

---

# REVISIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE CEMENTOS DE SILICATO DE CALCIO EN ODONTOLOGÍA RESTAURADORA

## THE CURRENT STATE OF CALCIUM SILICATE CEMENTS IN RESTORATIVE DENTISTRY: A REVIEW

CAMILA CORRAL NÚÑEZ<sup>1</sup>, EDUARDO FERNÁNDEZ GODOY<sup>2</sup>, JAVIER MARTÍN CASIELLES<sup>3</sup>, JUAN ESTAY<sup>4</sup>, CRISTIAN BERSEZIO MIRANDA<sup>4</sup>, PATRICIA CISTERNAS PINTO<sup>5</sup>, OSMIR BATISTA DE OLIVEIRA Jr.<sup>6</sup>

**RESUMEN.** Los cementos de silicato de calcio se han aplicado como materiales dentales desde hace más de veinte años; sin embargo, su uso en el área de la odontología restauradora es más reciente. Mejores propiedades mecánicas y menores tiempos de endurecimiento le permiten ser indicados para una variedad de aplicaciones en las que este material se utiliza como sustituto dentinario, entre ellas el recubrimiento pulpar directo/indirecto y como base/liner cavitario. A su vez, también se podría utilizar como material para restaurar esmalte de manera temporal. El presente artículo busca revisar la evidencia científica disponible, enfocándola a sus aplicaciones en odontología restauradora. La información se obtuvo a partir de artículos originales de investigación científica y revisiones de literatura, publicados en revistas disponibles en bases de datos como Medline/Pubmed y Scielo, junto a la información técnica otorgada por los fabricantes de estos cementos. El presente trabajo describe la composición, el modo de empleo, la reacción de fraguado y la evidencia científica sobre las aplicaciones de los cementos de silicato de calcio en odontología restauradora.

**Palabras clave:** cementos de silicato, cementos dentales, materiales dentales, recubrimiento de la pulpa dental.

Corral-Núñez C, Fernández-Godoy E, Martín-Casielles J, Estay J, Bersezio-Miranda C, Cisternas-Pinto P et al Revisión del estado actual de cementos de silicato de calcio en odontología restauradora. Rev Fac Odontol Univ Antioq 2016; 27(2): 425-441. DOI: <http://dx.doi.org/10.17533/udea.rfo.v27n2a10>

---

**Abstract.** Calcium silicate cements have been used as dental materials for more than twenty years; however, their use in restorative dentistry is more recent. Better mechanical properties and shorter curing times make them suitable for a variety of applications in which they are used as a substitute of dentin, including direct/indirect pulp capping and as cavity base/liner. These materials may also be used to restore enamel temporarily. This article seeks to review the available scientific evidence with a focus on their applications in restorative dentistry. The information was gathered by reviewing original scientific research articles and literature reviews published in journals available in databases such as Medline/Pubmed and Scielo, along with technical information provided by the manufacturers of these cements. This article describes the composition, instructions for use, and curing reaction of calcium silicate cements, as well as the scientific evidence on their applications in restorative dentistry.

**Key words:** silicate cements, dental cements, dental materials, dental pulp capping.

Corral-Núñez C, Fernández-Godoy E, Martín-Casielles J, Estay J, Bersezio-Miranda C, Cisternas-Pinto P et al. O. The current state of calcium silicate cements in restorative dentistry: A review. Rev Fac Odontol Univ Antioq 2016; 27 (2): 425-441. DOI: <http://dx.doi.org/10.17533/udea.rfo.v27n2a10>

- 
- 1 Odontólogo, MClínDent, PhD(c) UNESP, Instructor, Departamento de Odontología Restauradora, Facultad de Odontología, Universidad de Chile, Chile.
  - 2 Odontólogo, PhD, Profesor Asociado, Departamento de Odontología Restauradora, Facultad de Odontología, Universidad de Chile, Chile.
  - 3 Odontólogo, PhD, Profesor Asistente, Departamento de Odontología Restauradora, Facultad de Odontología, Universidad de Chile, Chile.
  - 4 Odontólogo, PhD(c) UNESP, Ayudante, Departamento de Odontología Restauradora, Facultad de Odontología, Universidad de Chile, Chile.
  - 5 Odontólogo, MSc, Profesor Asistente, Departamento de Odontología Restauradora, Facultad de Odontología, Universidad de Chile, Chile.
  - 6 Odontólogo, PhD, Profesor Adjunto, Facultad de Odontología, UNESP, Brasil.

RECIBIDO: AGOSTO 14/2015-ACEPTADO: OCTUBRE 13/2015

- 
- 1 DMD, MClínDent, PhD (c) UNESP, Instructor, Department of Restorative Dentistry, School of Dentistry, Universidad de Chile, Chile.
  - 2 DMD, PhD, Associate Professor, Department of Restorative Dentistry, School of Dentistry, Universidad de Chile, Chile.
  - 3 DMD, PhD, Assistant Professor, Department of Restorative Dentistry, School of Dentistry, Universidad de Chile, Chile.
  - 4 DMD, PhD (c) UNESP, Assistant, Department of Restorative Dentistry, School of Dentistry, Universidad de Chile, Chile.
  - 5 DMD, MSc, Assistant Professor, Department of Restorative Dentistry, School of Dentistry, Universidad de Chile, Chile.
  - 6 DMD, PhD, Adjunct Professor, School of Dentistry, UNESP, Brazil.

SUBMITTED: AUGUST 14/2015 - ACCEPTED: OCTOBER 13/2015

## INTRODUCCIÓN

Lentamente, los cementos de silicato de calcio han empezado a abrirse un espacio dentro de la variedad de materiales usados en odontología restauradora. Si bien es cierto que su uso en endodoncia ya es de larga data, su introducción en procedimientos propios de odontología restauradora ha sido más reciente. El Mineral Trioxide Aggregate (MTA) fue el primero de este tipo de materiales en ser desarrollado (patentado en 1995). En respuesta a las favorables propiedades de biocompatibilidad y bioactividad de este primer material, numerosos fabricantes elaboraron productos similares al MTA, como MTA Angelus (Angelus Soluções Odontológicas, Brazil) y Endo CPM Sealer (Egeo, Argentina).<sup>1</sup> En general, estos materiales apuntan a su uso en tratamientos endodónticos; sin embargo, también incluyen aplicaciones propias de la odontología restauradora, entre ellas la posibilidad de realizar recubrimiento pulpar directo.<sup>1,2</sup>

Posteriormente, en 2011, apareció en el mercado Biodentine™ (Septodont, Saint Maur des Fosses, France), el cual se indica para ser usado como remplazo de dentina tanto coronal como radicular.<sup>3</sup> El rápido fraguado de este cemento, en comparación con los silicatos de calcio previos, y la mejora de las propiedades mecánicas, le permiten ser indicado como material de restauración definitiva en remplazo de dentina y como cemento temporal para restituir esmalte.<sup>3</sup> Otros materiales, como el TheraCal LC (Bisco Inc, Schamburg, IL, USA), han sido desarrollados más recientemente, proponiendo el uso de silicatos de calcio mezclados con resinas compuestas, dado que, al ser fotopolimerizables, logran controlar el tiempo de endurecimiento.

Una de las grandes ventajas de los silicatos de calcio es la llamada propiedad de bioactividad. Los materiales bioactivos se han definido como aquellos que “provocan una respuesta biológica en la interface de los tejidos con el material, resultando en la formación de una unión entre el material y el tejido”.<sup>4,5</sup> Esto se ha visto reflejado en las respuestas favorables observadas cuando el material está en contacto con tejidos blandos como el tejido pulpar y el periodontal, o con tejidos duros como la dentina.<sup>6-8</sup>

## INTRODUCTION

Calcium silicate cements are gradually making their way through the various materials used in restorative dentistry. While it is true that they have long been used in endodontics, their introduction in restorative dentistry is more recent. Mineral Trioxide Aggregate (MTA) was the first of this type of materials to be developed (patented in 1995). As a result of the favorable properties of biocompatibility and bioactivity of this first material, many manufacturers developed other MTA-like products, such as MTA Angelus (Angelus Soluções Odontológicas, Brazil) and Endo CPM Sealer (Egeo, Argentina).<sup>1</sup> These materials are largely used in endodontic treatments; however, they can also be used in restorative dentistry, including direct pulp capping.<sup>1,2</sup>

Later, in 2011, a new material appeared in the market: Biodentine™ (Septodont, Saint Maur des Fossés, France), which is indicated as a replacement for both coronal and root dentin.<sup>3</sup> The quick hardening of this cement, in comparison with previous calcium silicates, and its improved mechanical properties made it suitable for definitive restorations in replacing dentin and as a temporary cement to restore enamel.<sup>3</sup> Other materials, such as TheraCal LC (Bisco Inc., Schamburg, IL, USA), have been developed more recently suggesting the use of calcium silicates mixed with composite resins, which can control hardening times since they are light-curing materials.

One of the greatest advantages of calcium silicates is their so-called bioactivity property. Bioactive materials are defined as those that “trigger a biological response in the tissue-material interface, resulting in the formation of bonding between material and tissue”.<sup>4,5</sup> This is evident in the favorable responses observed when the material is in contact with soft tissues such as pulp and periodontal tissues, or with hard tissues such as dentin.<sup>6-8</sup>

Los resultados de las investigaciones muestran que estos cementos son capaces de generar una unión íntima con la dentina a través de una zona de infiltración mineral, con formación de tags minerales y difusión de calcio y silicio a la dentina.<sup>9, 10</sup> Además, en contacto con tejido pulpar, el material es capaz de estimular la formación de puente dentinario.<sup>11</sup> Es por eso que el estudio de estos materiales es de especial interés para la odontología restauradora, por su potencial uso como material restaurador en caso de cavidades dentinarias profundas, y en terapias de recubrimiento pulpar directo e indirecto.

Debido a que los cementos de silicato de calcio han ampliado su rango de indicaciones, incluyendo algunas propias de la odontología restauradora, además de la aparición de nuevos materiales a base de silicato de calcio con importantes variaciones en sus composiciones, se hace necesario revisar la evidencia científica disponible que evalúa su uso en estas aplicaciones, ya que actualmente no existen revisiones que se enfoquen en esta temática en particular. Por ello este artículo de revisión de tema tiene por objetivo revisar la información disponible sobre los cementos de silicato de calcio, enfocándolo a sus posibles aplicaciones en odontología restauradora. De esta manera, se busca actualizar al odontólogo en su conocimiento sobre los cementos de silicato de calcio, ayudándolo a una toma de decisiones clínica más informada.

Se realizó una revisión del tema en la literatura, a través de una búsqueda en las bases de datos Medline/Pubmed y Scielo, ingresando las palabras clave *calcium silicate cement*, *tricalcium silicate cement*, *Mineral Trioxide Aggregate*, *Biodentine™*, *TheraCal LC* y *bioactive cements*. Junto con ello, se recopiló la información técnica otorgada por los fabricantes de estos cementos. Para el análisis de la información recopilada, se revisaron los resúmenes de los artículos disponibles y se incluyeron aquellos que se consideraron relevantes para el tema a tratar.

## MINERAL TRIOXIDE AGGREGATE

El MTA, o Mineral Trioxide Aggregate, es el primer silicato de calcio desarrollado para uso en odontología, el cual

Research shows that these cements can produce strong bonding with dentin through an area of mineral infiltration, with formation of mineral tags and diffusion of calcium and silicon to dentin.<sup>9, 10</sup> In addition, in contact with pulp tissue, the material can stimulate dentin bridge formation.<sup>11</sup> This is why the study of these materials is of particular interest to restorative dentistry, due to their potential use as restorative materials in case of deep dentin cavities, as well as in direct and indirect pulp capping therapies.

Since calcium silicate cements have expanded their range of indications, including some for restorative dentistry, and due to the emergence of new silicate calcium-based materials with important variations in their compositions, it is necessary to review the available scientific literature that assess their use in these applications, due to the lack of reviews focusing on this particular topic. Therefore, this review article aims to evaluate the available information on calcium silicate cements, focusing on their possible applications in restorative dentistry. Thus, it seeks to update the clinicians' knowledge about calcium silicate cements, helping them make more informed clinical decisions.

We conducted a topic review by searching on the Pubmed/Medline and Scielo databases using the following key words: *calcium silicate cement*, *tricalcium silicate cement*, *Mineral Trioxide Aggregate*, *Biodentine™*, *TheraCal LC*, and *bioactive cements*. In addition, technical information provided by manufacturers of these cements was collected. Data analysis involved reviewing the abstracts of available articles, and only those that were considered relevant to the subject matter were included.

## MINERAL TRIOXIDE AGGREGATE

Mineral Trioxide Aggregate (MTA) was the first calcium silicate developed for dental use; it was

fue desarrollado y patentado en 1995 por Torabinejad y White.<sup>12</sup> Su principal componente es cemento de Portland tipo I (silicato de calcio), conocido como cemento de Portland ordinario, usado en construcción, al que se le ha agregado óxido de bismuto ( $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ) para proveer radiopacidad.<sup>12</sup>

## Composición y modo de empleo

La fórmula original del MTA fue desarrollada en la Universidad de Loma Linda, Estados Unidos, y es fabricada por Dentsply International (ProRoot MTA and Tooth-Colored MTA; Dentsply-Tulsa Dental, Tulsa-USA; Dentsply-Johnson City-USA). Sin embargo, han aparecido una serie de productos similares fabricados por otras compañías.<sup>1</sup> Diversos estudios han permitido conocer en más detalle los componentes de los principales tipos de MTA, ProRoot MTA (Grey MTA o GMTA) y Tooth-Colored MTA (White MTA o WMTA).<sup>13</sup> Los principales componentes del GMTA están descritos en la tabla 1, mientras que los componentes de la versión blanca, WMTA, son silicato tricálcico y óxido de bismuto.<sup>13</sup> Los estudios que comparan su composición han concluido que la diferencia de color entre estos se debe a la falta de compuestos de hierro en la fórmula de WMTA. También se ha observado un menor tamaño de partículas en WMTA al compararlo con GMTA, lo que se ha propuesto que puede estar relacionado con las mejores propiedades de manipulación que presenta WMTA.<sup>13-15</sup>

Tabla 1. Componentes de ProRoot MTA (Grey MTA or GMTA)

Polvo	Líquido
Silicato tricálcico	Agua estéril
Silicato dicálcico	
Óxido de Bismuto	

Estos cementos se preparan mezclando el polvo de MTA con agua estéril en una proporción de polvo y líquido de 3:1.<sup>16</sup> Se utiliza una espátula plástica o metálica para mezclar el cemento en una loseta, y esta mezcla se puede aplicar con un instrumento tipo porta amalgama plástico o metálico para llevar el material al sitio de aplicación.<sup>16</sup>

developed and patented by Torabinejad and White in 1995.<sup>12</sup> Its main component is Portland cement type I (calcium silicate), known as regular Portland cement used in construction, which is added bismuth oxide ( $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ) to provide it with radiopacity.<sup>12</sup>

## Composition and instructions for use

The original MTA formula was developed at the University of Loma Linda, United States, and was manufactured by Dentsply International (ProRoot MTA and Tooth-Colored MTA; Dentsply-Tulsa Dental, Tulsa-USA; Dentsply-Johnson City-USA). However, various similar products have been manufactured by other companies.<sup>1</sup> Several studies have provided detailed information on the components of the main types of MTA, ProRoot MTA (Grey MTA or GMTA) and Tooth-Colored MTA (White MTA or WMTA).<sup>13</sup> The main components of GMTA are described in table 1, while the components of the white version, WMTA, are tricalcium silicate and oxide bismuth.<sup>13</sup> Studies comparing their composition have concluded that the difference in color between these materials is due to the lack of iron compounds in the WMTA formula. The observations have also found smaller particles in WMTA compared with GMTA, suggesting that this may be connected to the easier handling of WMTA.<sup>13-15</sup>

Table 1. Components of ProRoot MTA (Grey MTA or GMTA)

Powder	Liquid
Tricalcium silicate	Sterile water
Dicalcium silicate	
Bismuth oxide	

These cements are prepared by mixing MTA powder with sterile water in a 3:1 ratio.<sup>16</sup> A plastic or metal spatula is used to mix the cement in a glass lab, and the mix can be applied with an instrument such as a plastic or metal amalgam carrier to bring the material to the application site.<sup>16</sup>

## Reacción de fraguado

La mezcla del polvo con el agua estéril lleva a la formación de un gel coloidal, el cual solidifica.<sup>1</sup> Durante la mezcla, se produce una reacción de hidratación de sus componentes, lo que lleva a la formación de un gel de silicato de calcio hidratado (C-S-H) e hidróxido de calcio como subproducto.<sup>17</sup> Una vez iniciada la mezcla, el valor de pH aumenta bruscamente, alcanzando pH 12 luego de 20 m, que permanece por tres horas.<sup>18, 19</sup> Camilleri ha estudiado los cambios químicos que ocurren cuando se hidrata el cemento. Se ha observado que una alta proporción de iones de calcio es liberada rápidamente, debido a la disolución del hidróxido de calcio y a una progresiva descalcificación de C-S-H. Esto ocurre con mayor rapidez que la liberación de sílice y bismuto. Se piensa que los altos niveles de calcio liberados se relacionan con la biocompatibilidad de este material, debido a que la elución de hidróxido de calcio induce la proliferación celular *in vitro*.<sup>17</sup>

El tiempo de endurecimiento de la versión original de MTA, GMTA, es de 165 (+/-5) m;<sup>18</sup> mientras que WMTA demora 70 (+/-8,5) m, con un tiempo de trabajo de 5 (+/-0,79) m.<sup>20</sup> Este largo tiempo de endurecimiento es una de las principales desventajas de este tipo de materiales, y es una de las razones por las que este material no puede ser usado en procedimientos en una sola sesión.<sup>2</sup> Por lo general, los clínicos deben confirmar el endurecimiento del material en una segunda sesión y continuar con la siguiente etapa.

## Aplicaciones en odontología restauradora

Dentro de las numerosas aplicaciones relativas a la endodoncia, también se ha propuesto el uso de MTA en tratamientos de recubrimiento pulpar directo.<sup>2</sup> La técnica para realizar esta terapia en dientes vitales ha sido descrita en detalle por Whitterspoon.<sup>21</sup>

## Curing reaction

Mixing the powder with sterile water produces a colloidal gel which soon solidifies.<sup>1</sup> During this mixing, a hydration reaction occurs with the components, leading to the formation of calcium silicate hydrate (C-S-H) and calcium hydroxide as by-products.<sup>17</sup> Once the mixture starts, its pH value increases sharply, reaching to pH 12 after 20 m, which remains for three hours.<sup>18, 19</sup> Camilleri has studied the chemical changes that occur when the cement hydrates. It has been observed that a high proportion of calcium ions is released quickly, due to the dissolution of calcium hydroxide to a progressive decalcification of C-S-H. This occurs more rapidly than the release of silica and bismuth. It is thought that high levels of calcium released are connected to the biocompatibility of the material, since the elution of calcium hydroxide induces cell proliferation *in vitro*.<sup>17</sup>

The curing time of the original version of MTA, GMTA, is 165 (+/- 5) m;<sup>18</sup> while WMTA takes 70 (+/- 8.5) m, with a working time of 5 (+/- 0.79) m.<sup>20</sup> This extended curing time is one of the biggest disadvantages of this type of material, and is one of the reasons why it cannot be used in single-session procedures.<sup>2</sup> Generally, clinicians should confirm the material's curing time in a second session before moving to the next step.

## Applications in restorative dentistry

Among the numerous applications in endodontic treatments, MTA has also been proposed in direct pulp capping.<sup>2</sup> The technique for performing this therapy in vital teeth has been fully described by Whitterspoon.<sup>21</sup>

## Evidencia científica de sus aplicaciones en odontología restauradora

### Recubrimiento directo

Se han publicado diversos artículos de revisión bibliográfica sobre las aplicaciones clínicas del MTA.<sup>2, 21-24</sup> En 2010, la revisión realizada por Parirokh y Torabinejad señala que el MTA es un material prometedor para preservar la vitalidad pulpar cuando se utiliza como material en recubrimientos pulpares directos.<sup>2</sup> Los autores indican que este parece ser el material de elección para terapias de recubrimiento directo, comparado con otros materiales disponibles actualmente para el tratamiento de dientes permanentes.<sup>2</sup> En el 2011, Aguilar y Linsuwanont publicaron una revisión sistemática sobre terapia pulpar en dientes permanentes con exposiciones pulpares por caries tratadas con MTA e hidróxido de calcio.<sup>22</sup> Se encontró que ambos materiales pueden generar resultados satisfactorios en terapias pulpares, como recubrimiento directo y pulpotomía parcial y total. Las tasas de éxito a los 3 años fueron altas: de 72,9% para recubrimiento pulpar directo (en pacientes de 6 a 10 años), 99,4% para pulpotomía parcial (en pacientes de 6 a 27 años) y 99,3% para pulpotomía total (en pacientes de 6 a 70 años).<sup>22</sup> Sin embargo, los autores también declaran que la evidencia disponible en ese momento proveía información inconclusa y enfatizan en la necesidad de llevar a cabo más estudios de alta calidad.<sup>22</sup>

Después de esas revisiones, se han publicado cuatro estudios clínicos en los que se compara el MTA con el hidróxido de calcio (material usado convencionalmente en terapias pulpares vitales de dientes permanentes), los cuales, en su mayoría, han encontrado mejores resultados para el MTA.<sup>25-28</sup> Mente y colaboradores evaluaron 149 pacientes (con un promedio de seguimiento de 27 meses) en los que se realizaron tratamientos de recubrimiento directo posterior a exposición pulpar, con hidróxido de calcio y MTA.<sup>27</sup> Obtuvieron una mayor tasa de éxito con MTA (78%) al compararlo con hidróxido de calcio (60%), concluyendo que el MTA parece ser más

## Scientific evidence supporting its applications in restorative dentistry

### Direct coating

Several review articles on the clinical applications of MTA have been published.<sup>2, 21-24</sup> In 2010, Parirokh and Torabinejad conducted a review suggesting that MTA is a promising material to preserve pulp vitality when used in direct pulp capping.<sup>2</sup> The authors state that this seems to be the material of choice for direct capping therapies, compared with other available materials for the treatment of permanent teeth.<sup>2</sup> In 2011, Aguilar and Linsuwanont published a systematic review on pulp therapy in permanent teeth with pulp exposure due to caries and treated with MTA and calcium hydroxide.<sup>22</sup> They found out that both materials can provide satisfactory results in pulp therapies, such as direct pulp capping and total or partial pulpotomy. Success rates after 3 year were high: 72.9% for direct pulp capping (in patients aged 6 to 10 years), 99.4% for partial pulpotomy (in patients aged 6 to 27 years), and 99.3% for total pulpotomy (in patients aged 6 to 70 years).<sup>22</sup> However, the authors also stated that the evidence available at the time provided inconclusive information and they highlighted the need for more high-quality studies.<sup>22</sup>

These revisions were followed by four publications of trials comparing MTA and calcium hydroxide (a material generally used in vital pulp therapies in permanent teeth), most of which found better results for MTA.<sup>25-28</sup> Mente et al assessed 149 patients (with an average of 27 months follow-up) who were treated with direct capping following pulp exposure, using calcium hydroxide and MTA.<sup>27</sup> They observed a higher rate of success with MTA (78%) compared with calcium hydroxide (60%), concluding that MTA seems to be more effective

efectivo en mantener la vitalidad pulpar después de un recubrimiento directo.<sup>27</sup> Similares resultados obtuvieron Hilton y colaboradores en su estudio clínico randomizado, en el cual encontraron una menor probabilidad de fracaso en dientes tratados con MTA (19,7%), al compararlo con hidróxido de calcio (31,5%).<sup>25</sup> En este estudio se incluyó una muestra extensa de 376 pacientes, que fueron controlados por hasta 2 años.<sup>25</sup> Por otro lado, Chailertvanitkul y colaboradores no encontraron diferencias en la tasa de éxito al realizar recubrimientos directos luego de exposiciones pulpares con MTA e hidróxido de calcio, pero sí encontraron una tendencia a una mayor probabilidad de fracaso en exposiciones pulpares mayores a 5 mm<sup>2</sup>, con un seguimiento de 2 años.<sup>26</sup> Leye Benoist y colaboradores no encontraron diferencias significativas en las tasas de supervivencia con MTA e hidróxido de calcio a los 6 meses, pero sí a los 3 meses, con resultados más favorables para MTA.<sup>28</sup> Además, se ha publicado un estudio clínico que evalúa la conservación de la vitalidad de los dientes tratados con MTA en recubrimientos directos.<sup>29</sup> La tasa de éxito (conservación de la vitalidad) después de 3,6 (+/-1,1) años fue de 91,3%.<sup>29</sup>

De esta manera, ha ido creciendo lentamente la evidencia científica del uso de MTA en terapias pulpares de recubrimiento directo. Sin embargo, a pesar de los resultados favorables con MTA, todavía la cantidad de estudios clínicos de alta calidad son reducidos en este tópico, con seguimientos a corto y mediano plazo.

## **BIODENTINE™**

Biodentine™ es un cemento a base de silicato de calcio, el cual ha sido publicitado como “el primer material todo-en-uno para ser usado toda vez que la dentina ha sido dañada”.<sup>30</sup> Este material ha sido desarrollado en un esfuerzo por crear un silicato de calcio con mejores propiedades mecánicas<sup>31</sup> y un menor tiempo de endurecimiento.<sup>32</sup>

in maintaining pulp vitality after direct capping.<sup>27</sup> Similar results were obtained by Hilton et al in their randomized clinical study, finding out a lower probability of failure in teeth treated with MTA (19.7%) compared with calcium hydroxide (31.5%).<sup>25</sup> Their study included a large sample of 376 patients who were monitored for up to 2 years.<sup>25</sup> On the other hand, Chailertvanitkul et al found no difference in terms of success rate when performing direct capping following pulp exposure with MTA and calcium hydroxide, but they did find a tendency to a higher probability of failure in pulp exposure greater than 5 mm<sup>2</sup>, with a 2-year follow-up.<sup>26</sup> Leye et al found no significant differences in survival rates with MTA and calcium hydroxide at 6 months, but they did find differences at 3 months, with more favorable results for MTA.<sup>28</sup> A clinical study has also been published evaluating the preservation of the vitality of teeth treated with MTA in direct capping.<sup>29</sup> The success rate (conservation of vitality) after 3.6 (+/-1.1) years was 91.3%.<sup>29</sup>

The scientific evidence of the use of MTA in direct pulp capping therapies has been growing slowly. However, despite the favorable results for MTA, the amount of high-quality clinical studies is still low in this area, with follow-ups in the short and medium term.

## **BIODENTINE™**

Biodentine™ is a cement-based calcium silicate that has been advertised as “the first all-in-one material” to be used whenever dentin has been damaged.<sup>30</sup> This material has been developed in an effort to produce a calcium silicate with better mechanical properties<sup>31</sup> and hardening times.<sup>32</sup>

## Composición y modo de empleo

La presentación de Biodentine™ es en forma de una cápsula que contiene el polvo y un líquido contenido en una ampolla. De acuerdo con las instrucciones de mezclado, el contenido de la ampolla debe ser exprimido en la cápsula, luego de lo cual se mezcla en un amalgamador por 30 s. El contenido de la cápsula es, dependiendo de la preferencia, aplicado con un porta amalgama, una espátula o un dispositivo como la Root Canal Messing Gun.<sup>33</sup> La tabla 2 muestra los componentes declarados por el fabricante.<sup>32</sup>

Tabla 2. Componentes de Biodentine™, modificado de Septodont<sup>®2</sup>

Polvo	Líquido
Silicato tricálcico	Cloruro de calcio
Silicato dicálcico	Polímero hidrosoluble
Carbonato cálcico y óxidos	
Óxido de hierro	
Óxido de zirconio	

De acuerdo con el fabricante, la tecnología Active Biosilicate Technology™, usada para producir Biodentine™, permite asegurar la pureza del silicato de calcio, en contraste a lo ocurrido con otros cementos de silicato de calcio basados en cemento de Portland que contienen intrínsecamente mezclas no purificadas con bajas concentraciones de impurezas metálicas.<sup>32</sup> Sin embargo, estudios recientes han encontrado trazas de arsénico, plomo y cromo en Biodentine™.<sup>34</sup> Más aún, los niveles de arsénico encontrado son mayores a los permitidos por ISO 9917. Sin embargo, los mismos componentes se han reportado para MTA, pero, ya que la liberación en solución fisiológica es despreciable, han sido considerados seguros.<sup>34</sup>

El fabricante ha propuesto que la disminución del tiempo de fraguado (12 m) de este material, comparado con silicatos de calcio tradicionales, como MTA ( $70 \pm 8,5$  m),<sup>20</sup> se debe al menor tamaño de las partículas del polvo, lo que permitiría una mayor área de reacción. Además, el cloruro de calcio adicionado al líquido ha probado ser un potente acelerador de la reacción en estos materiales.<sup>35, 36</sup> El fabricante también declara

## Composition and instructions for use

Biodentine™ comes as a capsule containing powder and a liquid contained in a vial. According to the mixing instructions, the contents of the vial should be squeezed into the capsule and then mixed in an amalgamator for 30 s. Depending on preference, the contents of the capsule is applied with a porta amalgam, a spatula, or a device such as the Root Canal Messing Gun.<sup>33</sup> Table 2 shows the components as stated by the manufacturer.<sup>32</sup>

Table 2. Components of Biodentine™, modified by Septodont<sup>®2</sup>

Powder	Liquid
Tricalcium silicate	Calcium chloride
Dicalcium silicate	Water-soluble polymer
Calcium carbonate and oxides	
Iron oxide	
Zirconium oxide	

According to the manufacturer, the Active Biosilicate Technology™ used to produce Biodentine™ ensures the purity of calcium silicate, as opposed to other calcium silicate cements based on Portland cement which contain non-purified mixtures with low concentrations of metal impurities.<sup>32</sup> However, recent studies have found remains of arsenic, lead, and chromium in Biodentine™.<sup>34</sup> Moreover, the found levels of arsenic are higher than those allowed by ISO 9917. Nevertheless, the same components have been reported for MTA, but since the release in the physiological solution is minimal, they have been considered safe.<sup>34</sup>

The manufacturer has suggested that this material's reduced curing time (12 m) compared to traditional calcium silicates such as MTA ( $70 \pm 8,5$  m)<sup>20</sup> is due to the smaller size of the powder particles, thus allowing a greater reaction area. In addition, the calcium chloride added to the liquid has proven to be a powerful accelerator of reaction in these materials.<sup>35, 36</sup> The manufacturer also states that



que las mejores propiedades mecánicas se deben a la falta de impurezas, junto a la adición de carbonato de calcio al polvo y la densidad óptima del polvo obtenida en la mezcla.<sup>32</sup> El polímero hidrosoluble probablemente cumple un rol importante en lograr una mejor densidad del polvo, dado que se puede obtener una mezcla de fácil manejo con una menor cantidad de agua.<sup>32</sup> Finalmente, se presume que se adiciona óxido de zirconio para proveer radiopacidad, ya que se ha usado en otros materiales para este efecto.<sup>37</sup> Esta es otra de las diferencias importantes con MTA, en el cual el radiopacificador es óxido de bismuto —un compuesto que, según algunos autores, tiene un efecto adverso en el material—.<sup>38</sup>

### Reacción de fraguado

La reacción de fraguado es similar a la que ocurre en MTA, con producción de silicatos de calcio hidratados e hidróxido de calcio como subproducto,<sup>39</sup> pero la velocidad de la reacción es mayor en Biodentine™.<sup>40, 41</sup>

La reacción de fraguado inicial toma aproximadamente 12 m.<sup>41</sup> Sin embargo, por espectroscopia de impedancia se ha podido observar que la reacción continúa ocurriendo por hasta 14 días.<sup>42</sup> El estudio de Villat y colaboradores sugiere que la reacción completa de hidratación de este silicato es mucho más lenta que la observada en la reacción ácido-base de cementos de vidrio ionómero, por lo que concluyen que esta reacción podría continuar por meses, extendiendo el intercambio iónico, disminuyendo la porosidad y aumentando las propiedades mecánicas del material.<sup>42</sup>

### Aplicaciones en odontología restauradora

El Biodentine™ está indicado para ser usado como sustituto de la dentina, tanto en la porción coronal como en la radicular.<sup>32</sup> Las indicaciones aplicadas a la odontología restauradoras son:

- Restauración temporal de esmalte

the material's best mechanical properties are due to the lack of impurities, along with the addition of calcium carbonate powder and the optimal density of the powder obtained in the mix.<sup>32</sup> The water-soluble polymer probably plays an important role in achieving better powder density, since an easy-to-handle mix is obtained with a smaller amount of water.<sup>32</sup> Finally, it has been supposed that zirconium oxide is added in order to provide it with radiopacity, since it has been used in other materials for the same purpose.<sup>37</sup> This is another important difference with MTA, where radiopacity is provided by means of oxide bismuth—a compound that according to some authors has an unwanted effect on the material—.<sup>38</sup>

### Curing reaction

The curing reaction of Biodentine™ is similar to that of MTA, with production of hydrated calcium silicates and calcium hydroxide as by-products,<sup>39</sup> but the speed of reaction is greater in Biodentine™.<sup>40, 41</sup>

The initial curing reaction takes about 12 m.<sup>41</sup> However, impedance spectroscopy has shown that the reaction continues for up to 14 days.<sup>42</sup> The study of Villat et al suggests that the complete hydration reaction of this silicate is much slower than that observed in the acid-base reaction of glass ionomer cements, concluding that this reaction could continue for months, extending ion exchange, decreasing porosity, and increasing the material's mechanical properties.<sup>42</sup>

### Applications in restorative dentistry

Biodentine™ is indicated as a substitute for dentin in both the coronal portion and the root.<sup>32</sup> Indications for restorative dentistry include:

- Temporary restoration of enamel

- Restauración definitiva de dentina
- Restauración de lesiones de caries profundas y/o extensas (técnica de sándwich)
- Restauración de lesiones cervicales o radiculares profundas
- Recubrimiento pulpar directo e indirecto

El fabricante indica que para aplicar el producto no hay necesidad de efectuar ningún tratamiento previo a la aplicación y que, una vez endurecido, el cemento se debe tratar como si fuese dentina sana. En el caso de realizar una restauración tipo sándwich con este material, se recomienda restaurar la cavidad completamente en una primera sesión, y después de una semana a seis meses se remueve la parte más externa para cubrir con resina compuesta.<sup>33</sup>

## Evidencia científica de sus aplicaciones en odontología restauradora

### Recubrimiento pulpar directo

A la fecha solo se ha publicado un estudio clínico que evalúa Biodentine™ como material restaurador en recubrimientos pulpares directos. En el estudio de Nowicka y colaboradores se realizaron perforaciones pulpares en premolares con indicación de extracción por ortodoncia y se hicieron recubrimientos con Biodentine™ (n = 11) y MTA (n = 11). Luego de 6 semanas se observó que la mayoría de los premolares presentaba formación de puente dentinario completo, con ausencia de respuesta pulpar inflamatoria; no se encontraron diferencias significativas entre Biodentine™ y MTA durante el período de observación.<sup>11</sup>

Otros artículos han evaluado este material en modelos animales y en molares extraídos. El estudio del grupo de Tran y colaboradores fue realizado en ratas y demostró también la formación consistente de puente dentinario en recubrimientos pulpares hechos con Biodentine™ y con MTA.<sup>43</sup>

- Final restoration of dentin
- Restoration of lesions of large and/or deep cavities (sandwich technique)
- Restoration of deep cervical or root lesions
- Direct and indirect pulp capping

The manufacturer indicates that applying the product does not require any prior treatment and that, once hardened, the cement should be treated as if it were healthy dentin. In the case of a sandwich technique using this material, it has been recommended to fully restore the cavity in the first session, remove the outer part after one week to six months and cover it with composite resin.<sup>33</sup>

## Scientific evidence supporting its applications in restorative dentistry

### Direct pulp capping

Only one clinical study assessing Biodentine™ as a restorative material in direct pulp capping has been published to date. The study by Nowicka et al involved drilling pulp premolars extracted for orthodontic purposes capping with Biodentine™ (n = 11) and MTA (n = 11). After 6 weeks, most premolars showed formation of full dentin bridge, with absence of pulp inflammatory response; no significant differences were found between Biodentine™ and MTA during the observation period.<sup>11</sup>

Other articles have evaluated this material in animal models and in extracted molars. Tran et al conducted a study in rats also showing the consistent formation of dentin bridge in pulp cappings made with Biodentine™ and MTA.<sup>43</sup>

En estos casos, el puente formado está localizado en la zona de la injuria, con organización de tipo ortodentina, en contraste con lo observado en las reparaciones realizadas con hidróxido de calcio, las cuales presentaron inclusiones celulares que evocaban osteodentina.<sup>43</sup>

En el estudio desarrollado por Laurent y colaboradores se utilizaron premolares sanos recién extraídos, que fueron mantenidos en medio de cultivo y a los cuales se les aplicaron procedimientos de recubrimiento directo con Biodentine™.<sup>8</sup> En todos los premolares evaluados (n = 15) se observó la formación de focos de mineralización, que aumentaron de tamaño hasta el día 28, en que se hizo la última observación. También se observó expresión de marcadores de mineralización, lo que sugiere que el material es capaz de inducir la diferenciación a células tipo odontoblastos, involucradas en la formación de tejido dentinario.<sup>8</sup>

Sin embargo, el nivel de evidencia en los estudios en animales o en modelos ex vivo es de menor magnitud que el derivado de ensayos clínicos. Por lo tanto, actualmente existe la necesidad de conducir otros ensayos clínicos que otorguen mayor nivel de evidencia sobre el uso de este material en terapias de recubrimiento pulpar directo.

## Recubrimiento pulpar indirecto

Recientemente, un estudio clínico randomizado evaluó el uso de Biodentine™ en procedimientos de recubrimiento pulpar indirecto. En el estudio se evaluaron 72 restauraciones (36 realizadas con Biodentine™ y 36 con vidrio ionómero), con seguimiento de hasta un año, y no se encontraron diferencias entre los materiales al medir la eficacia clínica de conservación de vitalidad pulpar.<sup>44</sup> Sin embargo, se observó que la mayoría de los dientes con radiolucidez apical (que no fue detectada en un comienzo con radiografía periapical, pero sí posteriormente con tomografía computarizada) que disminuyeron en tamaño o se eliminaron fueron tratados con Biodentine™,<sup>44</sup> mientras que la mayoría de las nuevas lesiones o su progresión se encontró en dientes tratados con vidrio ionómero.<sup>44</sup> Estos resultados fueron atribuidos a las características bioactivas de Biodentine™, que se han reportado a partir de estudios *in vitro*.<sup>6-8, 45</sup>

In these cases, the formed bridge is located in the affected area, with an ortodentine type of organization, in contrast to what was observed in treatments performed with calcium hydroxide, which showed cell inclusions similar to osteodentine.<sup>43</sup>

In their study, Laurent et al used healthy premolars recently extracted, which were kept in a culture and subjected to direct capping procedures with Biodentine™.<sup>8</sup> In all the evaluated premolars (n = 15), they noted the formation of mineralization foci, which increased in size until day 28—date of the last observation—. They also noticed the expression of markers of mineralization, suggesting that the material is capable of inducing the differentiation of odontoblast cells, involved in the formation of dentin tissue.<sup>8</sup>

However, the level of evidence in studies in animals or in ex vivo models is smaller than that achieved in clinical trials. Therefore, it is necessary to conduct additional clinical trials to provide more evidence on the use of this material in direct pulp capping.

## Indirect pulp capping

A randomized clinical study recently evaluated the use of Biodentine™ in indirect pulp capping. The study analyzed 72 restorations (36 made with Biodentine™ and 36 with glass ionomer), with a follow-up of up to one year, finding out no differences between the materials when measuring the clinical efficacy of pulp vitality conservation.<sup>44</sup> However, the authors noted that most teeth with apical radiotransparency (which was not detected at baseline with periapical x-rays but later with computed tomography) that decreased in size or were eliminated were treated with Biodentine™,<sup>44</sup> while most recent lesions or their progression were found in teeth treated with glass ionomer.<sup>44</sup> These results were attributed to the bioactive characteristics of Biodentine™, which have been reported from *in vitro* studies.<sup>6-8, 45</sup>

## Restauración permanente de dentina y temporal de esmalte

A la fecha, solo se ha publicado un estudio clínico en el que Biodentine™ se ha usado como material restaurador (de esmalte y dentina).<sup>46</sup> Este estudio clínico, multicéntrico, randomizado y con seguimiento de tres años, ha publicado solo los resultados obtenidos durante el primer año.<sup>46</sup> Se llevaron a cabo restauraciones (n = 397) clase I y II con Biodentine™ y con resina compuesta.<sup>46</sup> La evaluación inicial del producto muestra resultados muy satisfactorios al considerar la forma anatómica, la adaptación marginal y los contactos proximales; sin embargo, luego de seis meses las restauraciones de resina compuesta demostraron un mejor comportamiento clínicos en estos parámetros. Por esta razón, en este estudio se decidió recomendar que después de 6 meses es necesario remover la capa más externa de Biodentine™, para restaurarla con resina compuesta, dejándolo sólo como material de remplazo permanente de dentina y temporal de esmalte.<sup>46</sup>

## THERACAL LC

TheraCal LC es un cemento de silicato de calcio modificado con resina, desarrollado por Bisco Inc., para uso como barrera y protección del complejo pulpo-dentinario.<sup>47</sup> Se presenta en una jeringa que contiene una pasta fotopolimerizable, compuesta de óxido de calcio, partículas de silicato de calcio, vidrio de estroncio, sílice, sulfato de bario, zirconato de bario y resina (BisGMA y PEGDMA). De acuerdo con el fabricante, se indica para uso en recubrimientos pulpares directos e indirectos aplicado como liner cavitario.<sup>47</sup>

Algunos estudios *in vitro* han investigado sus propiedades físicas y químicas.<sup>48-50</sup> Camilleri ha observado que, de manera similar a Biodentine™, TheraCal LC es capaz de permitir el depósito de fosfatos de calcio en su superficie cuando está en contacto con una solución fisiológica;<sup>50</sup> sin embargo la liberación de iones de calcio al medio es significativamente menor que la de

## Permanent restoration of dentin and temporary restoration of enamel

Only one clinical study using Biodentine™ as a restorative material (of enamel and dentine) has been published to date.<sup>46</sup> This clinical, multicentered, randomized study with a three-year follow-up has only published the results obtained during the first year.<sup>46</sup> Class I and Class II restorations (n = 397) were performed with Biodentine™ and composite resin.<sup>46</sup> The initial assessment of the product shows very satisfactory results in terms of anatomical shape, marginal adaptation, and proximal contacts; however, the composite resin restorations showed better clinical behavior in these parameters after six months. This is why this study recommends that after 6 months it is necessary to remove the outermost layer of Biodentine™ and to restore with composite resin, leaving it only as permanent replacement of dentin and temporary replacement of enamel.<sup>46</sup>

## THERACAL LC

TheraCal LC is a resin-modified calcium silicate cement developed by Bisco Inc. to be used as a barrier and protection of the pulp-dentin complex.<sup>47</sup> It comes in a syringe containing a photo-curable paste composed of calcium oxide, particles of calcium silicate, glass of strontium, barium sulfate, silica, barium zirconate, and resin (BisGMA and PEGDMA). According to the manufacturer, it is indicated for direct and indirect pulp capping applied as a cavity liner.<sup>47</sup>

*In vitro* studies have examined its physical and chemical properties.<sup>48-50</sup> Camilleri noted that, just as Biodentine™, TheraCal LC allows calcium phosphates to deposit on its surface when in contact with a saline solution;<sup>50</sup> however, the release of calcium ions is significantly lower than of

Biodentine™<sup>49, 50</sup> Gandolfi ha demostrado que la solubilidad de TheraCal LC es menor que la de MTA y la de hidróxido de calcio; además, presenta una radiopacidad débil (menor a lo requerido según la norma ISO 6976) y es capaz de ser fotopolimerizado en grosores de 1,7 mm.<sup>48</sup>

Debido a su reciente disponibilidad, no existen estudios clínicos que evalúen su comportamiento, y a la fecha solo se ha publicado un estudio en animales. Cannon y colaboradores llevaron a cabo un estudio en primates, realizando recubrimientos pulpaes directos con TheraCal LC. Los autores observaron que los dientes tratados con este material presentaban de manera más frecuente formación de puente dentinario, en comparación con el hidróxido de calcio y el vidrio ionómero.<sup>51</sup>

## DISCUSIÓN

Desde hace bastante tiempo, los silicatos de calcio hacen parte de la variedad de materiales dentales disponibles; sin embargo, su uso en odontología restauradora estaba más bien limitado a algunas aplicaciones. El Mineral Trioxide Aggregate (MTA), debido a sus excelentes propiedades de biocompatibilidad y bioactividad, pero con bajas propiedades mecánicas, se indica para procedimientos de recubrimiento directo.<sup>1, 2</sup> La evidencia científica disponible, al compararlo con materiales alternativos para estas terapias, muestra resultados muy favorables en su uso en estas indicaciones. Estudios clínicos randomizados y revisiones sistemáticas concuerdan en que el material es capaz de mantener el diente vital, con formación consistente de puente dentinario.<sup>2, 22, 26, 27</sup> Las tasas de éxito de las terapias con este material son comparables (y en algunos estudios incluso superiores) a los materiales alternativos convencionales, como el hidróxido de calcio (fraguable utilizado en los estudios de Hilton y colaboradores, Chailertvanitkul y colaboradores, y Leye Benoist y colaboradores; y con pasta de hidróxido de calcio no fraguable en el estudio de Mente y colaboradores).<sup>25-28</sup> Sin embargo, existe la necesidad de llevar a cabo una mayor cantidad de estudios clínicos a largo plazo, que aporten mayor evidencia.

Biodentine™<sup>49, 50</sup> Gandolfi has demonstrated that TheraCal LC solubility is less than that of MTA and calcium hydroxide; in addition, it has a weak radiopacity (less than required by standard ISO 6976) and can be light-cured in thickness of 1.7 mm.<sup>48</sup>

Since this material has been recently released, there are no clinical studies evaluating its behavior, and so far there is only one published study in animals. Cannon et al conducted a study in primates performing direct pulp capping with TheraCal LC. The authors noted that teeth treated with this material had way more frequent dentin bridge formation, compared with calcium hydroxide and glass ionomer.<sup>51</sup>

## DISCUSSION

Calcium silicates have long been part of the variety of dental materials available in the market; however, their use in restorative dentistry used to be limited to a few applications. Mineral Trioxide Aggregate (MTA), due to its excellent biocompatibility and bioactivity properties and low mechanical properties, is indicated for direct capping.<sup>1, 2</sup> In comparing it with alternative materials for these therapies, the scientific evidence shows favorable results when using it for these indications. Both systematic reviews and randomized clinical trials agree that this material is effective in maintaining vital teeth, with consistent formation of dentin bridge.<sup>2, 22, 26, 27</sup> The success rates of therapies using this material are comparable (and in some studies even higher) to conventional materials, such as calcium hydroxide (tempered in the studies by Hilton et al, Chailertvanitkul et al, and Leye Benoist et al, and non-tempered in the study by Mente et al).<sup>25-28</sup> However, it is necessary to conduct more long-term clinical studies in order to provide further evidence.

El desarrollo de Biodentine™ amplió las indicaciones de los silicatos de calcio en odontología restauradora. La composición de este material es similar a la de MTA, pero presenta importantes variaciones, que determinan cambios en sus propiedades físicas.<sup>32</sup> Las aclamadas mejores propiedades mecánicas y el reducido tiempo de fraguado de Biodentine™ le permiten ser usado en una amplia gama de indicaciones. Se sugiere su uso como material de remplazo dentinario en cavidades clase I, II y V, y como remplazo de esmalte de manera temporal (hasta 6 meses). Estas aplicaciones de Biodentine™ son completamente nuevas entre los silicatos de calcio, por lo que su evaluación es necesaria.

Los resultados de los estudios clínicos realizados son promisorios. Biodentine™, además de ser un material de fraguado más rápido (en comparación con otros silicatos de calcio), es de fácil manipulación, con presentación en cápsulas, por lo que es posible aplicarlo en el diente de manera limpia y precisa. Este material podría significar una muy buena alternativa para el tratamiento de caries dentinaria profunda, incluyendo casos en los que ya se han generado procesos inflamatorios pulpares reversibles. Biodentine™, por sus propiedades bioactivas, podría proveer un adecuado sellado pulpo-dentinario, favoreciendo una respuesta pulpar de reparación y cambiando las condiciones de los tejidos afectados por caries.

El cemento TheraCal, de más reciente incorporación al mercado, presenta la ventaja de ser fotopolimerizable.<sup>47</sup> Los efectos de esta incorporación de resina a un cemento de silicato de calcio se han investigado en algunos estudios *in vitro*;<sup>48-50</sup> sin embargo, a la fecha no se han reportado resultados de estudios clínicos.

La evidencia científica sobre los cementos de silicato de calcio en general está más bien enfocada a materiales que han estado disponibles por más tiempo, como el MTA.<sup>11, 44, 46</sup> Los nuevos tipos de cementos de silicato de calcio, debido a su más reciente aparición, no cuentan con un gran número de estudios clínicos.<sup>11, 44</sup> Esto impide tener información más consistente para determinar su eficacia clínica. Este nivel de evidencia es sin duda necesario para que emitir juicios sobre estos materiales;

The development of Biodentine™ expanded the indications of calcium silicates in restorative dentistry. The composition of this material is similar to that of MTA but with significant variations that imply changes in its physical properties.<sup>32</sup> The alleged best mechanical properties of Biodentine™, as well as its reduced curing time, allows it to be used in a wide range of indications. It has been suggested as a material for dentin replacement in Class I, II and V cavities, and as replacement of enamel on a temporary basis (up to 6 months). These applications of Biodentine™ are brand new within calcium silicates, so further assessment is needed.

The results of clinical studies are promising. Biodentine™, in addition to having faster curing times compared to other calcium silicates, is easy to handling as it comes in capsules, allowing its clean and accurate application on teeth. This material makes a very good alternative for the treatment of deep dental caries, including cases with reversible pulpal inflammation already occurring. Due to its bioactive properties, Biodentine™ may provide appropriate pulp-dentin sealing, favoring pulp response and changing the conditions of tissues affected by tooth decay.

TheraCal LC is a cement of recent availability in the market; as an advantage, it can be photocurable.<sup>47</sup> The effects of this incorporation of resin to a calcium silicate cement have been explored in some *in vitro* studies;<sup>48-50</sup> however, no clinical studies have been reported to date.

The scientific evidence on calcium silicate cements is in general focused on materials that have been available for a longer time, such as MTA.<sup>11, 44, 46</sup> There are no many clinical studies on newer calcium silicate cements.<sup>11, 44</sup> This prevents from having more consistent information to determine their clinical efficacy. This level of evidence is certainly needed in order to make conclusions on these materials;

por ello es evidente la necesidad de conducir evaluaciones mediante ensayos clínicos aleatorizados, con el fin de otorgarle seguridad al clínico en la toma de decisiones.

## CONCLUSIONES

Los silicatos de calcio son una alternativa de materiales dentales para ser usados en indicaciones de recubrimiento directo e indirecto, liner cavitario, remplazo dentinario en cavidades clase I, II y V, y como restauración semipermanente de esmalte.

Su uso en indicaciones de recubrimiento directo e indirecto está avalado por algunos estudios clínicos, especialmente en el caso de MTA para recubrimiento directo. Las nuevas aplicaciones propuestas para estos materiales, como el remplazo de dentina en cavidades clase I, II y V, poseen todavía insuficiente evidencia clínica; sin embargo, los estudios *in vitro* muestran resultados prometedores.

Las propiedades de biocompatibilidad y bioactividad sitúan a los silicatos de calcio como uno de los materiales restauradores que generan una respuesta más favorable por parte del tejido pulpar.

## CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaran no tener conflicto de interés.

## CORRESPONDENCIA

Camila Corral Núñez  
Facultad de Odontología, Departamento de Odontología Restauradora  
(+562) 978 1742  
camila.corral@u.uchile.cl  
Sergio Livingstone Pohlhammer 943, Independencia, Santiago, Región Metropolitana. Chile

it is therefore necessary to conduct evaluations through randomized clinical trials, in order to provide clinicians with accurate information for decision making.

## CONCLUSIONS

Calcium silicates are alternative dental materials that can be used in direct and indirect capping, cavity liner, dentin replacement in class I, II and V cavities, and as semi-permanent restorations of enamel.

Indications for direct and indirect capping are supported by clinical studies, especially in the case of MTA for direct capping. New applications proposed for these materials, such as replacement of dentin in class I, II and V cavities have still insufficient clinical evidence; However, *in vitro* studies show promising results.

The biocompatibility and bioactivity properties make of calcium silicates one of the restorative materials that offer a more favorable response by pulp tissue.

## CONFLICTS OF INTEREST

The authors state that they have no conflict of interest.

## CORRESPONDING AUTHOR

Camila Corral Núñez  
Facultad de Odontología, Departamento de Odontología Restauradora  
(+562) 978 1742  
camila.corral@u.uchile.cl  
Sergio Livingstone Pohlhammer 943, Independencia, Santiago, Región Metropolitana. Chile

## REFERENCIAS / REFERENCES

1. Parirokh M, Torabinejad M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review. Part I: chemical, physical, and antibacterial properties. *J Endod* 2010; 36(1): 16-27.
2. Parirokh M, Torabinejad M. Mineral trioxide aggregate: a comprehensive literature review. Part III: Clinical applications, drawbacks, and mechanism of action. *J Endod* 2010; 36(3): 400-413.
3. Watson TF, Atmeh AR, Sajini S, Cook RJ, Festy F. Present and future of glass-ionomers and calcium-silicate cements as bioactive materials in dentistry: biophotonics-based interfacial analyses in health and disease. *Dent Mater* 2014; 30(1): 50-61.
4. Hench LL. Bioactive ceramics. *Ann N Y Acad Sci* 1988; 523: 54-71.
5. Cao WP, Hench LL. Bioactive materials. *Ceram Int* 1996; 22(6): 493-507.
6. Laurent P, Camps J, De Meo M, Dejoui J, About I. Induction of specific cell responses to a Ca(3)SiO(5)-based posterior restorative material. *Dent Mater* 2008; 24(11): 1486-1494.
7. Kim JR, Nosrat A, Fouad AF. Interfacial characteristics of Biodentine and MTA with dentine in simulated body fluid. *J Dent* 2015; 43(2): 241-247.
8. Laurent P, Camps J, About I. Biodentine(TM) induces TGF- $\beta$ 1 release from human pulp cells and early dental pulp mineralization. *Int Endod J* 2012; 45(5): 439-448.
9. Han L, Okiji T. Bioactivity evaluation of three calcium silicate-based endodontic materials. *Int Endod J* 2013; 46(9): 808-814.
10. Han L, Okiji T. Uptake of calcium and silicon released from calcium silicate-based endodontic materials into root canal dentine. *Int Endod J* 2011; 44(12): 1081-1087.
11. Nowicka A, Lipski M, Parafiniuk M, Sporniak-Tutak K, Lichota D, Kosierkiewicz A et al. Response of human dental pulp capped with biodentine and mineral trioxide aggregate. *J Endod* 2013; 39(6): 743-747.
12. Torabinejad M, White DJ, inventores; Loma Linda University, cecionario. Tooth filling material and method of use. Estados Unidos de Norteamérica US 5415547 A. 1995 May 16.
13. Camilleri J, Montesin FE, Brady K, Sweeney R, Curtis RV, Ford TR. The constitution of mineral trioxide aggregate. *Dent Mater* 2005; 21(4): 297-303.
14. Camilleri J, Montesin FE, Di Silvio L, Pitt Ford TR. The chemical constitution and biocompatibility of accelerated Portland cement for endodontic use. *Int Endod J* 2005; 38(11): 834-842.
15. Asgary S, Eghbal MJ, Parirokh M, Ghodduji J, Kheirieh S, Brink F. Comparison of mineral trioxide aggregate's composition with Portland cements and a new endodontic cement. *J Endod* 2009; 35(2): 243-250.
16. Torabinejad M, Chivian N. Clinical applications of mineral trioxide aggregate. *J Endod* 1999; 25(3): 197-205.
17. Camilleri J. Characterization of hydration products of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J* 2008; 41(5): 408-417.
18. Torabinejad M, Hong CU, McDonald F, Pitt Ford TR. Physical and chemical properties of a new root-end filling material. *J Endod* 1995; 21(7): 349-353.
19. Oliveira IR, Pandolfelli VC, Jacobovitz M. Chemical, physical and mechanical properties of a novel calcium aluminate endodontic cement. *Int Endod J* 2010; 43(12): 1069-1076.
20. Asgary S, Shahabi S, Jafarzadeh T, Amini S, Kheirieh S. The properties of a new endodontic material. *J Endod* 2008; 34(8): 990-993.
21. Witherspoon DE. Vital pulp therapy with new materials: new directions and treatment perspectives--permanent teeth. *Pediatr Dent* 2008; 30(3): 220-224.
22. Aguilar P, Linsuwanont P. Vital pulp therapy in vital permanent teeth with cariously exposed pulp: a systematic review. *J Endod* 2011; 37(5): 581-587.
23. Bogen G, Kuttler S. Mineral trioxide aggregate obturation: a review and case series. *J Endod* 2009; 35(6): 777-790.
24. Naito T. Uncertainty remains regarding long-term success of mineral trioxide aggregate for direct pulp capping. *J Evid Based Dent Pract* 2010; 10(4): 250-251.
25. Hilton TJ, Ferracane JL, Mancl L. Comparison of CaOH with MTA for direct pulp capping: a PBRN randomized clinical trial. *J Dent Res* 2013; 92(7 Suppl): 16S-22S.
26. Chailertvanitkul P, Paphangkorakit J, Sooksantisakoonchai N, Pumas N, Pairojamornyoot W, Leela-Apiradee N et al. Randomized control trial comparing calcium hydroxide and mineral trioxide aggregate for partial pulpotomies in cariously exposed pulps of permanent molars. *Int Endod J* 2014; 47(9): 835-842.



27. Mente J, Geletneky B, Ohle M, Koch MJ, Friedrich-Ding PG, Wolff D et al. Mineral trioxide aggregate or calcium hydroxide direct pulp capping: an analysis of the clinical treatment outcome. *J Endod* 2010; 36(5): 806-813.
28. Leye Benoist F, Gaye Ndiaye F, Kane AW, Benoist HM, Farge P. Evaluation of mineral trioxide aggregate (MTA) versus calcium hydroxide cement (Dycal®) in the formation of a dentine bridge: a randomised controlled trial. *Int Dent J* 2012; 62(1): 33-39.
29. Marques MS, Wesselink PR, Shemesh H. Outcome of direct pulp capping with Mineral Trioxide Aggregate: a prospective study. *J Endod* 2015; 41(7): 1026-1031.
30. Septodont. Biodentine™ Brochure [internet]. [Consultado 2014 Nov 3] Disponible en: <http://www.septodontusa.com/products/biodentine>.
31. Grech L, Mallia B, Camilleri J. Investigation of the physical properties of tricalcium silicate cement-based root-end filling materials. *Dent Mater* 2013; 29(2): e20-28.
32. Septodont. Biodentine™ Active Biosilicate Technology™ [internet]. [Consultado 2014 Mar 2]. Disponible en: <http://www.septodontusa.com/sites/default/files/Biodentine.pdf>.
33. Septodont. Biodentine, Active Biosilicate Technology. Package insert.
34. Camilleri J, Kralj P, Veber M, Sinagra E. Characterization and analyses of acid-extractable and leached trace elements in dental cements. *Int Endod J* 2012; 45(8): 737-743.
35. Kogan P, He J, Glickman GN, Watanabe I. The effects of various additives on setting properties of MTA. *J Endod* 2006; 32(6): 569-572.
36. Wiltbank KB, Schwartz SA, Schindler WG. Effect of selected accelerants on the physical properties of mineral trioxide aggregate and Portland cement. *J Endod* 2007; 33(10): 1235-1238.
37. Tanomaru-Filho M, Jorge EG, Guerreiro-Tanomaru JM, Goncalves M. Radiopacity evaluation of new root canal filling materials by digitalization of images. *J Endod* 2007; 33(3): 249-251.
38. Camilleri J, Montesin FE, Papaioannou S, McDonald F, Pitt-Ford TR. Biocompatibility of two commercial forms of mineral trioxide aggregate. *Int Endod J* 2004; 37(10): 699-704.
39. Grech L, Mallia B, Camilleri J. Characterization of set Intermediate Restorative Material, Biodentine, Bioaggregate and a prototype calcium silicate cement for use as root-end filling materials. *Int Endod J* 2013; 46(7): 632-641.
40. Camilleri J. Investigation of Biodentine as dentine replacement material. *J Dent* 2013; 41(7): 600-610.
41. Gandolfi MG, Siboni F, Polimeni A, Bossù M, Riccitiello F, Rengo S et al. *In Vitro* screening of the apatite-forming ability, biointeractivity and physical properties of a Tricalcium Silicate Material for endodontics and restorative dentistry. *Dent J* 2013; 1(4): 41-60.
42. Villat C, Tran XV, Pradelle-Plasse N, Ponthiaux P, Wenger F, Grosgeat B et al. Impedance methodology: A new way to characterize the setting reaction of dental cements. *Dent Mater* 2010; 26(12): 1127-1132.
43. Tran XV, Gorin C, Willig C, Baroukh B, Pellat B, Decup F et al. Effect of a calcium-silicate-based restorative cement on pulp repair. *J Dent Res* 2012; 91(12): 1166-1171.
44. Hashem D, Mannocci F, Patel S, Manoharan A, Brown JE, Watson TF et al. Clinical and radiographic assessment of the efficacy of calcium silicate indirect pulp capping: a randomized controlled clinical trial. *J Dent Res* 2015; 94(4): 562-568.
45. Hashem DF, Foxton R, Manoharan A, Watson TF, Banerjee A. The physical characteristics of resin composite-calcium silicate interface as part of a layered/laminate adhesive restoration. *Dent Mater* 2014; 30(3): 343-349.
46. Koubi G, Colon P, Franquin JC, Hartmann A, Richard G, Faure MO et al. Clinical evaluation of the performance and safety of a new dentine substitute, Biodentine, in the restoration of posterior teeth: a prospective study. *Clin Oral Investig* 2013; 17(1): 243-249.
47. BISCO. Seal and Protect with TheraCal LC Pulp Capping Material and Liner [internet]. [Consultado 2014 17]. Disponible en: <http://www.bisco.com/catalog/TheracalLC.pdf>.
48. Gandolfi MG, Siboni F, Prati C. Chemical-physical properties of TheraCal, a novel light-curable MTA-like material for pulp capping. *Int Endod J* 2012; 45(6): 571-579.
49. Camilleri J, Laurent P, About I. Hydration of Biodentine, TheraCal LC, and a prototype tricalcium silicate-based dentin replacement material after pulp capping in entire tooth cultures. *J Endod* 2014; 40(11): 1846-1154.
50. Camilleri J. Hydration characteristics of Biodentine and TheraCal used as pulp capping materials. *Dent Mater* 2014; 30(7): 709-715.
51. Cannon M, Gerodias N, Viera A, Percinoto C, Jurado R. Primate pulpal healing after exposure and TheraCal application. *J Clin Pediatr Dent* 2014; 38(4): 333-337.