, Imran Z, Farooq U, Leghari A, Ali H. Bioactive glass: a material for the future. *World j dent*. 2012; 3 (2):199-201.
40. Davis HB, Gwinner F, Mitchell JC, Ferracane JL. Ion release from, and fluoride recharge of a composite with a fluoride-containing bioactive glass. *Dent mater*. 2014; 30 (10): 1187-1194.
41. Ana ID, Matsuya S, Ohta M, Ishikawa K. Effects of added bioactive glass on the setting and mechanical properties of resin-modified glass ionomer cement. *Biomaterials*. 2003; 24 (18): 3061-67.
42. Yli-Urpo H, Narhi M, Narhi T. Compound changes and tooth mineralization effects of a glass ionomer cements containing bioactive

- ve glass (s53p4), an in vivo study. *Biomater.* 2005; 26: 5934-41.
43. Choi JY, Lee HH, Kim HW. Bioactive sol-gel glass added ionomer cement for the regeneration of tooth structure. *Journal of materials science: materials in medicine.* 2008; 19 (10): 3287-94.
44. Khvostenko D, Mitchell JC, Hilton TJ, Ferracane JL, Kruzic JJ. Mechanical performance of novel bioactive glass containing dental restorative composites. *Dent mater.* 2013; 29 (11): 1139-1148.
45. Bauer J, Carvalho EM, Carvalho CN, Meier MM, de Souza JP, De Carvalho RM, Loguerio AD. Development of a simplified etch-and-rinse adhesive containing niobiophosphate bioactive glass. *International journal of adhesion and adhesives.* 2016; 69: 110-14.
46. Goudouri OM, Kontonasaki E, Theodoridou A, Kantiranis N, Chatzistavrou X, Koidis P, Paraskevopoulos KM. Dental ceramics/bioactive glass composites: characterization and mechanical properties investigation. *Bioceramics development and applications.* 2011; 1:1-4.
47. Manda M, Goudouri OM, Papadopoulou L, Kantiranis N, Christofilos D, Triantafyllidis K, Koidis P. Material characterization and bioactivity evaluation of dental porcelain modified by bioactive glass. *Ceramics international.* 2012; 38 (7): 5585-5596.

María Inés Garchitorena: migarchitorena@gmail.com