



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---



## **FACULTAD DE ODONTOLOGÍA**

**AVANCES EN PROTECCIÓN PULPAR CON  
CEMENTOS HIDRÁULICOS BIOACTIVOS A BASE  
DE SILICATOS DE CALCIO: REVISIÓN  
BIBLIOGRÁFICA.**

**TRABAJO TERMINAL ESCRITO DEL DIPLOMADO  
DE ACTUALIZACIÓN PROFESIONAL**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**CIRUJANA DENTISTA**

P R E S E N T A:

DIANA LAURA SANTIAGO RAMÍREZ

TUTOR: C.D. Esp. BRENDA IVONNE BARRÓN MARTÍNEZ



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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



“Cuando pierdes a alguien que amas,  
en realidad, no te abandona.  
Se muda a un lugar especial  
en tu corazón”.

Frankenweenie

Dedicado a ti, mamá.



Este logro es gracias a muchas personas que han formado parte de mi crecimiento:

A mi abuelo *Joaquín Santiago*; quien día a día me demuestra que todo tiene una solución.

A mi abuela *Estela Ramírez*; que se distingue por ser la persona más fuerte y capaz que conozco.

Ustedes son lo más importante en mi vida y la razón por la cual siempre sentiré deseos de superarme. Gracias por el gran amor y apoyo que me han brindado en todas las formas posibles.

A mis tías y tíos que nunca me dejaron sola y que, hasta la fecha sigo encontrando en ellos apoyo y cariño: *Patricia, Joaquín, Paloma y Pepe*. Gracias por impulsarme y ayudarme a realizar mis metas.

A mis primos: *Luis, Alberto, Carlos y Eliezer*; a los más pequeños de mi gran familia: *Joaquín, Mateo, Lucas y Laura*. Gracias también por su apoyo, principalmente, por todos los momentos de risas y diversión que hicieron de mi infancia la mejor.

A mis amigos de la facultad, quienes marcaron etapas diferentes en mi vida universitaria con sus pláticas, risas y consejos: *Gerardo, David, Saide y Bety*.

A mis profesores de la facultad por haber sido mis grandes guías en este camino de la odontología, especialmente: a mi tutora, la *Dra. Brenda Barrón*, por su ayuda, disposición y paciencia con este trabajo; a la *Dra. Alejandra Rodríguez*, por su gran desempeño como coordinadora del diplomado, pero lo más importante, gracias a las dos por transmitirme su amor por la endodoncia.

Por último y no menos importante, gracias a todas las personas que confiaron en mí y pusieron en mis manos su salud bucal durante este proceso de práctica y aprendizaje dentro de la facultad.

*"Por mi raza hablará el espíritu"*



## ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	7
<b>OBJETIVO</b> .....	9
<b>CAPÍTULO I. DIAGNÓSTICO PULPAR</b> .....	10
1.1. Importancia del diagnóstico pulpar.....	10
1.2. Pulpa normal.....	10
1.3. Enfermedad pulpar .....	13
1.3.1. Pulpitis reversible .....	13
1.3.2. Pulpitis irreversible.....	14
1.3.2.1. Pulpitis irreversible sintomática.....	15
1.3.2.2. Pulpitis irreversible asintomática.....	16
1.3.3. Necrosis pulpar.....	17
<b>CAPÍTULO II. RECUBRIMIENTO PULPAR</b> .....	19
2.1. Indirecto (RPI).....	19
2.1.2. Generalidades .....	19
2.1.2. Mecanismo de formación del puente dentinario: dentinogénesis reactiva.....	20
2.1.3. Técnica.....	21
2.2. Directo (RPD) .....	22
2.2.1. Generalidades .....	22
2.2.2. Mecanismo de formación del puente dentinario: dentinogénesis reparativa .....	25
2.2.3. Técnica.....	29
2.3. Seguimiento y pronóstico de los tratamientos de recubrimiento pulpar .....	30
<b>CAPÍTULO III. PRIMEROS MATERIALES UTILIZADOS EN EL RECUBRIMIENTO PULPAR</b> .....	32
3.1. Hidróxido de Calcio (Ca(OH) <sub>2</sub> ).....	32
3.1.1. Generalidades .....	32
3.1.3. Presentaciones.....	33



3.1.4. Manipulación .....	34
3.2. Ionómero de vidrio .....	35
3.3. Sistemas adhesivos .....	36
<b>CAPÍTULO IV. NUEVAS ALTERNATIVAS: CEMENTOS</b>	
<b>HIDRÁULICOS BIOACTIVOS A BASE DE SILICATOS DE CALCIO</b>	<b>38</b>
4.1. Generalidades .....	38
4.2. Cementos hidráulicos a base de silicatos de calcio .....	39
4.2.1. Agregado de trióxido mineral (MTA) .....	41
4.2.1.1. Generalidades .....	41
4.2.1.2. Composición.....	42
4.2.1.3. Mecanismo de acción .....	43
4.2.1.4. Biocompatibilidad .....	43
4.2.1.5. Presentación .....	44
4.2.1.6. Preparación y modo de empleo en recubrimiento pulpar ..	45
4.2.2. Silicato tricálcico purificado (Biodentine™) .....	50
4.2.2.1. Generalidades .....	50
4.2.2.2. Composición.....	50
4.2.2.3. Mecanismo de acción .....	51
4.2.2.4. Biocompatibilidad .....	51
4.2.2.5. Presentación .....	52
4.2.2.6. Preparación y modo de empleo en recubrimiento pulpar ..	52
4.2.3. Silicato de calcio modificado con resina (TheraCal LC®).....	55
4.2.3.1. Generalidades .....	55
4.2.3.2. Composición.....	56
4.2.3.3. Mecanismo de acción .....	57
4.2.3.4. Biocompatibilidad .....	57
4.2.3.5. Presentación .....	58
4.2.3.6. Preparación y modo de empleo en recubrimiento pulpar ..	58
Propiedades fisicoquímicas de los cementos bioactivos a base de silicatos de calcio .....	61



---

Tablas comparativas de los silicatos de calcio utilizados en recubrimiento pulpar.....	69
Evidencia clínica.....	72
<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>86</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>88</b>



## INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, el manejo de caries profunda a menudo resultaba en exposición pulpar y posterior tratamiento del conducto radicular. La odontología moderna ha abogado por la promoción de estrategias de tratamiento de base biológica para el manejo de la pulpa expuesta por caries con el objetivo de evitar la pulpectomía que a largo plazo puede reducir la supervivencia de los dientes en comparación con los dientes con pulpas vitales. Este giro constante hacia un enfoque conservador y mínimamente invasivo está fuertemente asociado con el hecho de que el énfasis de la profesión también se está desplazando lentamente hacia el cuidado del segmento de adultos mayores de la población. En estas circunstancias, conservar los dientes naturales es de suma importancia.

Entre los tratamientos de pulpa vital encontramos el recubrimiento pulpar, que tiene como finalidad fomentar la formación de una barrera tisular dura que pueda sellar y proteger a la pulpa de futuros ataques bacterianos. Para el éxito de este tratamiento, es muy importante realizar un diagnóstico certero del estado en que se encuentra la pulpa y el tejido dentinario remanente, así como la adecuada realización de las etapas de los protocolos clínicos de las técnicas conservadoras.

A lo largo de los años se han utilizado diversos materiales para el tratamiento de recubrimiento pulpar, sin embargo, se han tenido malos resultados clínicos debido a la citotoxicidad que generan a la pulpa dental. A causa de esto, los materiales a base de hidróxido de calcio ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) se han considerado los agentes más populares para la protección pulpo dentinaria por tener mejor aceptación celular y propiedades idóneas como la capacidad de estimular la mineralización o la gran acción antimicrobiana. No obstante, este material sigue





presentando grandes desventajas como la mala unión a la dentina, alta solubilidad e inestabilidad mecánica.

A pesar de que los biomateriales han evolucionado de manera impresionante, en el tratamiento de las lesiones profundas, se siguen usando técnicas y materiales empleadas hace ya varias décadas como es el hidróxido de calcio, considerado hasta la actualidad el “estándar de oro” por ser el material mejor documentado y por ende el más confiable; sin embargo, estudios clínicos a largo plazo han mostrado que las tasas de éxito de la protección pulpar con hidróxido de calcio en exposiciones cariosas son muy variables, generalmente impredecibles y, a menudo, infructuosas por lo que ya no parece ser el mejor material de elección posible.

Con el paso del tiempo se han desarrollado nuevas alternativas para el uso en tratamientos de recubrimiento pulpar, tales como los cementos a base de silicato de calcio considerados materiales “bioactivos”. Estos, presumen de mejores propiedades y biocompatibilidad que conllevaría a tratamientos de mayor fiabilidad con resultados más predecibles.



---

## OBJETIVO

Presentar y analizar los avances de la investigación sobre el uso de cementos hidráulicos bioactivos a base de silicatos de calcio en tratamientos de recubrimiento pulpar como una alternativa viable al tratamiento endodóntico convencional; así como también, el protocolo indicado para obtener un pronóstico de mayor fiabilidad en estas terapias de base biológica mínimamente invasivas.



## CAPÍTULO I. DIAGNÓSTICO PULPAR

### 1.1. Importancia del diagnóstico pulpar

La identificación de las lesiones cariosas por medios visuales y radiográficos es algo sencillo, pero determinar el efecto sobre la pulpa, su profundidad y/o extensión, y la capacidad de restauración del diente para obtener un pronóstico, es mucho más difícil.<sup>1</sup>

Un historial de dolor detallado y un examen clínico meticuloso complementado con una radiografía periapical de alta calidad y pruebas de sensibilidad pulpar utilizando pruebas de frío a baja temperatura en combinación con pruebas pulpares térmicas y eléctricas, son las evaluaciones necesarias para conocer el estado pulpar que nos permite la selección de un tratamiento endodóntico adecuado y con ello, el pronóstico del mismo.<sup>2</sup>

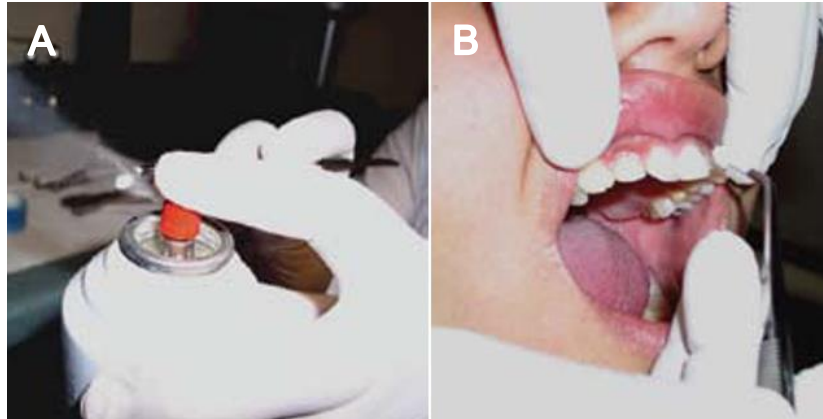
Durante varias décadas, se ha considerado que existe una mala relación entre los signos y síntomas clínicos y el estado histológico de la pulpa en los dientes maduros<sup>1, 2</sup>, sin embargo, este punto ha sido cuestionado en un estudio<sup>3</sup>, que comparó el diagnóstico clínico con los hallazgos histológicos; se demostró que el diagnóstico clínico de pulpa normal/pulpitis reversible coincidió con el diagnóstico histológico en casi el 97% de los dientes, mientras que el diagnóstico clínico e histológico de pulpitis irreversible coincidió con el 84% de los casos.

### 1.2. Pulpa normal

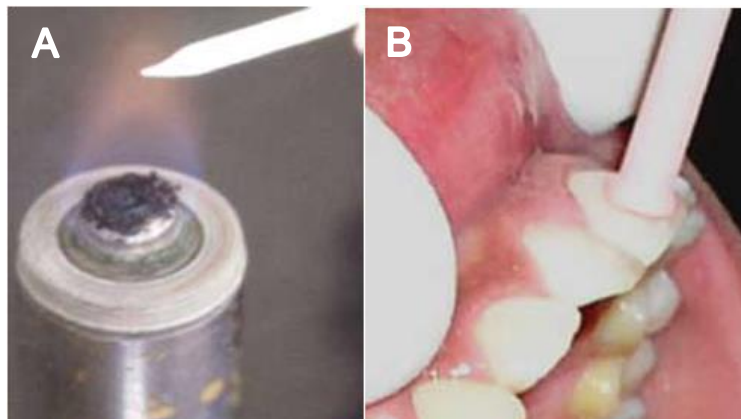
En esta categoría de diagnóstico clínico, la pulpa no presenta síntomas, responde con normalidad a las pruebas pulpares y tampoco existen síntomas espontáneos.

Ante las pruebas pulpares presenta síntomas leves que no resultan molestos y terminan al retirar el estímulo<sup>4</sup> [Figuras 1 - 7].

Al examen radiográfico el grado de calcificación pupar puede ser variable, pero sin datos de reabsorción, caries o exposición pulpar mecánica.<sup>4</sup>



**Fig 1. Térmica al frío.** (A) Colocación del cloruro de etilo en una borla de algodón para realizar la prueba al frío indirecto. (B) La prueba al frío con cloruro de etilo deberá realizarse sin anestesia previa.<sup>5</sup>



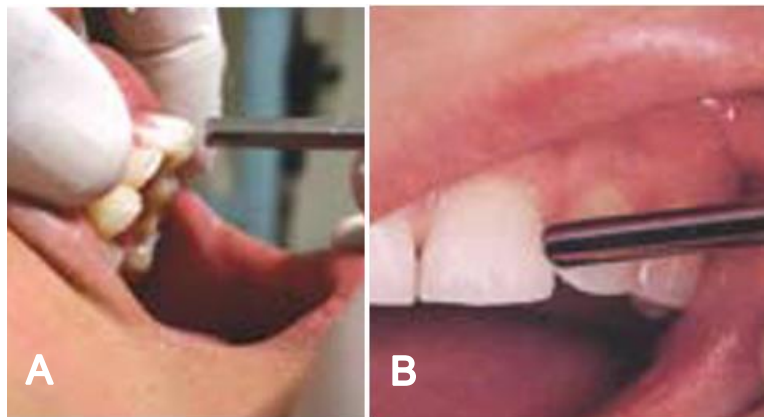
**Fig 2. Térmica al calor.** (A) Pre calentamiento de gutapercha para la prueba a calor. (B) Aplicación de la barra de gutapercha previamente calentada en la superficie vestibular de un diente.<sup>5</sup>



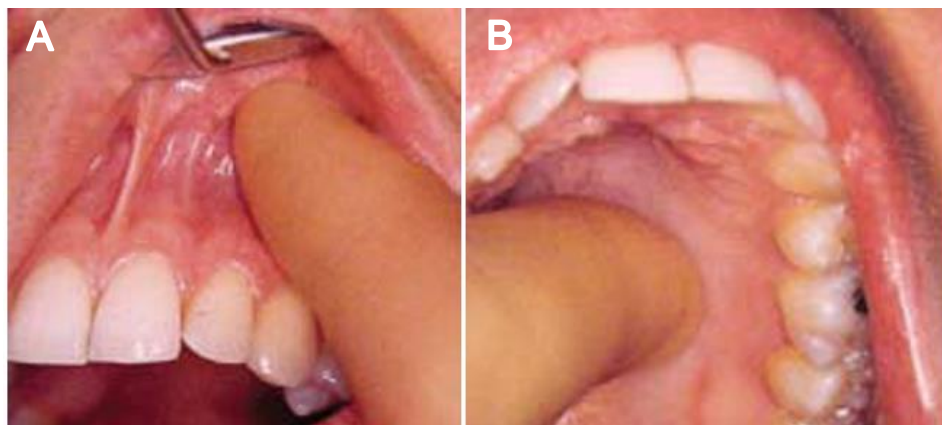
**Fig 3. Prueba cavitaria.** Prueba de fresado. Indica vitalidad, mas no inflamación.<sup>5</sup>



**Fig 4. Prueba eléctrica.** Aplicación de prueba eléctrica. Obsérvese la colocación de dentrífico en la punta del electrodo.<sup>5</sup>



**Fig 5. Prueba de percusión.** (A) Percusión vertical. (B) Percusión horizontal.<sup>5</sup>



**Fig 6. Palpación.** (A) Palpación del fondo de saco para evaluar la inflamación periapical. (B) Palpación palatina.<sup>5</sup>



**Fig 7. Prueba de movilidad.** Prueba de movilidad mediante el dedo índice y el mango del espejo para crear fuerza y contrafuerza.<sup>5</sup>



**Tabla 1.** Guía de diagnóstico clínico para patologías pulpares y periapicales.<sup>6</sup>

Pulpa clínicamente normal					
<b>Definición</b>	Categoría de diagnóstico clínico, donde el tejido pulpar se encuentra libre de síntomas y responde normalmente a las pruebas de sensibilidad pulpar.				
<b>Presentación clínica</b>	Signos clínicos dentro de límites normales. Tejido pulpar libre de síntomas que responde de manera normal a las pruebas pulpares de sensibilidad, no evidencia de sintomatología espontánea.				
	No evidencia de caries y microfiltración, adaptación adecuada de las restauraciones existentes, no evidencia de cambio de color.				
<b>Imagen radiográfica</b>	No se observan cambios en los tejidos periapicales.				
	Por factores fisiológicos, puede haber o no evidencia de mineralización pulpar.				
	No se observa presencia de reabsorción, caries o exposición mecánica de la pulpa.				
<b>Validación pruebas sensibilidad</b>	<b>Prueba y resultado</b>		<b>Intensidad</b>	<b>Duración</b>	<b>Especificidad</b>
	Térmica frío	+	Leve Moderada	Desaparece, 1 a 2 segundos después de retirar el estímulo	70 - 92%
	Térmica calor	-			41 - 81%
	Eléctrica	+	Leve Moderada	Desaparece al retirar el estímulo	92 - 93%
	Cavitaria	+	Leve Moderada		
	Percusión	-			51%
	Palpación	-			
Movilidad	-				

### 1.3. Enfermedad pulpar

#### 1.3.1. Pulpitis reversible

Una pulpitis reversible indica inflamación pulpar que ante su estimulación resulta incómoda al paciente, pero revierte rápidamente después de la irritación.<sup>4</sup>

Entre los factores etiológicos están las caries, la dentina expuesta, los tratamientos dentales recientes y las restauraciones defectuosas. La eliminación conservadora del factor irritante resolverá los síntomas.<sup>4</sup>



Una correcta anamnesis y exploración clínica y radiológica detallada, nos ayudará a encontrar el factor etiológico o distinguir entre una hipersensibilidad dentinaria en dónde sólo existe sensibilidad sin signos de afección pulpar.<sup>4</sup>

**Tabla 2.** Guía de diagnóstico clínico para patologías pulpares y periapicales.<sup>6</sup>

Pulpitis reversible					
<b>Definición</b>	Diagnóstico clínico basado en hallazgos objetivos y subjetivos, indicando que la inflamación puede resolverse y la pulpa podría regresar a la normalidad.				
<b>Presentación clínica</b>	Obturaciones fracturadas o desadaptadas, tratamientos restaurativos recientes con sensibilidad posoperatoria, caries, abrasión, trauma, retracciones gingivales.				
	Leve a moderada incomodidad, sin antecedentes de dolor espontáneo o severo ante la aplicación de estímulos térmicos, respuesta rápida, de corta duración, caracterizados por dolores leves que desaparecen pocos segundos después de retirar el estímulo. En casos de pérdida parcial de la estructura dental, dolor leve al morder.				
	No evidencia de dolor, percusión o palpación.				
<b>Imagen radiográfica</b>	Ausencia de cambios periapicales, relación con agente etiológico; caries y restauraciones profundas sin compromiso directo del tejido pulpar.				
<b>Validación pruebas sensibilidad</b>	<b>Prueba y resultado</b>		<b>Intensidad</b>	<b>Duración</b>	<b>Especificidad</b>
	Térmica frío	++	Aumentada o hipersensible	Desaparece al retirar el estímulo	68 - 92%
	Térmica calor	-/+	Nula a leve		68 - 86%
	Eléctrica	+	Aumentada	Desaparece al retirar el estímulo	71 - 98%
	Cavitaria	+	Aumentada		
	Percusión	-			70%
	Palpación	-			
	Movilidad	-			

### 1.3.2. Pulpitis irreversible

En esta fase puede ser necesario instaurar un tratamiento para eliminar el tejido enfermo ya que el diagnóstico clínico basado en los hallazgos subjetivos y objetivos indica que la pulpa vital inflamada no tiene capacidad para curarse.<sup>4</sup>



### 1.3.2.1. Pulpitis irreversible sintomática

Los dientes con pulpitis irreversible sintomática presentan dolor intermitente o espontáneo. La exposición de estos dientes a cambios de temperatura drásticos (especialmente al frío) aumentará y prolongará los episodios de dolor incluso después de eliminar el estímulo térmico. El dolor presentado puede ser agudo o sordo, localizado, difuso o referido. Al examen radiográfico el hueso perirradicular puede mostrar cambios mínimos, ensanchamiento del ligamento periodontal o calcificación extensa de la cámara pulpar y del espacio del conducto radicular.<sup>4</sup> Como antecedentes podemos encontrar obturaciones profundas, caries, exposición pulpar o cualquier otra agresión directa o indirecta a la pulpa que se pueden apreciar radiológica o clínicamente o por antecedentes dentales. En los casos en donde exista síntomas de pulpitis irreversible sintomática y no se observe restauraciones, caries o lesiones por luxación se deberá probablemente a una fractura longitudinal que se extiende desde la superficie oclusal a la pulpa.<sup>4</sup>

**Tabla 3.** Guía de diagnóstico clínico para patologías pulpares y periapicales.<sup>6</sup>

Pulpitis irreversible sintomática	
<b>Definición</b>	Diagnóstico clínico basado en hallazgos subjetivos y objetivos, que indican que el tejido pulpar en proceso inflamatorio es incapaz de cicatrizar.
<b>Presentación clínica</b>	Caries, obturaciones desadaptadas, extensas, enfermedades endoperiodontales, atrición, recubrimiento pulpar directo.
	Dolor prolongado, persistente, espontáneo, referido o de aparición inmediata a la estimulación térmica o hiperosmótica con aumento al calor, sensación transitoria de alivio a muy bajas temperaturas. Respuesta a múltiples estímulos.
	Dolor de característica agudo, severo, intermitente, pulsátil, localizado, referido o irradiado, relacionado con cambios posturales y de aparición nocturna. Puede haber o no dolor a la percusión y/o sensibilidad al morder. Requiere toma de analgésicos.
<b>Imagen radiográfica</b>	Coronalmente, asociación evidente del factor etiológico con la cavidad pulpar.
	Si el proceso inflamatorio se extiende hacia el área periapical, se observa aumento del espacio del ligamento periodontal.





**Tabla 3. Continuación**

Pulpitis irreversible sintomática					
Validación pruebas sensibilidad	Prueba y resultado		Intensidad	Duración	Especificidad
	Térmica frío	++	Aumentada	Se mantiene al retirar el estímulo, prolongada	68 - 92%
	Térmica calor	+++	Aumentada		68 - 86%
	Eléctrica	++	Moderada		71 - 98%
	Cavitaria	++++	Severa		
	Percusión	++	Severa		70%
	Palpación	-			
	Movilidad	+	Sensación diente extruido	Al aplicar la prueba	

### 1.3.2.2. Pulpitis irreversible asintomática

El paciente indica no tener síntomas a pesar de observar clínica y radiológicamente caries profunda que incluso pueda llegar hasta la pulpa. En estos casos se debe optar por el tratamiento de conductos lo antes posible para evitar futuros síntomas y molestias al paciente.<sup>4</sup>

**Tabla 4. Guía de diagnóstico clínico para patologías pulpares y periapicales.<sup>6</sup>**

Pulpitis irreversible asintomática					
<b>Definición</b>	Diagnóstico clínico basado en hallazgos subjetivos y objetivos, que indican que la pulpa vital inflamada es incapaz de cicatrizar, con características adicionales como la carencia de sintomatología clínica. Sin embargo, el proceso inflamatorio puede avanzar hasta la necrosis.				
<b>Presentación clínica</b>	Caries de larga evolución, profunda con o sin exposición pulpar aparente, recubrimiento pulpar directo, restauraciones profundas, preparaciones cavitarias, persistencia de una agresión de baja intensidad y larga duración. Dolor ocasional localizado de leve a moderado, de corta duración, que aumenta con cambios térmicos o presión sobre el tejido pulpar expuesto.				
<b>Imagen radiográfica</b>	No evidencia cambios en zona periapical, en algunos casos se relaciona con la imagen de osteítis condensante, incremento en los patrones del trabeculado óseo, radio-opacidadperiapical.				
Validación pruebas sensibilidad	Prueba y resultado		Intensidad	Duración	Especificidad
	Térmica frío	+	Leve a moderada	Desaparece al retirar el estímulo o permanece con baja o moderada intensidad	68 - 92%
	Térmica calor	+	Leve a moderada		68 - 86%



**Tabla 4.** Continuación

Pulпитis irreversible asintomática					
Validación pruebas sensibilidad	Prueba y resultado		Intensidad	Duración	Especificidad
	Eléctrica	+/-	Leve a moderada	Desaparece al retirar el estímulo o permanece con baja o moderada intensidad	71 - 98%
	Cavitaria	+			
	Percusión	-	Negativa o leve	Desaparece al retirar el Estímulo	70%
	Palpación	-	Variable		
	Movilidad	-			

### 1.3.3. Necrosis pulpar

En esta fase, la vascularización dental es inexistente y los nervios pulpares no son funcionales por lo que son capaces de responder a pruebas eléctricas ni a la estimulación con frío. Sin embargo, si la prueba de calor se prolonga por más tiempo el diente puede responder a este estímulo.<sup>4</sup>

La necrosis pulpar puede ser parcial o completa y afectar a todos los conductos o no en un diente multirradicular, por esta razón el diente puede dar lugar a síntomas confusos.<sup>4</sup>

Una vez que la pulpa se ha necrosado, las bacterias y sus toxinas pueden proliferar en el interior del conducto y posteriormente se puede extender al ligamento periodontal dando como resultado la aparición de síntomas ante la percusión o mostrar dolor espontáneo. Al comprometer el periápice, pueden aparecer cambios radiológicos como el engrosamiento del ligamento periodontal o una lesión radiotransparente periapical.<sup>4</sup>

El diente puede volverse hipersensible a los cambios térmicos calientes que a menudo se alivia con aplicaciones de temperaturas frías.<sup>4</sup>



**Tabla 5.** Guía de diagnóstico clínico para patologías pulpares y periapicales.<sup>6</sup>

Necrosis pulpar					
<b>Definición</b>	Categoría de diagnóstico clínico que indica la muerte del tejido pulpar, usualmente presenta respuesta negativa ante los test de sensibilidad.				
<b>Presentación clínica</b>	Translucidez dental alterada por hemólisis de glóbulos rojos durante el proceso de descomposición del tejido pulpar.				
	Cambio de color coronal, con tonalidad parda, verdosa o grisácea.				
	Caries profundas, restauraciones desadaptadas, microfiltración o exposición al medio oral.				
<b>Imagen radiográfica</b>	Normalmente asintomática, puede presentar respuesta leve a estímulos con calor.				
	Apariencia radiográfica variable. Si la lesión bacteriana avanza se observará alteración en el área periapical.				
<b>Validación pruebas sensibilidad</b>	<b>Prueba y resultado</b>		<b>Intensidad</b>	<b>Duración</b>	<b>Especificidad</b>
	Térmica frío	-	Ocasional		68-92%
	Térmica calor	-/+			48-86%
	Eléctrica	-			71-98%
	Cavitaria	-			
	Percusión	-			51%
	Palpación	-			
	Movilidad	-			

## CAPÍTULO II. RECUBRIMIENTO PULPAR

El objetivo principal de la terapia pulpar es mantener la integridad y la salud del tejido pulpar siempre que sea posible y estimular la pulpa restante para regenerar el complejo pulpo dentinario (dentina terciaria).<sup>4,7</sup>

La terapia pulpar vital se ha recomendado como procedimiento de tratamiento en pacientes jóvenes debido a la capacidad de curación dinámica de la pulpa dental en individuos jóvenes, en comparación con personas mayores. Sin embargo, no existen estudios que apoyen esta recomendación.<sup>8</sup>

Dentro de las técnicas vitales de terapia pulpar para dientes permanentes encontramos el recubrimiento pulpar indirecto (RPI) y el recubrimiento pulpar directo (RPD).<sup>4</sup>

### 2.1. Indirecto (RPI)

#### 2.1.2. Generalidades

El recubrimiento pulpar indirecto, es el procedimiento clínico realizado en dentina expuesta con proximidad a la pulpa, ulterior a la preparación cavitaria o traumatismos<sup>4</sup> [Figura 8].

El RPI está indicado en dientes permanentes con sintomatología correspondiente a pulpa sana o pulpitis reversible, sin alguna exposición



**Fig 8. Representación esquemática de los dos tipos de recubrimiento pulpar:** (A) Recubrimiento pulpar indirecto. (B) Recubrimiento pulpar directo.<sup>11</sup>



pulpar visible clínica y radiográficamente, es decir, que la evaluación radiográfica indique la presencia de una zona de dentina que separe la lesión cariosa de la cámara pulpar.<sup>2, 9, 10</sup>

### **2.1.2. Mecanismo de formación del puente dentinario: dentinogénesis reactiva**

Tras la acción de un estímulo ambiental nocivo ya sea químico, físico, biológico e inclusive por la colocación de un recubrimiento pulpar, se genera un proceso reparador denominado “dentinogénesis terciaria”. Este proceso consiste en la formación de dentina en los lugares de la cavidad pulpar subyacentes al de la acción del estímulo nocivo.<sup>12</sup>

La dentinogénesis terciaria se clasifica como “dentinogénesis reactiva” cuando los estímulos son ligeros o moderados y éstos no llegan a producir la muerte de los odontoblastos primarios, sino que, por lo contrario, estimulan su tasa de secreción de matriz dentinaria. La señalización que ocurre dentro de este proceso se ha hipotetizado y se cree que ocurre como resultado de la liberación de factores de crecimiento y otras moléculas bioactivas de la matriz dentinaria, tales como el factor de crecimiento transformante 1 y 3 (TGF-1, TGF-3) y la proteína morfogénica ósea 7 (BMP-7), las cuales son capaces de aumentar la secreción. Sin embargo, aún no se descarta la posibilidad de que pueda haber otras moléculas capaces de participar en el proceso de señalización.<sup>12, 13</sup>

Una característica de la dentina reactiva es que conserva la estructura tubular de la dentina, sin embargo, con el tiempo ésta puede obliterar las astas pulpares aumentando el espesor de la dentina entre la caries y la pulpa. La hipercalcificación tubular hasta la oclusión de los túbulos dentinarios por aposición de dentina peritubular bajo las lesiones cariosas o abrasivas, con formación de dentina esclerótica, no sería más



que una de las manifestaciones de la dentinogénesis terciaria reactiva.<sup>12</sup> [Figura 9].

### 2.1.3. Técnica

La técnica ideal del recubrimiento pulpar indirecto se ha cuestionado por varios autores ya que existen estudios en donde se ha probado el éxito en las diferentes técnicas descritas<sup>4, 10</sup> y en las cuales encontramos:

- **Técnica no selectiva (eliminación total de caries)**

Hace referencia a la aplicación de un biomaterial sobre una barrera de dentina en una técnica indirecta de eliminación no selectiva de tejido carioso en una etapa. Extracción de dentina blanda o firme con la colocación inmediata de una restauración permanente.<sup>2</sup>

De acuerdo con las últimas definiciones y terminología aprobadas por la Sociedad Europea de Endodoncia (ESE) en el 2019, el recubrimiento pulpar indirecto, debido a la extracción de dentina cariada blanda y firme hasta que se alcanza la dentina dura, se considera hoy en día agresiva y, en muchos casos, puede reconocerse como sobretratamiento.<sup>14</sup>

- **Técnica selectiva (eliminación de caries en etapas)**

Esta técnica se realiza en dos sesiones; la primera, consiste en eliminar la capa de dentina necrótica superficial sin tocar la pared pulpar dejándola cubierta por dentina blanda, húmeda e infectada que se cubrirá con algún material indicado para recubrimiento pulpar indirecto que promueva la formación de dentina terciaria. El material debe colocarse con cuidado para cubrir toda la dentina cariada restante y tener un grosor suficiente para resistir la entrada de nuevas bacterias en la lesión. El propósito de dejar dentina



cariosa blanda es evitar la exposición de la pulpa y alterar la ecología microbiana de la biopelícula de caries, sepultando e inactivando las bacterias restantes en virtud del sello de la restauración, que niega el suministro adicional de azúcares fermentables de la dieta a las bacterias residuales.<sup>15</sup>

El diente estará en observación de dos a seis meses con las evaluaciones pertinentes para poder continuar con la segunda sesión, en dónde se hará la eliminación total de caries y posteriormente el seguimiento protésico correspondiente.<sup>2, 4, 10, 16</sup>

La desinfección dental con hipoclorito de sodio (NaOCl) o solución de digluconato de clorhexidina al 2%, como una alternativa menos agresiva, técnica estéril y uso de diques de hule, se recomienda en todo momento durante el tratamiento de caries profundas, ya sea que la pulpa esté expuesta o no.<sup>14</sup>

## **2.2. Directo (RPD)**

### **2.2.1. Generalidades**

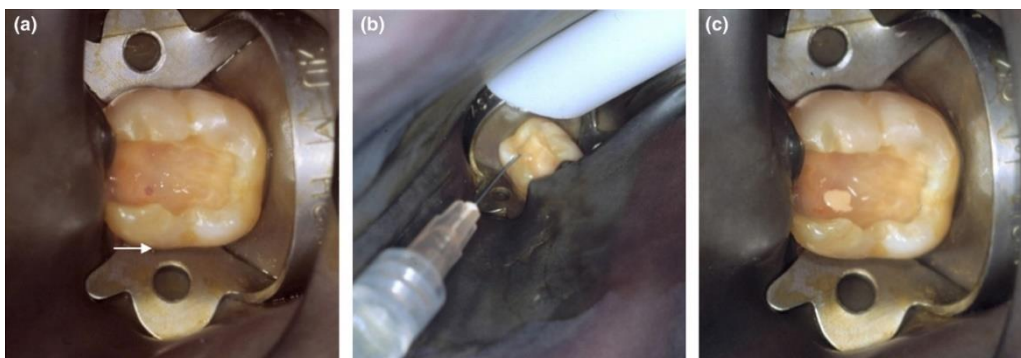
El recubrimiento pulpar directo hace referencia a la aplicación de un biomaterial dental directamente sobre la pulpa vital expuesta por causas mecánicas o traumáticas, que posteriormente estimulará la formación de un puente de dentina reparadora<sup>4</sup> [Figura 8].

La intervención está indicada en exposiciones pulpares por caries, exposiciones mecánicas que ocurren durante procedimientos operatorios y después de exposiciones traumáticas derivadas de fracturas dentales y esta debe ser seguida de la colocación inmediata de una restauración permanente.<sup>4, 14, 17</sup> La preservación de la pulpa en casos de exposición pulpar cariosa solo se recomienda en dientes con pulpitis reversible,

corona restaurable y sangrado pulpar controlable (hemostasia por 5 minutos).<sup>2</sup>

La Sociedad Europea de Endodoncia (ESE) en el 2019, dividió el recubrimiento pulpar directo en dos clases<sup>2</sup>:

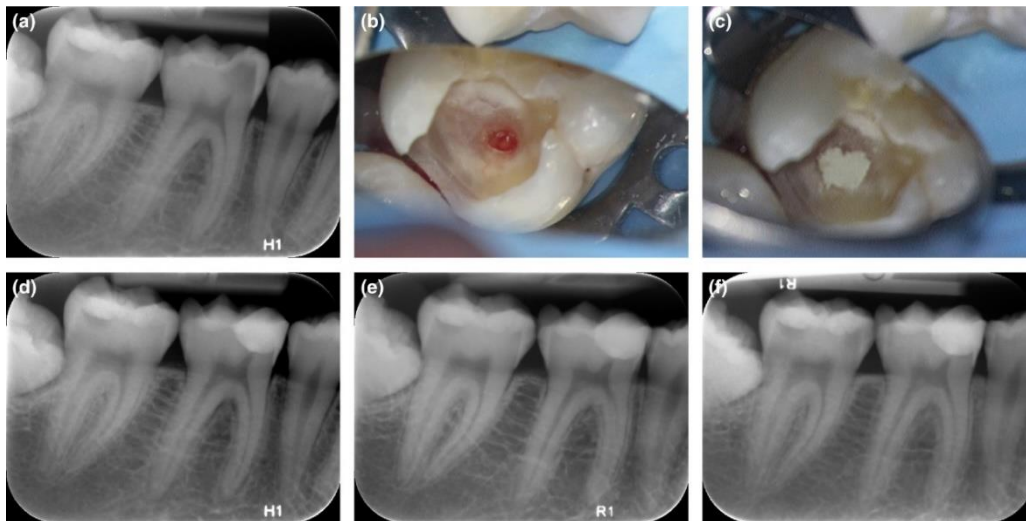
- **Clase I.** Sin presencia preoperatoria de una lesión cariosa profunda. La exposición pulpar se considera clínicamente a través de dentina sana con la expectativa de que el tejido pulpar subyacente esté sano (exposición debido a una lesión traumática del diente o una exposición iatrogénica) [Figura 10].



**Fig. 10. Recubrimiento pulpar de clase I:** Enfoque clásico de recubrimiento de una pequeña exposición pulpar, (a) antes y (b, c) durante y después de la aplicación de hidróxido de calcio.<sup>1</sup>

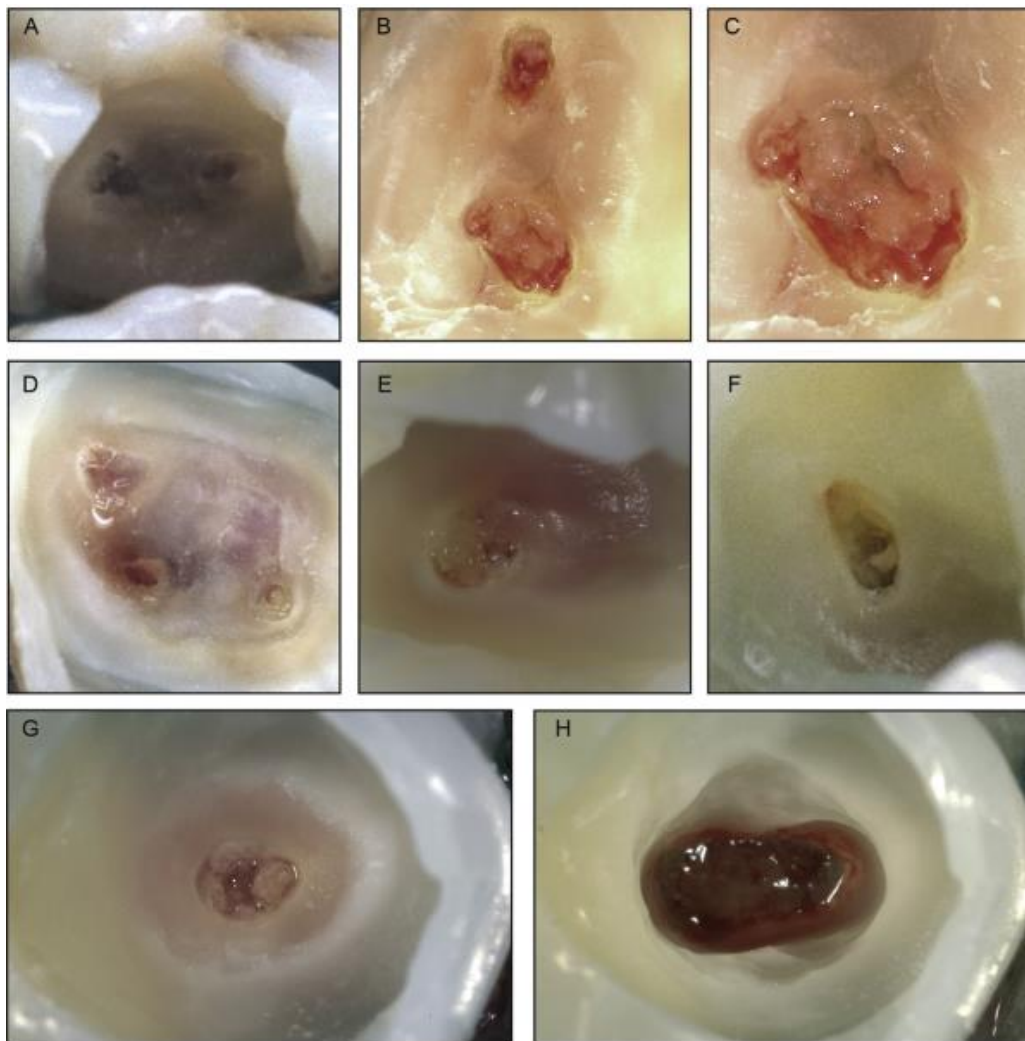
**Clase II.** Presencia preoperatoria de una lesión cariosa profunda o extremadamente profunda. La exposición de la pulpa se considera clínicamente a través de una zona de contaminación bacteriana con la expectativa de que el tejido pulpar subyacente esté inflamado. Se recomienda un protocolo quirúrgico mejorado (procedimiento aséptico con aumento, desinfectante y aplicación de un cemento de silicato de calcio hidráulico) [Figura 11].





**Fig. 11. Un recubrimiento pulpar exitoso de clase II:** (a) La radiografía preoperatoria revela una lesión profunda y sin patosis apical. (b) Después de la remoción de caries no selectiva (excavación completa) usando el microscopio quirúrgico, hay una ausencia de dentina cariada retenida, y hay una buena hemostasia de la pulpa expuesta. (c) Colocación del agente de remate agregado de trióxido mineral. (d) Radiografía posoperatoria con restauración permanente colocada. (e) Seguimiento de un año y (f) seguimiento de dos años.<sup>1</sup>

Ricucci et al.<sup>8</sup>, mediante un estudio basado en histopatología e histobacteriología, proponen una guía para la terapia de pulpa vital en el tratamiento de caries profundas, centrándose en la observación directa de la dentina y el tejido pulpar expuesto bajo caries profunda. Dentro de sus observaciones, menciona algunas contraindicaciones para el tratamiento de recubrimiento pulpar directo como: dentina blanda alrededor de la exposición, tejido oscuro y avascular, tejido amarillento y pálido y espículas de dentina desplazadas en el tejido pulpar [Figura 12].



**Fig. 12. Contraindicaciones del recubrimiento pulpar directo:** (A) El tejido pulpar es oscuro y avascular. (B) El tejido pulpar superficial en el sitio de exposición está deconstruido y avascular. La dentina rodeada es blanda. (C) Primer plano de la exposición principal en (B). (D) El tejido pulpar expuesto es avascular. (E) La pulpa expuesta es pálida y deconstruida, rodeada de tejido pulpar rojizo. (F) Un fragmento de dentina desplazado hacia el tejido pulpar expuesto avascular. (G) Varios fragmentos de dentina desplazados hacia una pulpa apenas vascularizada. La dentina circundante es blanda. Se realizó pulpotomía parcial. (H) Aspecto del caso en (G) después de la extracción de la dentina blanda y pulpotomía parcial. La herida quirúrgica parecía limpia después de la hemostasia.<sup>8</sup>

### 2.2.2. Mecanismo de formación del puente dentinario: dentinogénesis reparativa

La dentinogénesis terciaria se clasifica como reparativa cuando los agentes agresores provocan la necrosis del estrato odontoblástico por lo que, si las condiciones del complejo dentino-pulpar son favorables, una



nueva generación de células similares a los odontoblastos u "odontoblastos secundarios" encontrados dentro de la pulpa, se diferenciarán de las células progenitoras y segregarán una matriz reparadora de dentina. Los odontoblastos secundarios o también denominados dentinoblastos o neo-odontoblastos, incluyen células de la capa de Höhl, fibroblastos, células mesenquimales indiferenciadas del núcleo de la pulpa y pericitos derivados de los vasos; morfológicamente parecen odontoblastos primarios, alargados, con núcleo claro y polaridad citoplasmática y secretora, y se organizan en una capa, estrato neo-odontoblástico, en donde generalmente quedan más separados, razón por la que el puente dentinario formado presenta una estructura distrófica, atubular ("defectos en túnel), con células atrapadas e incluidas y con gran deposición de dentina peritubular; sin embargo, este puente ayuda a proteger a la pulpa de agresiones futuras.<sup>1, 12</sup> Se ha demostrado que los defectos en túnel son más evidentes con la utilización de materiales tradicionales de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  en comparación con los cementos hidráulicos de silicato de calcio.<sup>18</sup>

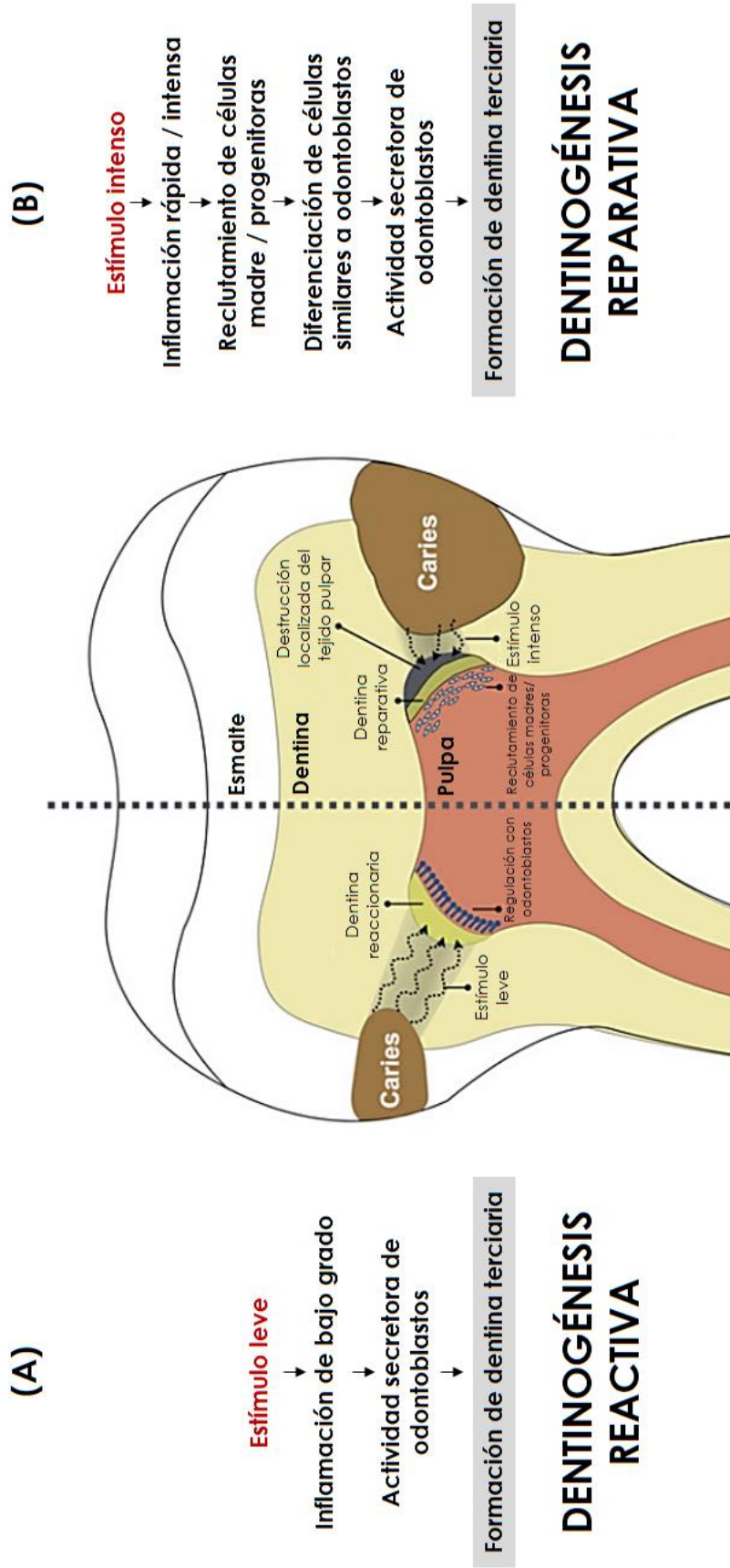
La dentinogénesis reparativa es más compleja que la dentinogénesis reactiva, pues se requiere de un proceso previo de diferenciación celular y de adquisición de la capacidad de síntesis y secreción de matriz dentinaria. Se caracteriza por cuatro etapas<sup>4</sup>:

1. Inflamación moderada
2. Reclutamiento y avance de células madre adultas de reserva (progenitoras)
3. Proliferación de células progenitoras
4. Diferenciación terminal.

Estudios experimentales han podido establecer que algunos de los miembros de la superfamilia de factor de crecimiento transformante beta ( $\text{TGF-}\beta$ ) y algunas proteínas morfogenéticas, juegan papeles fundamentales en la dentinogénesis reparativa. Entre otros factores



relacionados en el proceso reparativo encontramos a las proteínas morfogénicas 2, 4 y 7 (BMP-2, BMP-4, BMP-7) que incrementan la actividad fosfatasa alcalina y la síntesis de osteocalcina, el factor de crecimiento derivado de las plaquetas (PDGF), y los factores de crecimiento fibroblástico (FGF) y de crecimiento epidérmico (EGF). El mecanismo de acción de todas estas moléculas depende de su unión a un receptor específico situado en la membrana del pre-odontoblasto.<sup>12, 13</sup> [Figura 9].



**Fig. 9. Dos tipos de formación de dentina terciaria:** (A) dentinogénesis reaccionaria que ocurre después de una lesión moderada de la dentina si existen odontoblastos primarios para secretar dentina; (B) dentinogénesis reparadora que ocurre si los odontoblastos han sido dañados o destruidos y si la formación de dentina terciaria se realiza después del reclutamiento de células madre / progenitoras por células similares a odontoblastos.<sup>19</sup>

### 2.2.3. Técnica

Clínicamente, es esencial que, durante el procedimiento, el diente se aíse antes de la exposición pulpar con un dique de hule y se desinfecte<sup>2</sup>. Se debe utilizar un aumento visual durante todo el procedimiento para asegurar la extracción de toda la dentina blanda y para inspeccionar el tejido pulpar. La dentina debe manipularse con cuidado utilizando fresas estériles e instrumentos afilados, con una fresa de alta velocidad y un refrigerante de agua utilizado para la eliminación total de dentina cariada, antes de la desinfección y el control del sangrado pulpar<sup>2</sup>.

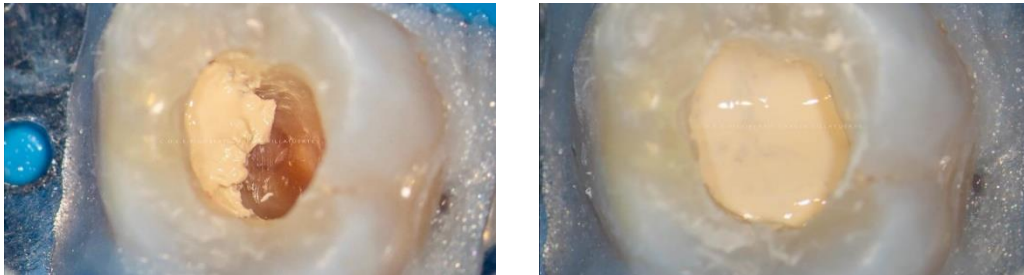
Un requisito previo para un resultado satisfactorio después del recubrimiento pulpar es el control del sangrado y evitar la formación de coágulos de sangre entre el material de recubrimiento y el tejido pulpar [Figura 13]; la hemostasia y la desinfección se deben lograr utilizando bolitas de algodón empapadas idealmente con hipoclorito de sodio (0,5% - 5%) y clorhexidina (0,2% - 2%). Aunque la solución salina fisiológica ha sido el estándar aceptable en escenarios de recubrimiento pulpar de clase I, está limitado por la falta de propiedades desinfectantes, mientras que el uso de sulfato férrico, aunque es un agente hemostático eficaz, distorsionará

la evaluación del sangrado pulpar<sup>1, 2</sup>.



**Fig. 13. Hemostasia.** Forografía clínica después de haber realizado control del sangrado de la exposición pulpar. Tomada por el Dr. Rigoberto García.<sup>20</sup>

Por último, se debe colocar un cemento de silicato de calcio hidráulico directamente sobre el tejido pulpar [Figura 14] e inmediatamente la restauración definitiva al diente para evitar más microfiltraciones<sup>2</sup>.



**Fig. 14. Recubrimiento pulpar directo.** Forografía clínica de la colocación de Biodentine después de haber realizado la hemostasia [Figura 13]. Tomada por el Dr. Rigoberto García.<sup>20</sup>

Una de las ventajas de la exposición pulpar es que, en ausencia de pruebas moleculares de inflamación clínicamente disponibles, el color y la intensidad del sangrado presentado, nos pueden proporcionar información más precisa sobre el estado pulpar y la capacidad de recuperarse después del tratamiento<sup>2</sup>. Entre las características ideales de una exposición pulpar con buen pronóstico, encontramos: dentina sana alrededor de la exposición, tejido pulpar expuesto de color rojo homogéneo y lleno de sangre y ausencia de espículas de dentina en la herida.<sup>8</sup>

### **2.3. Seguimiento y pronóstico de los tratamientos de recubrimiento pulpar**

Los procedimientos de RP deben evaluarse 6 y 12 meses después de la operación y a intervalos anuales (si es necesario) durante 4 años a partir de entonces. El diente debe responder positivamente a las pruebas de sensibilidad pulpar dentro de los límites normales. Cabe señalar que es posible que los dientes no respondan (p. Ej., Pacientes de edad avanzada, restauraciones cerámicas o de resina compuesta de múltiples superficies). El paciente debe estar libre de dolor y otros síntomas; debe



haber una ausencia de periodontitis apical y signos de reabsorción radicular interna, mientras que, en los dientes inmaduros, también debe haber evidencia radiológica de formación continua de la raíz<sup>2</sup>.

- **Pronóstico del RPI**

En un estudio de Maltz et al., en el año 2012, estos enfoques de terapia de pulpa vital han demostrado un éxito de 3 años; 90% para la remoción selectiva en una etapa y 70% para la excavación escalonada; sin embargo, dentro de este estudio, muchos de los casos escalonados no regresaron para la segunda visita, lo que dificulta la comparación.<sup>21</sup>

Otro ensayo controlado aleatorio de 5 años informó que la tasa de éxito de la excavación escalonada después de 5 años fue del 60% en comparación con la extracción no selectiva de tejido carioso del 46% (Bjørndal et al. 2017).<sup>22</sup>

A pesar de que el concepto eliminación de caries selectiva tiene muchos defensores no existen datos microbiológicos e histopatológicos que respalden este enfoque, además, excluye la posibilidad de evaluar clínicamente la verdadera extensión del proceso de caries, la apariencia del tejido pulpar expuesto, la presencia de necrosis y la cantidad de sangrado pulpar.<sup>8</sup>

- **Pronóstico del RPD**

Estudios retrospectivos<sup>7, 23</sup> de 2 a 10 años han indicado una tasa de éxito que varía del 30% al 85%, siendo en los dientes permanentes inmaduros la mayor tasa de éxito. La mejor evidencia actual indicaría que un procedimiento moderno de recubrimiento pulpar (recubrimientos pulpares de clase II) debería tener éxito en aproximadamente el 80% - 90% de los casos.<sup>24, 25,</sup>





## **CAPÍTULO III. PRIMEROS MATERIALES UTILIZADOS EN EL RECUBRIMIENTO PULPAR**

### **3.1. Hidróxido de Calcio (Ca(OH)<sub>2</sub>)**

#### **3.1.1. Generalidades**

El hidróxido de calcio es un producto compuesto básicamente de hidróxido de calcio más un vehículo que le da determinada consistencia para su manejo. Este vehículo puede ser agua bidestilada para formar una pasta o carboximetil celulosa para formar un hidrogel.<sup>27</sup>

Es considerado el “estándar de oro” de los materiales de recubrimiento pulpar y ha sido utilizado desde 1920 por lo que es el material mejor documentado con una amplia experiencia adquirida en una variedad de situaciones experimentales y clínicas que lo convierte en un tratamiento útil en fines comparativos para la evaluación de nuevos agentes de recubrimiento pulpar.<sup>28, 29</sup> Las observaciones clínicas a largo plazo del hidróxido de calcio son incomparables con cualquier otro material bioactivo, ya que los primeros informes de curación pulpar con éxito se publicaron entre 1934 y 1941.<sup>14</sup>

El hidróxido de calcio sirve como una barrera protectora para el tejido pulpar, no sólo bloquea los túbulos dentinarios, sino que también neutraliza el ataque de ácidos orgánicos provenientes de algunos cementos y materiales de obturación.<sup>17</sup>

Tanto clínica como histológicamente se ha encontrado que produce resultados satisfactorios en células de la pulpa dental. Sin embargo, la presencia de túneles en la barrera dentinaria, la formación extensa de dentina que oblitera la cámara pulpar, la alta solubilidad en los fluidos orales y la falta de adhesión y degradación después del grabado ácido son algunas de las limitaciones reportadas con el hidróxido de calcio.<sup>7</sup>

El mecanismo de acción de este material se basa en su alta basicidad; el hidróxido de calcio en contacto directo con la pulpa destruye localmente una capa de tejido pulpar y, por lo tanto, crea una zona necrótica incontrolada. Esta capa necrótica induce una reacción inflamatoria que persiste en el tiempo o conduce a la formación de calcificaciones intrapulpares.<sup>14, 17, 19</sup>

### 3.1.3. Presentaciones

Existen distintas presentaciones, en función de la composición, de la concentración de hidróxido de calcio y de su indicación<sup>30</sup>:

- **Hidróxido de calcio químicamente puro**

Polvo y líquido (agua destilada o suero fisiológico).



**Fig. 15. Hidróxido de calcio químicamente puro.** (A) Hidróxido de calcio puro en polvo (Cofares). (B) Loseta de cristal con hidróxido de calcio y agua destilada. (C) Hidróxido de calcio mezclado con consistencia cremosa.<sup>31</sup>

- **Quimiopolimerizable**

Dos pastas: base (hidróxido de calcio) y catalizador (resina polimetileno salicilato y salicilato de metilo).



**Fig. 16. Presentación comercial de una marca de hidróxido de calcio quimiopolimerizable: Dycal, Dentsply.<sup>32</sup>**



**Fig. 17. Presentación comercial de una marca de hidróxido de calcio quimiopolimerizable: Life, Kerr.<sup>33</sup>**

- **Fotopolimerizable**

Jeringas preparadas, pasta única que se aplica y se fotopolimeriza.



**Fig. 18. Presentación comercial de una marca de hidróxido de calcio fotopolimerizable: Calcimol LC Hidróxido de Calcio 2x2ml de Voco.<sup>34</sup>**

### 3.1.4. Manipulación

- **Polvo y líquido**

Se mezclan ambos en proporciones adecuadas según la consistencia deseada.<sup>30</sup>



- **Pastas**

Se extienden cantidades iguales de base y catalizador en el bloc de mezcla. Debe limpiarse la boca de cada tubo antes de taparlos teniendo cuidado de no intercambiar tapones. Con una espátula pequeña se mezclan ambos, hasta obtener una pasta fina y homogénea, que se aplica rápidamente en la cavidad.

En los dos casos, la reacción de fraguado tiene lugar por reacciones químicas; en el caso de la jeringa preparada, la mezcla está lista para usar y requiere de la luz para fraguar. La reacción de fraguado se ve favorecida por la humedad.<sup>30</sup>

### **3.2. Ionómero de vidrio**

El cemento de ionómero de vidrio es un material de restauración con propiedades específicas que ha mejorado la práctica de la odontología restauradora. Estos se dieron a conocer en 1972 por Wilson y Kent. Su principal característica es el intercambio iónico con la estructura dentaria que se obtiene a partir del ácido polialquenoico y la liberación de fluoruro, para mejorar la remineralización.<sup>9</sup>

Fue hasta a principios de los años ochenta cuando se introdujeron como potenciales agentes para el recubrimiento directo de pulpas expuestas por caries o acciones mecánicas<sup>4</sup>. Inicialmente presentaron resultados favorables en las investigaciones preliminares en primates no humanos. Sin embargo, con el tiempo no se demostró una adecuada biocompatibilidad debido a la citotoxicidad por su acidez inicial, además de una nula o poca formación de puentes reparadores en humanos. <sup>4, 35</sup>

Por su buena adhesión a la estructura dentaria<sup>9, 35</sup> se consideran excelentes materiales de sellado cuando se combinan con composites fotopolimerizables en restauraciones permanentes y si se aplican después directamente sobre materiales de recubrimiento pulpar.<sup>4</sup>



**Fig. 19. Presentación comercial de una marca de ionómero de vidrio: Ketac Molar, 3M.<sup>36</sup>**



**Fig. 20. Manejo del mezclado de ionómero de vidrio.<sup>37</sup>**

### 3.3. Sistemas adhesivos

Son resinas de bajo peso molecular en conjunto con un vehículo que puede ser acetona, alcohol o agua. Por su bajo peso molecular se difunden fácilmente a través de los túbulos dentinarios y en la dentina intertubular con lo que se forma una «capa híbrida».<sup>17</sup> A razón de este concepto se lanzó la hipótesis de que estos materiales actuaran como agentes de protección. Durante muchos años, se pensó que la calidad del sello por sí sola determinaba el éxito del procedimiento. En la década de 1990, los recubrimientos pulpares directos con materiales adhesivos dentales inicialmente ofrecieron resultados prometedores; sin embargo, después de varios meses, se produjo el deterioro de la unión marginal y la subsiguiente infiltración por bacterias, lo que provocó inflamación o necrosis pulpar.<sup>1</sup>

La presencia del fluido dentinario puede perjudicar la calidad de la capa, así como la capacidad de difusión del sistema adhesivo en toda la extensión de la dentina desmineralizada y a su incompleta polimerización

del adhesivo resultando en el sellado imperfecto de la cavidad. En consecuencia, permanece una capa de fibrillas de colágeno no protegida por el adhesivo. Otra de la desventaja es el rápido e inmediato aumento de permeabilidad de la dentina grabada ocasionando la aspiración de los núcleos de los odontoblastos, matándolos y desorganizando su capa.<sup>9</sup> Hebling et al., observaron una respuesta inflamatoria mucho más evidente cuando el sistema adhesivo fue aplicado en cavidades profundas en comparación al uso de cemento de hidróxido de calcio.<sup>38</sup> En investigaciones realizadas en pulpas humanas, mostraron resultados negativos a corto y mediano plazo.<sup>4, 17</sup> De esta forma, en cavidades profundas o con exposición pulpar, la técnica adhesiva debe evitarse<sup>35</sup> o ser empleada subsecuentemente a la aplicación de materiales más biocompatibles.<sup>9</sup>



**Fig. 21.** Algunos ejemplos de marcas de sistemas adhesivos simplificados. Fotografía tomada por el Dr. César Pomacóndor.<sup>39</sup>



**Fig. 22.** Forma de colocación del adhesivo en la estructura dentaria. Fotografía tomada por el Dr. Boris Figueroa.<sup>40</sup>



## CAPÍTULO IV. NUEVAS ALTERNATIVAS: CEMENTOS HIDRÁULICOS BIOACTIVOS A BASE DE SILICATOS DE CALCIO

### 4.1. Generalidades

Los materiales biocerámicos fueron introducidos a la endodoncia gracias a la expansión en sus distintas aplicaciones y a sus propiedades físicoquímicas.<sup>41</sup> Entre sus ventajas encontramos: *perfil hidrofílico*, es decir, pueden establecerse en un ambiente húmedo, como la dentina, la cual está compuesta por casi 20% de agua. *Biocompatibilidad*, debido a su similitud con la hidroxiapatita biológica. *Capacidad osteoinductiva intrínseca* con lo que se logra un excelente sellado hermético al formar un enlace químico con la estructura del diente. Buena *radiopacidad* y gran *capacidad antibacteriana*.<sup>42</sup>

Estos materiales se clasifican de la siguiente manera:<sup>4</sup>

- **Bioinertes**  
No interactúan con los sistemas biológicos (Ej. Alúmina, circonia).
- **Biodegradables**  
Son solubles o reabsorbibles, eventualmente son reemplazados o incorporados en el tejido (Ej. Fosfato tricálcico, vidrios bioactivos).
- **Bioactivos**  
En 1969, se descubrió el concepto de material bioactivo, desde entonces el campo de la cerámica se ha expandido enormemente para incluir muchas composiciones nuevas.<sup>43</sup> Este concepto se definió como “aquel que provoca 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>43,44</sup> (Ej. Vidrios bioactivos, cerámicas de vidrio bioactivas, hidroxiapatita, silicatos de calcio).<sup>41</sup> Cuando estos materiales bioactivos entran en contacto con los fluidos tisulares, liberan  $\text{Ca(OH)}_2$ , que puede interactuar e inducir a los tejidos circundantes para promover su regeneración.<sup>45</sup>

#### **4.2. Cementos hidráulicos a base de silicatos de calcio**

Los materiales basados en silicatos de calcio (SC) se definen como aquellos que están compuestos de fases di / tri / tetra-SC con un mecanismo de fraguado básico que involucra un proceso de hidratación que resulta en la formación de lixiviados y cristales.<sup>45</sup> Prati y Gandolfi en el año 2015, mencionaron que el término hidráulico, se refiere a que el material puede establecerse en ambientes húmedos<sup>46</sup>; es decir, que la reacción de curado tiene lugar cuando se mezcla con agua, puede endurecer en un ambiente húmedo<sup>47</sup> y que sus propiedades mejoran cuando entra en contacto con fluidos.<sup>41</sup>

Las principales indicaciones de estos materiales son: recubrimiento pulpar, pulpotomía, apexogénesis, apexificación, selladores endodónticos, reparación de perforación de raíz y como materiales de relleno retrógrados.<sup>45</sup>

Respecto a los tratamientos de recubrimiento pulpar, se considera que la introducción de estos cementos junto con las estrategias de tratamiento avanzadas, han cambiado notablemente el concepto de muchos años de evitar el recubrimiento pulpar después de exposiciones pulpares cariosas.<sup>48</sup> Además, a comparación del  $\text{Ca(OH)}_2$ , los silicatos de calcio se consideran más estables, no reabsorbibles y, por lo tanto, presumiblemente proporcionan protección a largo plazo contra la invasión de microorganismos.<sup>49</sup>





Las interacciones entre los materiales de recubrimiento pulpar con el tejido pulpar lesionado en el inicio y desarrollo de los procesos regenerativos siguen sin estar claras; se han desarrollado muchas hipótesis, como el papel de los factores de crecimiento, principalmente la de TGF-β1 que podría explicar parcialmente su efecto estimulante sobre la regeneración del complejo pulpa-dentina. Otros factores que juegan un papel crítico en el éxito del recubrimiento directo son el suministro de sangre adecuado, la gravedad de la inflamación, la obtención de hemostasia, la desinfección del sitio de exposición, las propiedades de biocompatibilidad de los agentes que cubren la pulpa y la provisión de un sellado adecuado.<sup>7</sup>

Con base a su química, Dutta A. et al.,<sup>50</sup> proponen una clasificación para los materiales de silicato de calcio [Tabla 6].

**Tabla 6.** Clasificación de los materiales bioactivos.<sup>50</sup>

Generación	Material Bioactivo
<b>Generación I</b>	MTA Gris MTA Blanco
<b>Generación II</b>	<i>Modificaciones a MTA:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Para disminuir el tiempo de fraguado: con cloruro cálcico, hipoclorito sódico, KY Jelly, nitrito cálcico, formiato dicálcico nitrato cálcico, fosfato dibásico sódico.</li> <li>- Para mejorar el manejo: metilcelulosa.</li> <li>- Doble funcionalidad (fraguado más rápido y mejor manejo): gluconato de lactato de calcio.</li> <li>- Alteración en la concentración de óxido de bismuto.</li> <li>- Reemplazo de óxido de bismuto con radio-opacificador alternativo: óxido de circonio, yodoformo, aleación de plata-estaño, oro, titanio</li> </ul>
	<b>MTA Angelus, MTA Blanco y MTA Bio</b>
<b>Generación III</b>	<i>Modificación del cemento Portland:</i> varios cementos experimentales <i>Modificación para usar como sellador:</i> <b>Endo CPM, ProRoot Endo</b> (con polímero soluble en agua), <b>MTA, iRootSP</b> (también vendido como <b>Endosequence BC y SmartPaste Bio</b> ), <b>MTA Obtura, Tech Biosealer Endo</b> , cemento experimental dopado con fluoruro.
	<i>Materiales de silicato de calcio:</i> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sintetizado como un cemento parcialmente estabilizado</li> <li>- Sintetizado a través del método sol-gel</li> <li>- Cemento sin aluminio</li> <li>- Nuevo cemento endodóntico / mezcla enriquecida con calcio</li> <li>- <b>Bioaggregate</b></li> </ul>



**Tabla 6. Continuación**

Generación	Material Bioactivo
<b>Generación III</b>	<p><i>Materiales de silicato de calcio:</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- <b>Biodentine</b></li><li>- <b>Tech Biosealer</b> (con acelerador y plastificante de filossilicato)</li><li>- <b>Aureoseal</b></li><li>- <b>Ortho MTA</b></li><li>- <b>MTA Plus</b></li></ul> <p><i>Cementos experimentales:</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Cemento de sulfosuminato de calcio con o sin granito.</li><li>- Cemento de fluoroaluminato de calcio con o sin granito</li><li>- Aditivos de Mg, Zn, Fe.</li><li>- Cemento compuesto de silicato de calcio y aluminato de calcio.</li></ul> <ul style="list-style-type: none"><li>- <b>Generex A, Generex B</b></li><li>- <b>Ceramicrete-D</b></li><li>- <b>Capasio</b></li></ul>
<b>Generación IV</b>	<p><i>Cementos Híbridos:</i></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Fosfato de calcio / silicato de calcio / cemento de bismutita.</li><li>- NRC (que incorpora HEMA).</li><li>- MTA con 4-META / MMA-TBB.</li><li>- Cementos fotopolimerizables que incluyen <b>TheraCal LC</b>.</li></ul>

## 4.2.1. Agregado de trióxido mineral (MTA)

### 4.2.1.1. Generalidades

Fue el primer silicato de calcio elaborado para el uso en odontología por el Dr. Mahmoud Torabinejad en 1993. Inicialmente se introdujo como material de obturación retrógrada y posteriormente se ha utilizado para el recubrimiento pulpar, pulpotomía, apicogénesis, apicoformación, reparación de perforaciones de la raíz y como material de sellado del conducto radicular.<sup>42, 45, 51</sup>

Se caracteriza por ser osteoconductor, osteoinductor y biocompatible. Primero fue lanzado en su versión gris (ProRoot MTA gris) y posteriormente en su versión blanca (ProRoot MTA blanco), los cuales se diferencian porque el MTA blanco presenta 54.9% menos de óxido de aluminio (Al<sub>2</sub>O), 56.5% menos óxido de magnesio (MgO) y 90.8% menos óxido de hierro (FeO) que MTA gris. También se informó que MTA blanco posee un tamaño de partícula global más pequeño que MTA gris.<sup>41</sup>



Tienen una mejor capacidad de sellado, biocompatibilidad y mayor resistencia física que el hidróxido de calcio, además de producir puentes de dentina más uniformes y más gruesos con menos respuesta inflamatoria y menos necrosis del tejido pulpar.<sup>1, 35, 52, 53, 54</sup> A pesar de haber muchos estudios con excelentes resultados clínicos, aún se requieren mejoras para obtener una composición ideal, tales como como el fraguado, las propiedades de manejo y la decoloración de los dientes<sup>51, 55</sup>. Estas deficiencias han llevado al desarrollo de una nueva familia de materiales dentales bioactivos y biocompatibles para uso endodóntico que se basan en la química del silicato de calcio.<sup>50</sup>

#### 4.2.1.2. Composición

El MTA es básicamente una mezcla mecánica de tres polvos: cemento portland (75%), óxido de bismuto (20%) que le da una radiopacidad superior a la dentina y yeso (5%).<sup>55</sup> De acuerdo con la patente de MTA, consiste en óxido de calcio (CaO) (50 - 75%) y óxido de silicio (SiO<sub>2</sub>) (15 - 20%), que juntos constituyen el 70 - 95% del cemento. Al mezclar estas materias primas; Se producen silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico, aluminoferrita tetracálcica.<sup>56</sup> [Tabla 7].

**Tabla 7.** Componentes fundamentales del MTA (Instructivo ProRoot™ MTA, DENTSPLY Tulsa Dental).<sup>57</sup>

Composición		Porcentaje
<b>Silicato tricálcico:</b> 3CaO-SiO <sub>2</sub>		75
<b>Aluminato tricálcico:</b> 3Ca-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
<b>Silicato dicálcico:</b> 2CaO-SiO <sub>2</sub>		
<b>Aluminato férrico tetracálcico:</b> 4CaO-Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
<b>Óxido de bismuto:</b> Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		20
<b>Sulfato de calcio dihidratado:</b> CaSO <sub>4</sub> -2H <sub>2</sub> O		4.4
Residuos insolubles	<b>Sílica cristalina</b>	0,6
	<b>Óxido de calcio</b>	
	<b>Sulfato de potasio y sodio</b>	



#### **4.2.1.3. Mecanismo de acción**

La bioactividad de MTA se atribuye a la hidratación del polvo para convertirse en un gel coloidal que al entrar en contacto con los fluidos tisulares se presenta una disolución y difusión de iones calcio; éstos al combinarse con el gas carbónico de los tejidos, originan granulaciones cálcicas y fibronectina, la cual permite la adhesión y diferenciación celular, formándose un puente de tejido duro.<sup>42, 57</sup>

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>44, 58</sup> Además, una vez iniciada la mezcla, el valor de pH aumenta bruscamente durante los primeros 20 minutos alcanzando un pH 12 que permanece por 3 horas por lo que se crea un ambiente antibacteriano, otra de las principales características de los silicatos de calcio.<sup>42</sup>

#### **4.2.1.4. Biocompatibilidad**

El MTA no es mutagénico ni neurotóxico, posee efectos antiinflamatorios en el tejido de la pulpa, es cementoinductivo y osteoconductor.<sup>42, 59</sup>

En una revisión sistemática sobre los efectos de los cementos de silicato de calcio en las células de la pulpa dental, se concluyó que la mayoría de los productos de tipo MTA u otros cementos a base de silicato de calcio disponibles son biocompatibles y estimulan la formación de puentes de dentina con una respuesta inflamatoria baja.<sup>60</sup>

#### 4.2.1.5. Presentación

El MTA está comercializado por Maillefer-Dentsply (Ballaignes, Suiza) bajo el nombre ProRoot MTA® y viene presentado en sobres herméticamente sellados que contienen el polvo del MTA. El ProRoot adjunta unas pipetas con agua estéril<sup>61</sup> [Figura 23]. ProRoot MTA fue el primero en comercializarse, posteriormente se introdujeron otras presentaciones.<sup>71</sup> [Figuras 24, 25]



**Fig. 23. Presentación comercial de MTA utilizada para tratamientos de recubrimiento pulpar: MTA Angelus Cemento Endodóntico Biocerámico Frasco 1gr.<sup>62</sup>**



**Fig. 24. Presentación comercial de MTA utilizada para tratamientos de recubrimiento pulpar: MTA Angelus Cemento Endodóntico Biocerámico Frasco 1gr.<sup>63</sup>**



**Fig. 25. Presentación comercial de MTA utilizada para tratamientos de recubrimiento pulpar: BioMTA | Retro MTA. 2.4g (0.3 x 8 caps).<sup>64</sup>**



#### 4.2.1.6. Preparación y modo de empleo en recubrimiento pulpar

##### Según el fabricante

##### **ProRoot MTA – Dentsply Sirona<sup>65</sup>**

###### *Preparación*

NOTA. El material de reparación radicular ProRoot® MTA no se endurece tan rápido como otros cementos. Si se mezcla el material con cuidado será más fácil de manipular.

1. Abra una bolsa de material de reparación radicular ProRoot® MTA y distribuya el polvo en un soporte de mezclado [Figura 26].
2. Abra el extremo de una ampolla de microdosis de líquido ProRoot® y vierta el contenido en el soporte de mezclado junto al material de reparación radicular [Figura 27].
3. Incorpore el líquido al cemento gradualmente con ayuda del palito de mezclado ProRoot® MTA [Figura 28].
4. Mezcle el material con el líquido durante un minuto para asegurarse de que todas las partículas de polvo queden hidratadas [Figura 29].
5. Se incluye una ampolla adicional, pero si es necesario también se puede usar agua purificada USP u otro medio mejor. Deseche el líquido sobrante.



**Fig. 26.** Colocación del polvo de ProRoot MTA en la loseta de vidrio.<sup>66</sup>



**Fig. 27.** Colocación del contenido de la ampollita de ProRoot MTA en la loseta de vidrio.<sup>66</sup>



**Fig. 28.** Incorporación gradual del polvo con el líquido de ProRoot MTA.<sup>66</sup>



**Fig. 29.** Mezcla finalizada de polvo y líquido de ProRoot MTA.<sup>66</sup>

### *Modo de empleo*

1. Finalice el plan de preparación de cavidad, bajo aislamiento con protección dental, mediante fresas de alta velocidad y refrigeración constante con agua.
2. Excave las estructuras de dientes cariadas con una fresa redonda en una pieza de mano a baja velocidad o bien use instrumentos manuales.
3. Limpie la cavidad y los sitios de exposición con 2,6 % - 5 % de NaOCl. Si existe sangrado abundante puede contenerlo con una torunda de algodón empapada en NaOCl.



4. PREPARE PROROOT® MTA SIGUIENDO LAS INSTRUCCIONES DE MEZCLADO SUMINISTRADAS POR EL FABRICANTE.
5. Aplique una pequeña cantidad de ProRoot® MTA sobre la exposición con un pequeño aplicador de bola o un dispositivo similar.
6. Retire el exceso de humedad del sitio con una torunda de algodón seca.
7. Aplique una pequeña cantidad de compómero fluido (o una resina que fragüe con luz o un revestimiento de ionómero de vidrio equivalentes) para cubrir el material ProRoot® MTA y endurezca con luz siguiendo las instrucciones.
8. Trate las paredes restantes de la cavidad con gel de ácido fosfórico al 34 % - 37 % durante 15 segundos. Enjuague abundantemente.
9. Seque la cavidad con cuidado dejando la dentina húmeda pero no mojada. Aplique un sistema adhesivo. Fragüe siguiendo las instrucciones.
10. Aplique una resina compuesta para finalizar la restauración. Fragüe siguiendo las instrucciones.
11. Evalúe la sensibilidad de la pulpa (respuesta a las pruebas) cada 6 meses y evalúe el diente radiográficamente cada 3-6 meses o cuando estime necesario.

### **MTA Angelus<sup>67</sup>**

1. Esterilice la placa de vidrio, la espátula y los instrumentos para inserción y condensación del MTA;
2. Espatular durante 30 segundos el contenido de 1 sobre de MTA (o una cucharra de polvo) y una 1 gota de agua destilada sobre la placa de vidrio. El cemento obtenido tendrá consistencia arenosa;





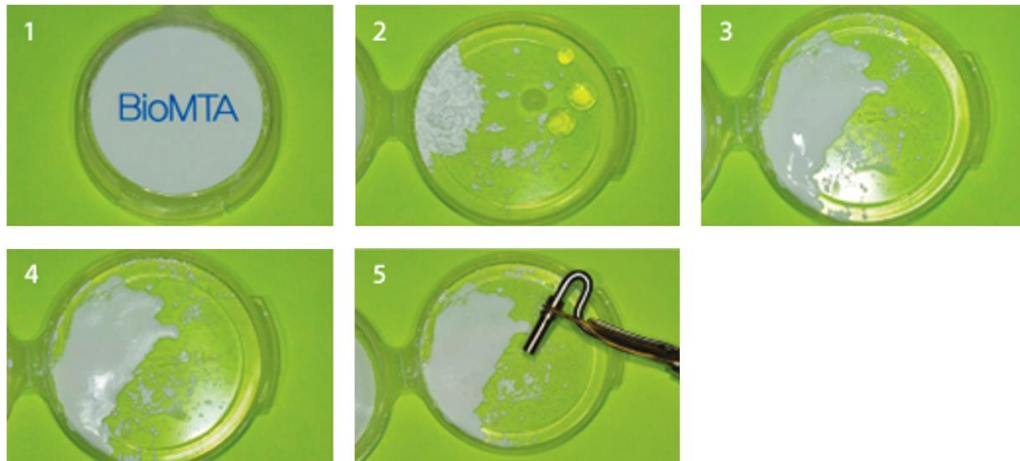
3. Lleve el MTA al lugar deseado con el APLICADOR DEL MTA ANGELUS® o otro instrumento adecuado;
4. Condense el MTA en la cavidad preparada con instrumentos metálicos (condensadores de amalgama o espátula 1) o con la punta de un cono de papel absorbente humedecido con agua destilada.

**IMPORTANTE:** En procedimientos de larga duración o cuando el MTA no se utiliza luego después de la espatulación, cúbralo con gasa húmeda para evitar que se reseque. El MTA reseca debe ser desechado.

### **RetroMTA – BioMTA<sup>68</sup>**

1. Abra la tapa de RetroMTA [Figura 30 (1)].
  2. Cortar la porción final de la bolsa de polvo y la pipeta de plástico con unas tijeras.
  3. Verter 0,3 g de polvo y verter 3 gotas de líquido en el suelo de la tapa [Figura 30 (2)].
  4. Humedezca suavemente con una espátula de plástico durante 40 segundos. (NO MEZCLAR) [Figura 30 (3)].
  5. Espere hasta que desaparezca la superficie brillante [Figura 30 (4)].
  6. Cargúelo en el portador y aplíquelo en el área del procedimiento [Figura 31 (5)].
- Si está demasiado aguada, use una bolita de algodón seco en el área del procedimiento con una presión suave durante aproximadamente 120 segundos.

- Si está demasiado polvoriento, use bolitas de algodón húmedas en el área del procedimiento con una presión suave de aproximadamente 120 segundos.



**Fig. 30. Manejo de RetroMTA:** (1) Tapa de RetroMTA. (2) Colocación de las cantidades indicadas de polvo y líquido en el suelo de la tapa. (3) Polvo de RetroMTA humedecido durante 40 seg. (4) Mezcla sin brillo de RetroMTA. (5) Colocación de la mezcla de RetroMTA en el portador.<sup>64</sup>

## Recomendaciones

- El MTA no se empaqueta en la cavidad pulpar, sino que se golpea ligeramente para que entre en contacto con la pulpa y la pared de dentina usando una punta de "papel grueso" o una compresa de algodón.<sup>1, 69</sup>
- Es importante el uso inmediato del MTA después del mezclado, ya que dejar la mezcla en la loseta o en el papel, origina la deshidratación del material adquiriendo una textura arenosa.<sup>7, 69</sup>
- Los cementos a base de óxido de zinc y eugenol deben evitarse en presencia de MTA, ya que el zinc retarda la hidratación del cemento con mayor porosidad. Los cementos de ionómero de vidrio absorben el agua de hidratación del MTA, lo que también produce un aumento de la porosidad y una hidratación incompleta del MTA.<sup>70</sup>



## **4.2.2. Silicato tricálcico purificado (Biodentine™)**

### **4.2.2.1. Generalidades**

Biodentine es un sustituto dentinario bioactivo a base de silicato tricálcico comercializado en 2009 por Septodont, Saint Maur des Fosses, Francia.<sup>41</sup>

Este material está formulado utilizando la tecnología de cemento basada en MTA y ha sido desarrollado y producido con el objetivo de reunir la alta biocompatibilidad y bioactividad de los silicatos de calcio, con propiedades mejoradas, como el tiempo de fraguado rápido (una función del cloruro de calcio agregado al líquido) y la alta resistencia (resultado del bajo nivel de agua).<sup>42, 72</sup> En cuanto a las desventajas del cemento, la radiopacidad es significativamente menor que la del MTA Angelus a pesar de la presencia de óxido de circonio. En comparación con el  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , es mecánicamente más fuerte, menos soluble y produce un sellado más hermético.<sup>14</sup>

Biodentine posee propiedades mecánicas similares a la dentina sana y puede reemplazarla tanto a nivel coronario como a nivel radicular.<sup>41, 44</sup> Tiene una amplia gama de aplicaciones, que incluyen recubrimiento pulpar, medicamento para pulpotomía y como reparación endodóntica (reparación de perforación, lesiones resortivas y material de relleno del extremo de la raíz).<sup>45</sup>

### **4.2.2.2. Composición**

El polvo está compuesto de silicato tricálcico (material del núcleo principal), silicato dicálcico (material del segundo núcleo), carbonato y óxido de calcio (rellenos), óxido de hierro (colorante) y óxido de circonio como radio-opacificador.<sup>50</sup>

La composición del polvo se da en la [Tabla 8] mientras que el líquido contiene cloruro de calcio que actúa como un acelerador y un polímero



hidrosoluble como agente reductor de agua, también conocido como superplastificantes.<sup>50, 55</sup> El fabricante aún no ha proporcionado la concentración exacta de sus componentes por lo que varios investigadores han estudiado lo mismo y han proporcionado los datos. Uno de estos estudios realizado por Camilleri J et al., reveló la concentración de componentes de Biodentine™<sup>55</sup> [Tabla 8].

**Tabla 8.** Composición de Biodentine™.<sup>55</sup>

Polvo	Porcentaje
<b>Silicato tricálcico:</b> 3CaO.SiO <sub>2</sub> (material del núcleo principal)	80.1
<b>Silicato dicálcico:</b> 2CaO.SiO <sub>2</sub> (segundo material del núcleo)	-
<b>Carbonato de calcio:</b> CaCO <sub>2</sub> (relleno)	14.9
<b>Óxido de circonio:</b> ZrO <sub>2</sub> (radiopacificador)	5
<b>Óxido de hierro:</b> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (agente colorante)	-

#### 4.2.2.3. Mecanismo de acción

La mineralización que produce Biodentine es en forma de osteodentina al expresar marcadores de odontoblastos y aumentar la secreción de TGF-β1 de las células pulpares, lo que permite una mineralización temprana.<sup>14, 73, 74</sup>

Durante el fraguado del cemento se forma hidróxido de calcio el cual causa irritación en el área de exposición y con lo que se genera la división y migración de las células precursoras a la superficie del sustrato; adición y citodiferenciación en células similares a odontoblastos. Por lo tanto, Biodentine induce la aposición de dentina reaccionaria por estimulación de odontoblastos y dentina reparadora por diferenciación celular.<sup>73</sup>

#### 4.2.2.4. Biocompatibilidad

Zhou H et al., Compararon la citotoxicidad de Biodentine, MTA blanco y cemento de ionómero de vidrio usando fibroblasto gingival humano; observaron que biodentine causaba una reacción similar en comparación

con el MTA blanco, y ambos materiales eran menos citotóxicos que el ionómero de vidrio.<sup>75</sup>

Perard M et al., Compararon la biocompatibilidad y la expresión génica de Biodentine y MTA utilizando cultivos de esferoides multicelulares tridimensionales y observaron una respuesta similar entre estos dos materiales, lo que indica su uso para el recubrimiento pulpar directo.<sup>76</sup>

#### 4.2.2.5. Presentación

El material está disponible como una dosis unitaria en una cápsula desechable que contiene 0,7 g de polvo [Figura 31].<sup>50</sup>



Fig. 31. Presentación comercial de Biodentine, Septodont.<sup>77</sup>

#### 4.2.2.6. Preparación y modo de empleo en recubrimiento pulpar

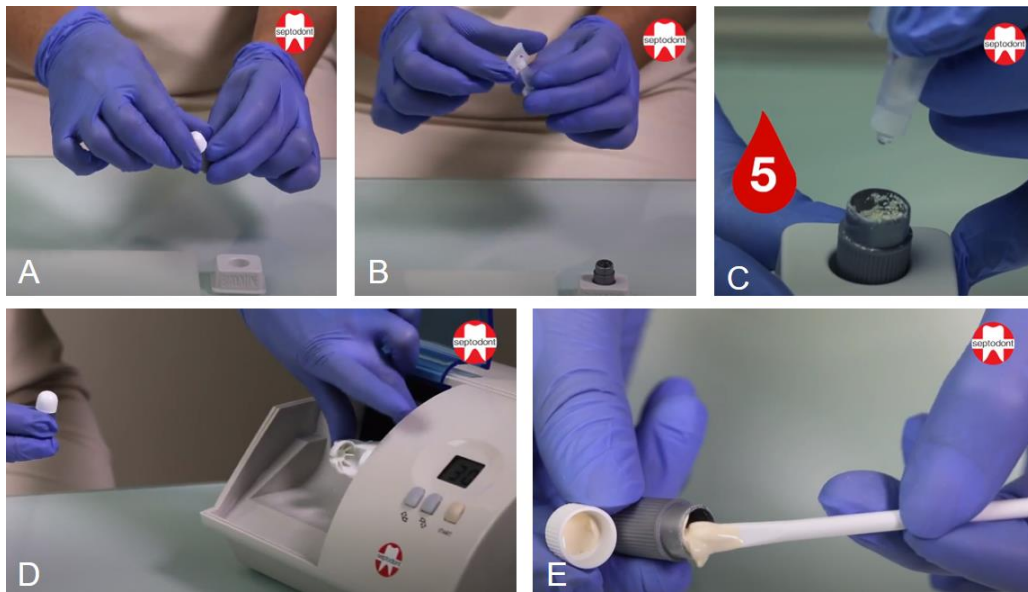
Según el fabricante

**Biodentine™ – Septodont<sup>78</sup>**

*Preparacion*



1. Tomar una cápsula y golpearla levemente en una superficie dura para descomprimir el polvo.
2. Abrir la cápsula y colocarla en el soporte blanco [Figura 32 (A)].
3. Separar una monodosis de líquido y golpetear levemente a nivel del tapón sellado para que la totalidad del líquido descienda al fondo de la monodosis.
4. Abrirla girando el tapón sellado, cuidando de que no se escape ninguna gota [Figura 32 (B)].
5. Verter 5 gotas de la monodosis en la cápsula [Figura 32 (C)].
6. Cerrar la cápsula. Colocar la cápsula en un vibrador de tipo Technomix, Tac 400 (Lineatac), Silamat, CapMix, Rotomix, Ultramat, etc., a una velocidad de unas 4000 a 4200 oscilaciones/mn [Figura 32 (D)].
7. Mezclar durante 30 segundos.
8. Abrir la cápsula y verificar la consistencia del material. Si se busca una consistencia más espesa, esperar 30 segundos a un minuto antes de un nuevo control, sin sobrepasar el tiempo de trabajo.
9. Recuperar el material Biodentine™ con la espátula presente en la caja. De acuerdo con la utilización deseada, Biodentine™ puede manipularse con un porta-amalgama, una espátula, un dispositivo de tipo Root Canal Messing Gun. Enjuagar y limpiar rápidamente los instrumentos utilizados para eliminar los residuos de material [Figura 32 (E)].



**Fig. 32. Manejo de Biodentine:** (A) Abrir cápsula. (B) Girar el tapón para abrir la monodosis de líquido. (C) Colocación de las 5 gotas de la monodosis de líquido en la cápsula con polvo. (D) Mezclado de Biodentine en vibrador de tipo Technomix, Tac 400. (E) Mezcla terminada de Biodentine.<sup>79</sup>

### *Modo de empleo*

Evaluar la vitalidad pulpar con las pruebas habituales: Biodentine™ no está indicado para el tratamiento de dientes con pulpitis irreversible.

1. Instalar el campo operatorio.
2. Retirar la dentina cariada con una fresa redonda y/o un excavador. Conservar la dentina afectada.
3. Colocar un encajonado en caso de ausencia de pared.
4. En caso de hemorragia pulpar, es indispensable controlar la hemostasis antes de aplicar Biodentine™.
5. Preparar Biodentine™ como se ha indicado más arriba (Empleo de la cápsula Biodentine™).
6. Colocar Biodentine™ directamente en la pulpa expuesta sin comprimir. Procurar que el producto se adapte perfectamente a nivel de las paredes de la cavidad y los bordes de la restauración.
7. Modelar la superficie de la restauración.



8. Esperar que transcurra el tiempo necesario para el fraguado del material antes de desmontar la matriz.
9. Con el fin de optimizar las propiedades mecánicas del material y de facilitar el desmontaje de la matriz, se puede aplicar un barniz en la superficie de la restauración.
10. Verificar la oclusión.
11. Entre una semana y seis meses después de la colocación de Biodentine™, preparar la cavidad de acuerdo a los criterios recomendados para el material de restauración seleccionado (composite, incrustación, onlay, amalgama). El material Biodentine™ restante puede ser considerado como una dentina artificial sana y conservado en zonas profundas, incluso yuxtapulpares de la restauración. Biodentine™ es compatible con todas las técnicas de restauración coronaria directa o indirecta y en especial con todos los tipos de sistemas adhesivos.

#### **4.2.3. Silicato de calcio modificado con resina (TheraCal LC®)**

##### **4.2.3.1. Generalidades**

TheraCal LC - light-cured (Bisco Schaumburg, IL, USA) es un material con relleno de silicato de calcio a base de resina (HCSC-Bis GMA) fotocurable; se introdujo para superar la mala adherencia de los materiales de silicato de calcio a las resinas en las restauraciones finales. TheraCal LC es utilizado como liner o forro cavitario y como agente de recubrimiento pulpar directo e indirecto.<sup>14, 41, 80</sup>

La formulación patentada de TheraCal LC consiste en partículas de silicato tricálcico en un monómero hidrófilo que proporciona una liberación significativa de calcio, lo que lo convierte en un material excepcionalmente estable y duradero como revestimiento o base.<sup>80</sup> Se ha demostrado que la biodisponibilidad de los iones de calcio liberados





de TheraCal LC está en el rango de concentración para la actividad estimulante potencial de la pulpa dental y los odontoblastos, aunque sigue siendo significativamente menor que en el caso de Biodentine.<sup>14</sup> En estudios in vitro, Gandolfi et al., demostraron que TheraCal LC tiene menor solubilidad al ser comparado con productos a base  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  y MTA.<sup>81</sup> Entre otros resultados de estudios realizados in vitro, encontramos: menores efectos citotóxicos a pesar de su contenido resinoso<sup>9</sup> y mayor formación de puente dentinario en comparación con hidróxido de calcio y ionómero de vidrio.<sup>44</sup> Sin embargo, a la fecha no se han reportado resultados de estudios clínicos realizados en humanos, por lo que es evidente la necesidad de conducir evaluaciones mediante ensayos clínicos aleatorizados con el fin de otorgarle seguridad al clínico en la toma de decisiones.<sup>44</sup>

#### 4.2.3.2. Composición

TheraCal LC está compuesto por partículas de silicato tricálcico (cemento Portland tipo III), un componente que lo provee de radiopacidad (estroncio), un agente que le otorga características hidrofílicas (sílica pirogénica), y un contenido de resina [Tabla 9].

Dentro del 45% de resina encontramos<sup>81</sup>:

- **Monómeros hidrofóbicos:** Dimetacrilato de uretano (UDMA), bisfenol A-Glycidil metacrilato (Bis-GMA), Trietilenglicol dimetacrilato (TEGDMA).
- **Monómeros hidrofílicos:** Hidroxietil metacrilato (HEMA) y polietilenglicol dimetacrilato (PEGDMA).

Gracias a estos componentes, en especial al silicato tricálcico, se logra la estimular la formación de un puente de dentina secundaria y de hidroxiapatita.<sup>7,9</sup>



**Tabla 9.** Composición de TheraCal LC®.<sup>41</sup>

Composición	Porcentaje
Cemento portland tipo III	45
Sílice pirógena	7
Resina Bis-GMA y PEGDMA	45
Sulfato de bario	3

#### **4.2.3.3. Mecanismo de acción**

TheraCal LC Permite el depósito de fosfatos de calcio (presente en sangre, plasma y fluido dentinario) en su superficie con lo que se estimula a las células involucradas en la formación de tejidos mineralizados, promueve la diferenciación de fibroblastos en odontoblastos, ayudando a que aumente la actividad de la enzima pirofostasa que es de gran importancia para la mineralización de la dentina.<sup>9, 44</sup>

#### **4.2.3.4. Biocompatibilidad**

La presencia de un componente a base de resina hace pensar que este material puede tener citotoxicidad, sin embargo, Hebling et al.<sup>82</sup>, compararon la citotoxicidad de TheraCal LC con respecto a otros forros cavitarios a base de ionómero de vidrio modificado con resina (Vitrebond™ de 3M ESPE) y de hidróxido de calcio (UltraBlend Plus de Ultradent); TheraCal LC demostró tener menores efectos citotóxicos que los otros dos materiales.<sup>83</sup>

No obstante, existen más estudios <sup>2, 9, 84</sup> en dónde se muestra baja biocompatibilidad de TheraCal LC en comparación con otros materiales como Biodentine o MTA.

La bioactividad suficiente de TheraCal LC, sus mejores propiedades de manipulación y su calidad superior de unión con la restauración final sólo justifican su uso en el recubrimiento pulpar indirecto, pero no en el directo debido a que se requieren más estudios in vitro e in vivo que avalen una mejor biocompatibilidad.<sup>14</sup>

#### 4.2.3.5. Presentación

TheraCal LC Se presenta en una jeringa que contiene 1 g de cemento fotopolimerizable [Figura 33].<sup>85</sup>



*Fig 33. Presentación comercial de TheraCal LC, Bisco.<sup>86</sup>*

#### 4.2.3.6. Preparación y modo de empleo en recubrimiento pulpar

##### Según el fabricante

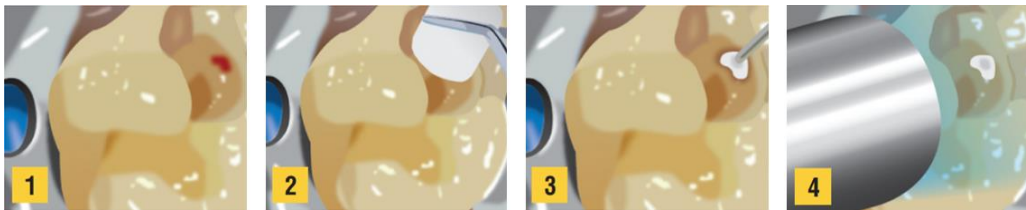
##### **TheraCal LC® – Bisco Dental**<sup>87</sup>

##### *Exposiciones pulpares (recubrimiento pulpar directo)*

1. Debajo del aislamiento de dique de goma, termine la preparación de la cavidad [Figura 34 (1)].
2. Primero logre la hemostasia colocando un trozo de algodón humedecido con solución fisiológica estéril suavemente sobre el sitio de la exposición [Figura 34 (2)].
3. Secar la preparación con una bolita de algodón. Dejar visiblemente húmeda.
4. Aplique TheraCal LC directamente sobre la pulpa expuesta en capas incrementales. La profundidad de cada capa no debe ser superior a 1 mm [Figura 34 (3)]. Cubra todas las áreas expuestas

y extienda TheraCal LC por lo menos 1 mm sobre la dentina sana que rodea el área de exposición. Fotopolimerice entre capas.

5. Fotopolimerice cada capa incremental durante 20 segundos [Figura 34 (4)].
6. Coloque el adhesivo, la base o la restauración deseados siguiendo las instrucciones del fabricante. Continúe con la restauración del diente.

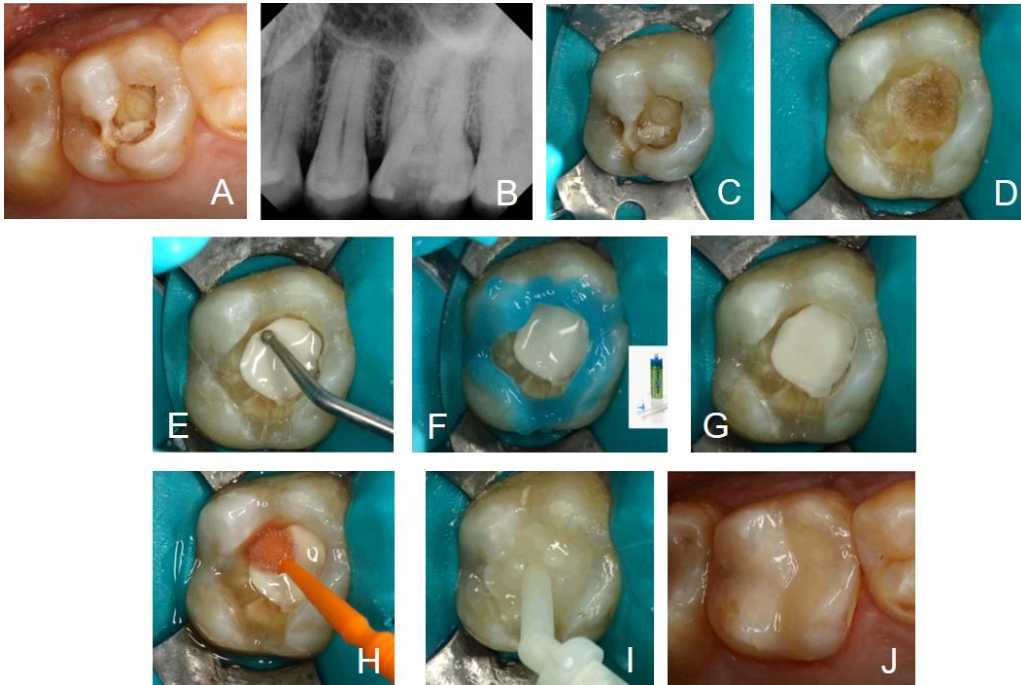


**Fig. 34. Manejo de TheraCal LC:** (1) Termine la preparación de la cavidad en un campo bajo aislamiento con dique de goma. (2) Logre la hemostasia colocando un trozo de algodón humedecido con solución fisiológica estéril. Seque suavemente la preparación con torundas de algodón. (3) Aplique TheraCal LC directamente sobre la pulpa expuesta en capas incrementales. La profundidad de cada capa no debe ser superior a 1 mm. Cubra todas las áreas expuestas y extienda TheraCal LC por lo menos 1 mm sobre la dentina sana que rodea el área de exposición. Fotopolimerice entre capas. (4) Fotopolimerice cada capa incremental durante 20 segundos. Coloque el adhesivo, la base o la restauración deseados siguiendo las instrucciones del fabricante. Continúe con la restauración del diente.<sup>88</sup>

#### *Preparaciones profundas (recubrimiento pulpar indirecto), preparaciones extensas (líner), base o sellador*

1. Aísle el diente y realice una preparación convencional de la cavidad. Retire toda la estructura dental cariada infectada. Dejar la preparación visiblemente húmeda [Figura 35 (C, D)].
2. Aplique TheraCal LC directamente en el fondo de la cavidad en capas incrementales. La profundidad de cada capa no debe ser superior a 1 mm. Manipule el producto para formar una superficie lisa que cubra todas las áreas dentinarias profundas [Figura 35 (E)]. Fotopolimerice entre capas.
3. Fotopolimerice cada capa incremental durante 20 segundos.

4. Coloque el adhesivo, base o restauración deseados siguiendo las instrucciones del fabricante. Continúe con la restauración del diente [Figura 35 (F - J)].



**Fig. 35. Caso clínico de recubrimiento pulpar indirecto presentado por el Dr. Rolando Núñez:** (A) Fotografía clínica inicial. (B) Radiografía inicial. (C) Colocación de aislamiento absoluto. (D) Eliminación de tejido carioso. (E) Manipulación de TheraCal LC utilizando aplicador de Dycal. (F) Grabado selectivo de la cavidad. (G) Remoción del ácido grabador. (H) Colocación de adhesivo dentinario. (I) Colocación de composite. (J) Restauración finalizada.<sup>89</sup>

## Recomendaciones

- TheraCal LC Se se fotocura durante 20 segundos a una intensidad de luz de 1200 - 1,700 mW/cmmW/cm<sup>2</sup>.<sup>41</sup>
- La estratificación con resina compuesta unida con adhesivos de grabado total es óptima, así mismo se precisa que los cementos de ionómero de vidrio no están indicados en la restauración de dientes en los que se usa TheraCal LC, debido a un enlace muy débil, aunque los resultados son controvertidos según Meraji y Camilleri en 2017.<sup>90</sup>



## **Propiedades fisicoquímicas de los cementos bioactivos a base de silicatos de calcio**

Las propiedades fisicoquímicas de los cementos a base de silicato de calcio, como la liberación de iones calcio, la solubilidad, el tiempo de fraguado y la radiopacidad, son de suma importancia en lo que respecta a su utilidad clínica. Sus buenas propiedades biológicas se atribuyen a su capacidad alcalinizante y a la liberación de calcio. Además, la capacidad de producir espontáneamente una capa similar a la apatita de fosfato cálcico en su superficie cuando está en contacto con fluidos que contienen fosfato, se atribuye en gran medida a la liberación de calcio y al mantenimiento de un pH alto durante un largo período de tiempo.<sup>91</sup>

Se cree que los exámenes de bioactividad in vitro (capacidad de liberación de iones calcio, pH y capacidad de formación de apatita), son útiles para predecir su bioactividad in vivo<sup>92</sup> y presentan al clínico información que le ayuda a la toma de decisiones basada en investigación.

Los cementos a base de silicato de calcio parecen tener propiedades intrínsecas adecuadas para su uso clínico, como un buen sellado, bioactividad y buenas propiedades biológicas.<sup>91</sup>

### **Radiopacidad**

La radiopacidad es una propiedad esencial de los materiales dentales. Una adecuada radiopacidad permite distinguir los materiales de estructuras dentales y demás estructuras, lo que hace posible evaluar, por medio del examen radiográfico, distintos aspectos relacionados a las restauraciones: contorno, adaptación marginal o fracturas del material<sup>93</sup>.



La radiopacidad de los materiales dentales se define como un valor de densidad óptica. Acorde a la International Organization for Standardization (ISO), esta se expresa en un equivalente a grosor de aluminio, es decir, en milímetros de aluminio (mm de Al), debido a que 1 mm de este posee la misma radiopacidad de 1 mm de dentina<sup>93</sup> (ISO, 2009).

Es difícil determinar una norma ISO que evalúe la aplicación de cementos de silicato de calcio como materiales de recubrimiento pulpar, por lo que para su evaluación se han tomado los protocolos de diferentes normas como: ISO 6876: “Materiales de sellado de canal radicular”, que establece un mínimo de radiopacidad de 3 mm de aluminio; ISO 9917-1: “Cementos basados en agua: Cementos ácido-base polvo/líquido”, que establece una radiopacidad equivalente, al menos igual, a la que presenta el mismo grosor de aluminio y la ANSI/ADA 57 “Materiales de sellado endodóntico”, que establece que los materiales deben tener una radiopacidad no menor que 3 mm de aluminio<sup>93</sup>.

En la tabla [Tabla 10] se muestran los valores obtenidos en evaluaciones por diversos autores de la radiopacidad de materiales utilizados para tratamientos de recubrimiento pulpar.

## **Solubilidad**

La solubilidad se define como la capacidad de una sustancia o un cuerpo para disolverse al mezclarse con un líquido. La solubilidad genera alteraciones estructurales a los materiales dentales que, por lo general van acompañadas de la disminución de algunas de sus propiedades<sup>94</sup>, influyendo en la tasa de éxito del procedimiento de restauración, debido a esto, una de las propiedades ideales de los materiales de recubrimiento pulpar, es presentar baja solubilidad.<sup>95</sup>

Desafortunadamente, no existen especificaciones estándar apropiadas para la prueba de solubilidad y absorción de agua de los materiales de



recubrimiento pulpar hidrófilos que liberan hidróxido de calcio. Las pruebas sugeridas en las especificaciones disponibles son a menudo inapropiadas e inaplicables a los materiales MTA.<sup>81</sup>

Comúnmente, para evaluar la solubilidad de estos materiales, se utiliza la norma ISO 6876, sin embargo, esta se refiere a materiales de sellado del conducto radicular que se endurecen con o sin la ayuda de la humedad y se utilizan para la obturación permanente del conducto radicular, más no se refiere específicamente a los materiales de recubrimiento pulpar y no cumple su prueba con las condiciones clínicas efectivas, como el entorno en presencia de fluidos biológicos.<sup>81</sup>

Otra de las normas utilizadas para la realización de esta prueba es la ISO 4049 “Materiales de restauración a base de polímeros”, que se refiere a materiales para uso en la cementación o fijación de restauraciones y aparatos (incrustaciones, onlays, carillas, coronas y puentes), no considera materiales hidrófilos que requieren agua/humedad para fraguar y/o necesitan absorber agua para liberar iones bioactivos. Por último, la ISO 9917 “Cementos a base de agua”, que se refiere a los cementos para uso como agente de fijación, base o revestimiento o como material de restauración, sería la más ideal para la evaluación de estas pruebas, lamentablemente esta norma no incluye las especificaciones para las pruebas de solubilidad y absorción de agua. Por estas razones, ninguna norma es la ideal para la evaluación de la solubilidad, ya que a menudo los métodos para realizar la prueba son diferentes a la situación clínica y los resultados obtenidos están lejos de los resultados clínicos. En confirmación de esto, la alta solubilidad de los materiales a base de MTA no es consistente con sus excelentes resultados clínicos.<sup>81</sup>

En la tabla [Tabla 11] se muestran los valores obtenidos en evaluaciones por diversos autores de la solubilidad de materiales utilizados para tratamientos de recubrimiento pulpar. Todas las evaluaciones se hicieron bajo el protocolo de la ISO 6876, la cual tiene como parámetro que la





pérdida de masa no debe exceder el 3% después haber sumergido la muestra durante 24 horas en líquido.

### **Liberación de iones calcio**

La capacidad de los iones de calcio de difundir a través de la dentina y de los tejidos circundantes es un factor clave, debido a la acción del calcio en la diferenciación de células pulpares, cementoblastos, osteoblastos, fibroblastos periodontales, células madre mesenquimales y mineralización del tejido duro.<sup>96</sup>

Los iones calcio estimulan la expresión de proteínas asociadas a los huesos mediadas por canales de calcio, y grandes cantidades de iones calcio podrían activar el ATP, que juega un papel importante en el proceso de mineralización. Además, los iones calcio modulan específicamente los niveles de osteopontina y proteína morfogenética ósea 2 durante la calcificación pulpar, mejora la actividad de la pirofosfatasa, que ayuda a mantener la mineralización de la dentina y la formación de un puente dentinario.<sup>81</sup>

Se han evaluado y comparado la liberación de calcio de los silicatos de calcio y materiales a base de hidróxido de calcio, sin embargo, no existe una norma/protocolo para realizar estas evaluaciones, por lo que es difícil comparar directamente los resultados de la liberación de calcio con otros estudios cuando los protocolos experimentales son diferentes.<sup>81</sup>

En la tabla [Tabla 12] se muestran los valores obtenidos en diversas evaluaciones de la liberación de calcio de materiales utilizados para tratamientos de recubrimiento pulpar.

### **pH**

Los valores de pH alcalinos aceleran la nucleación de la apatita, porque se vuelven solubles los iones OH y pueden incluirse en la apatita, estimulan la liberación de fosfatasa alcalina y la proteína morfogenética



osea 2 que participan en los procesos de mineralización. La liberación de iones hidroxilo durante la reacción de hidratación crea un entorno adverso para la supervivencia y proliferación bacteriana<sup>71, 96, 81</sup>, estas propiedades antibacterianas se requieren principalmente en la interfaz dentina/restauración, donde las bacterias residuales podrían aumentar aún más el riesgo de reinfección y caries secundarias, en particular cuando se utilizan composites dentales que carecen de actividad antimicrobiana. Además, se sabe que el pH alcalino provoca una reacción inflamatoria con la formación de dentina reparadora<sup>81</sup>.

En la tabla [Tabla 13] se muestran los valores obtenidos en diversas evaluaciones del pH de materiales utilizados para tratamientos de recubrimiento pulpar.



**Tabla 10.** Comparación de resultados: evaluación de la radiopacidad (en mm de Al) de materiales utilizados en recubrimiento pulpar.

Dycal	MTA			Biodentine	TheraCal LC
	ProRoot MTA	MTA Angelus	RetroMTA		
ISO 6876 2.30 ± 0.10	ISO 6876 4.34 ± 0.64	-	-	-	ISO 6876 1.07 ± 0.06
ISO 9917:1 3.18 ± 0.17	-	-	-	ISO 9917:1 2.79 ± 0.22	ISO 9917:2 2.17 ± 0.17
-	ANSI/ADA 57 7.52 ± 0.15	-	ANSI/ADA 57 4.07 ± 0.20	-	-
-	-	ISO 6876 5.96 ± 0.7	-	-	-
-	-	-	Grech, L., Mallia, B., & Camilleri, J (2013) <sup>72</sup>	ISO 6876 4.1	-

Corral C, Negrete P, Estay J, Osorio S, Covarrubias C, de Oliveira Junior OB, Barud H (2018)<sup>85</sup>

Sousa LC, Yadlapati M, Dorn SO, Silva R, Letra A (2015)<sup>97</sup>

Bosso-Martelo R, Guerreiro-Tanomaru JM, Viapiana R, Berbert FL, Duarte MA, Tanomaru-Filho M (2016)<sup>98</sup>

**Tabla 11.** Comparación de resultados: evaluación de la solubilidad (en %) de materiales utilizados en recubrimiento pulpar.

Dycal	MTA			Biodentine	TheraCal LC
	ProRoot MTA	MTA Angelus	RetroMTA		
ISO 6876 -4.58 ± 1.11	ISO 6876 -18.34 ± 0.51	-	-	-	ISO 6876 -1.58 ± 0.35
ISO 6876 4.91 ± 0.29	ISO 6876 10.89 ± 0.48	ISO 6876 29.55 ± 2.35	-	ISO 6876 11.83 ± 0.52	ISO 6876 2.73 ± 1.04
-	ISO 6876 1.735 ± 0.32	-	ISO 6876 1.44 ± 0.20	-	-

Gandolfi MG, Siboni F, Botero T, Bossù M, Riccitiello F, Prati (2015)<sup>71</sup>

Cha Gyeong-ryeong, Kim Jae-hwan, Kim Sun-mi, Choi Nam-ki, Moon Hyun-ju, Hwang Moon-jin, Song Ho-jun, Park Young-jun (2016)<sup>99</sup>



**Tabla 12.** Comparación de resultados: evaluación de la liberación de calcio (en ppm) de materiales utilizados en recubrimiento pulpar.

Dycal	MTA		Biodentine	TheraCal LC
	ProRoot MTA	MTA Angelus		
	<b>Gandolfi MG, Siboni F, Prati C (2012)<sup>81</sup></b>			
3 hrs: 34.25 ± 9.74	3 hrs: 32.21 ± 4.52			3 hrs: 74.74 ± 9.20
1 día: 14.76 ± 5.33	1 día: 29.82 ± 3.51			1 día: 37.41 ± 4.54
3 días: 12.50 ± 1.40	3 días: 35.44 ± 2.33			3 días: 25.18 ± 6.54
7 días: 12.83 ± 4.27	7 días: 24.51 ± 3.85	-	-	7 días: 24.56 ± 1.96
14 días: 17.08 ± 0.81	14 días: 14.32 ± 2.73			14 días: 24.13 ± 1.12
28 días: 12.93 ± 3.93	28 días: 16.11 ± 2.94			28 días: 19.63 ± 3.06
	<b>Gandolfi MG, Siboni F, Botero T, Bossù M, Riccitiello F, Prati (2015)<sup>71</sup></b>			
3 hrs: 26.3 ± 6.3	3 hrs: 27.4 ± 5.4	3 hrs: 48.0 ± 7.3	3 hrs: 95.3 ± 13.0	3 hrs: 18.0 ± 2.3
1 día: 26.8 ± 8.7	1 día: 26.3 ± 12.2	1 día: 39.1 ± 14.9	1 día: 18.0 ± 5.6	1 día: 34.2 ± 2.1
3 días: 21.7 ± 11.5	3 días: 15.7 ± 3.1	3 días: 25.7 ± 9.7	3 días: 21.7 ± 9.4	3 días: 27.0 ± 4.4
7 días: 16.1 ± 5.4	7 días: 17.2 ± 6.8	7 días: 55.1 ± 7.5	7 días: 43.2 ± 2.8	7 días: 12.6 ± 1.7
14 días: 18.0 ± 2.4	14 días: 25.7 ± 7.8	14 días: 11.7 ± 7.4	14 días: 27.7 ± 8.5	14 días: 21.9 ± 5.8
28 días: 15.2 ± 5.3	28 días: 22.2 ± 4.9	28 días: 20.1 ± 3.9	28 días: 30.3 ± 5.9	28 días: 23.9 ± 1.0

**Tabla 13.** Comparación de resultados: evaluación del pH de materiales utilizados en recubrimiento pulpar.

Dycal	MTA		Biodentine	TheraCal LC
	ProRoot MTA	MTA Angelus		
	<b>Gandolfi MG, Siboni F, Prati C (2012)<sup>81</sup></b>			
3 hrs: 10.83 ± 0.44	3 hrs: 11.52 ± 0.75	-	-	3 hrs: 10.96 ± 0.03
1 día: 10.99 ± 0.51	1 día: 10.91 ± 0.13			1 día: 10.19 ± 0.24
3 días: 10.14 ± 0.28	3 días: 11.52 ± 0.41			3 días: 9.28 ± 0.41
7 días: 9.60 ± 0.38	7 días: 11.25 ± 0.82			7 días: 8.32 ± 0.06
14 días: 9.94 ± 0.16	14 días: 7.84 ± 0.13			14 días: 8.63 ± 0.15
28 días: 10.25 ± 0.49	28 días: 8.25 ± 0.24			28 días: 8.04 ± 0.18
	<b>Gandolfi MG, Siboni F, Botero T, Bossù M, Riccitiello F, Prati (2015)<sup>71</sup></b>			
3 hrs: 10.29 ± 0.48	3 hrs: 10.99 ± 0.40	3 hrs: 11.31 ± 0.22	3 hrs: 11.60 ± 0.15	3 hrs: 9.53 ± 0.15
1 día: 10.49 ± 0.41	1 día: 10.53 ± 0.59	1 día: 11.22 ± 0.11	1 día: 11.63 ± 0.51	1 día: 7.89 ± 0.02
3 días: 10.13 ± 0.28	3 días: 9.25 ± 0.30	3 días: 11.15 ± 0.72	3 días: 10.96 ± 0.72	3 días: 8.54 ± 0.29
7 días: 9.16 ± 0.60	7 días: 8.78 ± 0.20	7 días: 11.29 ± 0.65	7 días: 9.21 ± 0.50	7 días: 8.00 ± 0.26
14 días: 9.62 ± 0.46	14 días: 7.87 ± 0.29	14 días: 10.34 ± 0.59	14 días: 9.43 ± 0.28	14 días: 8.43 ± 0.22
28 días: 9.81 ± 0.61	28 días: 7.20 ± 0.12	28 días: 8.94 ± 0.73	28 días: 9.26 ± 0.66	28 días: 8.12 ± 0.07



**Tabla 13. CONTINUACIÓN.** Comparación de resultados: evaluación del pH de materiales utilizados en recubrimiento pulpar.

Dycal	MTA		Biodentine	TheraCal LC
	ProRoot MTA	MTA Angelus		
Cha Gyeong-ryeong, Kim Jae-hwan, Kim Sun-mi, Choi Nam-ki, Moon Hyun-ju, Hwang Moon-jin, Song Ho-jun, Park Young-jun (2016) <sup>99</sup>				
-	3 hrs: 12.43 ± 0.06 24 hrs: 11.41 ± 0.25	-	3 hrs: 12.69 ± 0.26 24 hrs: 11.36 ± 0.27	-
3 hrs: 10.62 24 hrs: 9.39	Poggio C, Lombardini M, Colombo M, Beltrami R, Rindi S (2015) <sup>95</sup> 3 hrs: 12.48 24 hrs: 11.56	3 hrs: 11.71 24 hrs: 10.57	-	3 hrs: 10.66 24 hrs: 9.85



## Tablas comparativas de los silicatos de calcio utilizados en recubrimiento pulpar

Obtenidas del artículo de revisión de Marta Kunert y Monika Lukomska-Szymanska, 2020 [Tablas 14 - 16]<sup>14</sup>

Tabla 14. Información general sobre agentes de recubrimiento pulpar<sup>14</sup>

Propiedad	Material			
	ProRoot MTA	MTA Angelus	RetroMTA	Biodentine
Fecha de lanzamiento	1999	2001	2014	2011
Composición	<p><b>Polvo:</b> silicato tricálcico, tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico, óxido de silicio, óxido de potasio, óxido de aluminio, óxido de sodio, óxido de hierro, óxido de calcio, óxido de bismuto, bismuto, yeso.</p>	<p><b>Polvo:</b> silicato tricálcico, silicato dicálcico, aluminato tricálcico, óxido de silicio, óxido de potasio, óxido de aluminio, óxido de sodio, óxido de hierro, óxido de calcio, óxido de bismuto, óxido de magnesio, residuos insolubles de sílice cristalina.</p>	<p><b>Polvo:</b> carbonato de calcio, dióxido de silicio, óxido de aluminio, complejo de circonio cálcico.</p>	<p><b>Polvo:</b> silicato tricálcico, silicato dicálcico, óxido de calcio, calcio carbonato, óxido de circonio, óxido de hierro.</p>
	<p><b>Líquido:</b> agua.</p>	<p><b>Líquido:</b> agua.</p>	<p><b>Líquido:</b> agua.</p>	<p><b>Líquido:</b> cloruro de calcio, polímero soluble en agua, agua.</p>
Color	Blanco	Blanco	Blanco	Blanco
Mezclado	Bolsas de 0,5 g de polvo + dosis unitaria de agua previamente medida (mezclada manualmente)	Polvo + líquido (mezclado manualmente)	Bolsas de 0,3 g de polvo + 3 gotas de agua (mezclado manualmente)	Cápsula de 0,7 g de polvo + 5 gotas de líquido (30 s; 4000–4200 rpm)
Reacción de fraguado	Reacción de hidratación			
	MTA + agua → hidróxido de calcio + silicato de calcio hidratado			Silicato tricálcico + agua → gel de silicato de calcio hidratado + hidróxido de calcio
				Fotopolimerizar (20 s)



**Ta** **Tabla 15.** Comparación de las propiedades clave de los materiales bioinductivos utilizados en el tratamiento pulpar vital (VPT): manipulación y rendimiento clínicos.<sup>14</sup>

Propiedad	Material				
	MTA		RetroMTA	Biodentine	TheraCal LC
	ProRoot MTA	MTA Angelus			
<b>Decoloración de la estructura del diente</b>	+	+	+	-	-
<b>Tiempo de fraguado final (min)</b> (cifras obtenidas de diferentes estudios)	261 ± 21 228.33 ± 2.88	24.0 48.3 ± 4 83.66 ± 17.61	12.66 ± 3.05	45.0 85.66 ± 6.03	Inmediata
<b>Tratamiento de una sola cita</b>	-	-	-	+	+
<b>Facilidad de manejo</b>	+	+	+	++	+++
<b>Consistencia</b>	Granular, imprecisión inicial				
<b>Citotoxicidad</b>	NA	NA	NA	NA	Fluido
<b>Fuerza de unión a la dentina (MPa)</b> (cifras obtenidas de diferentes estudios)	Después de 24 h	NA	NA	NA	En observación
	Después de 7 días	0	NA	1.15 ± 0.32	0.44 ± 0.20 0.09 ± 0.20
	Después de 14 días	0.85 ± 1.42 4.96 ± 4.54	NA	NA	9.75 ± 2.19 9.34 ± 1.01
<b>Tasa de éxito clínico en VPT (%)</b>	80–97 (seguimiento de 9–10 años)				

NA: no disponible



**Tabla 16. Comparación de las propiedades interfaciales de materiales bioactivos.<sup>14</sup>**

Propiedad	Material				
	MTA			Biodentine	TheraCal LC
	ProRoot MTA	MTA Angelus	RetroMTA		
<b>Sellado marginal a dentina</b>	Adhesión química y / o micromecánica. Penetración en túbulos dentinarios.				SBS bajo debido a la contracción de polimerización. Mala adherencia química o micromecánica.
<b>Tratamiento pulpa / dentina</b>	Enjuague con NaOCl al 2.6-5.0%	-	-	Hemostasis	Hemostasis
<b>Características de la respuesta pulpar</b>	Reacción no inflamatoria	Reacción no inflamatoria			Inflamación crónica leve
	Aumento de TGF-β1	Aumento de TGF-β1			Tóxico para los fibroblastos pulpares
	No tóxico para las células pulpares	No tóxico para las células pulpares			Capa odontoblastica menos favorable
<b>Características de la calidad de barrera de tejido duro</b>	Formación de capa odontoblastica favorable	Odontoblastos bien organizados			formación de capas
	Regular Homogéneo	Formación completa del puente de dentina			Barrera calcificada de baja calidad
	Carece de las características de la dentina natural	Regular			Formación de puentes de dentina inferior
<b>Tratamiento superficial antes de la colocación del composite</b>	Recomendado por el fabricante	37% H3PO4 (15 s) DBA	-	DBA	DBA
	Recomendado por investigación	HF 9% (90 s), silano	E&R DBA (después de 72 h) 50 µm Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (15 s, 7 mm de distancia)	2-SE DBA	E&R DBA (mayor SBS)
<b>Periodo de maduración</b>	≥7 días 1 año		72 hrs >2 semanas	-	-

NA: no disponible / E & R: grabar y enjuagar / 2 - SE: autograbado en dos pasos / DBA: agente adhesivo de dentina / SBS: Resistencia de unión al cizallamiento / HF: ácido fluorhídrico / Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>: óxido de aluminio





## Evidencia clínica

### Estudio 1. *Katge FA, Patil DP (2017)*<sup>7</sup>

En este estudio se seleccionaron 29 pacientes de 7 a 9 años de edad con afectación bilateral de los primeros molares permanentes en arco maxilar o mandibular. De acuerdo con el diseño de la boca dividida, estos pacientes se dividieron en 2 grupos, el grupo Biodentine (lado derecho) y el grupo MTA (lado izquierdo).

Todos los primeros molares permanentes se evaluaron clínica y radiográficamente.

Los criterios de inclusión fueron diagnóstico de pulpa vital, exposición pulpar inadvertida durante la excavación de caries menor a 1 mm y sangrado controlado bajo presión en el sitio. Radiográficamente, el criterio de inclusión fue la radiolucidez que involucra el esmalte, la dentina y el acercamiento a la pulpa y ausencia de lesión periapical.

Un solo operador realizó todos los procedimientos de recubrimiento pulpar directo en una sola sesión.

#### *Procedimiento clínico*

Después de la eliminación de la dentina cariada y la exposición pulpar, se realizó la hemostasia aplicando presión con una bolita de algodón humedecida con solución salina. Si el sangrado persistía, se controlaba con una bolita de algodón empapada en hipoclorito de sodio al 3% [Figura 36].

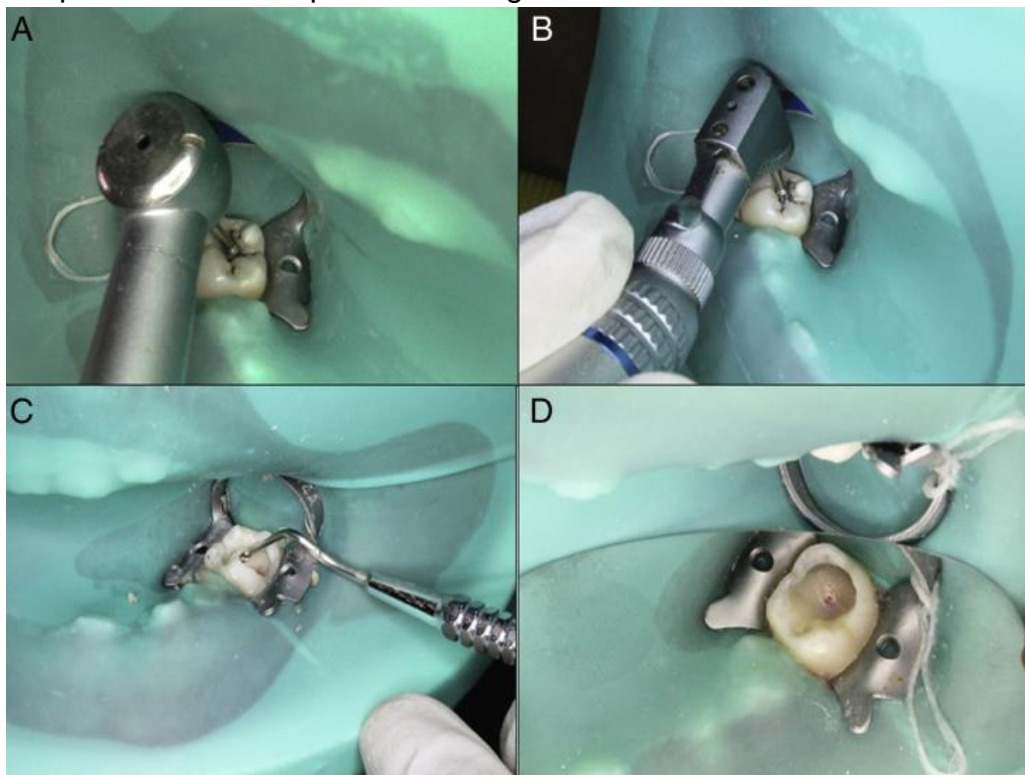
En este estudio, se utilizó Biodentine y Grey MTA (Angelus Industria de Productos Odontológicos S/A, Londrina, Brasil) y se manipularon según las instrucciones del fabricante:

- Biodentine se aplicó en el sitio de exposición pulpar y posteriormente se llenó toda la cavidad con el mismo material. Después de 3 meses, Biodentine se eliminó parcialmente, dejando

intacta una capa de 1 mm. Luego, la restauración permanente se realizó utilizando material de restauración de resina compuesta.

- En el grupo MTA, sólo se colocó una capa de MTA en la exposición pulpar y esta se cubrió con una restauración de ionómero de vidrio modificado con resina. Después de 3 meses, la restauración permanente se realizó utilizando material de restauración de resina compuesta.

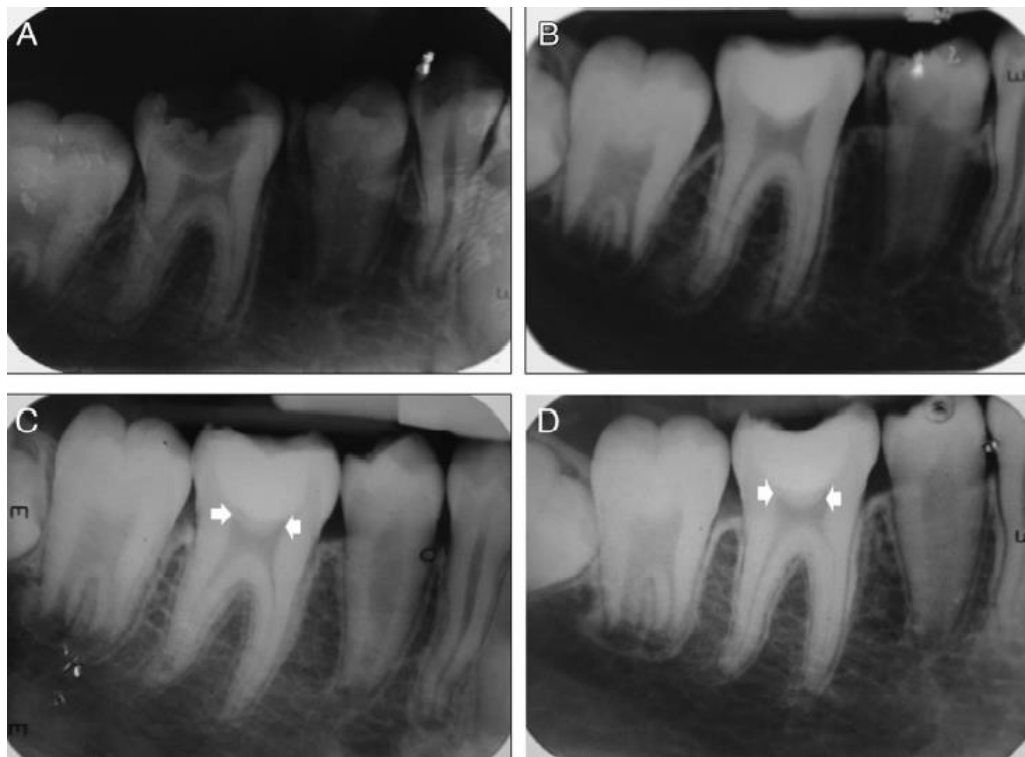
Se realizaron seguimientos clínicos y radiográficos de ambos grupos al inicio del estudio y a los 6 y 12 meses. El tratamiento se consideró exitoso cuando el diente permaneció asintomático y vital con una respuesta estándar a la prueba eléctrica de vitalidad pulpar y cuando había un puente dentinario sobre la lesión con ausencia de radiolucidez periapical y sin ensanchamiento del espacio del ligamento periodontal, calcificación y reabsorción interna y/o externa. Durante la fase de seguimiento del estudio, se excluyeron 8 pacientes (16 molares) debido a la falta de cooperación hacia el período de seguimiento.



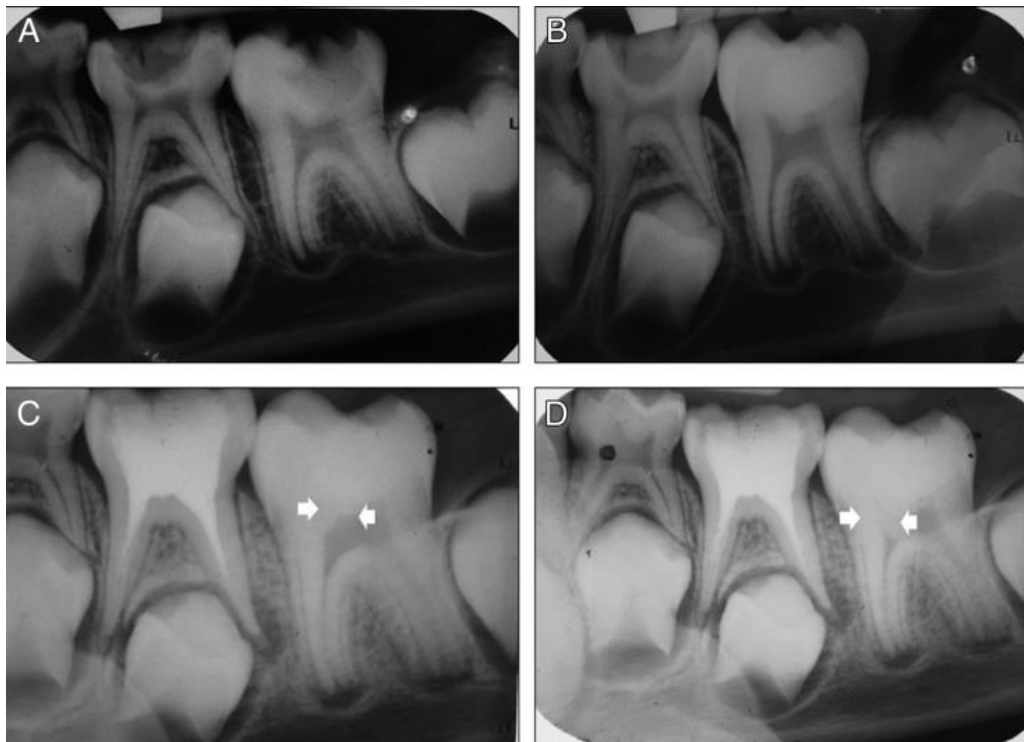
**Fig 36. TOMADA DEL ESTUDIO.** (A) Excavación de caries con fresa de diamante. (B) excavación de caries con fresa de carburo. (C) Excavación de caries con excavadora manual. (D) Punto de sangrado (exposición precisa).<sup>7</sup>

### Resultados

Este estudio informó una tasa de éxito del 100% tanto con MTA como con Biodentine. Después de un período de seguimiento de 12 meses, el 95,24% de los dientes del grupo Biodentine (20 de 21) y el 85,71% de los dientes del grupo MTA (18 de 21) mostraron formación de puentes de dentina [Figuras 37, 38].



**Fig 37. TOMADA DEL ESTUDIO.** Grupo Biodentine. Las flechas indican la formación de puentes de dentina. (A) Radiografía periapical intraoral preoperatoria. (B) Radiografía periapical intraoral basal. (C) Radiografía periapical intraoral de seguimiento de 6 meses. (D) Radiografía periapical intraoral de seguimiento de 12 meses.<sup>7</sup>



**Fig 38. TOMADA DEL ESTUDIO.** Grupo MTA. Las flechas indican la formación de puentes de dentina. (A) Radiografía periapical intraoral preoperatoria. (B) Radiografía periapical intraoral basal. (C) Radiografía periapical intraoral de seguimiento de 6 meses. (D) Radiografía periapical intraoral de seguimiento de 12 meses.<sup>7</sup>

## **Estudio 2. Linu S, Lekshmi MS, Varunkumar VS, Joseph VS (2017)<sup>48</sup>**

El Departamento de Odontología Conservadora y Endodoncia, Government Dental College, Thiruvananthapuram, analizó la evolución de 30 casos de recubrimiento pulpar tratados con MTA y Biodentine (15 de cada uno). Se analizaron las tasas de éxito (basadas en síntomas, pruebas de sensibilidad y análisis radiográfico) y eventos adversos.

Los criterios de inclusión fueron los siguientes: pacientes en el grupo de edad de 15 a 30 años, caries en dientes permanentes maduros y/o sensibilidad a alimentos fríos, sin antecedentes de dolor nocturno o espontáneo, molares mandibulares con caries restringida a la superficie oclusal, pruebas de sensibilidad pulpar positivas, examen radiográfico



con caries profunda acercándose a la pulpa, sin signos de patología periapical y pacientes sistémicamente sanos.

### *Procedimiento clínico*

Después de la remoción de caries y exposición pulpar, se controló la hemorragia usando una bolita de algodón empapada con hipoclorito de sodio al 5% durante 10 minutos. Posteriormente se realizó el recubrimiento pulpar con MTA (ProRoot MTA; Maillfer, Dentsply, Suiza) o Biodentine (Septodont, Saint-Maur-des-Fosses, Francia). Los materiales se mezclaron de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

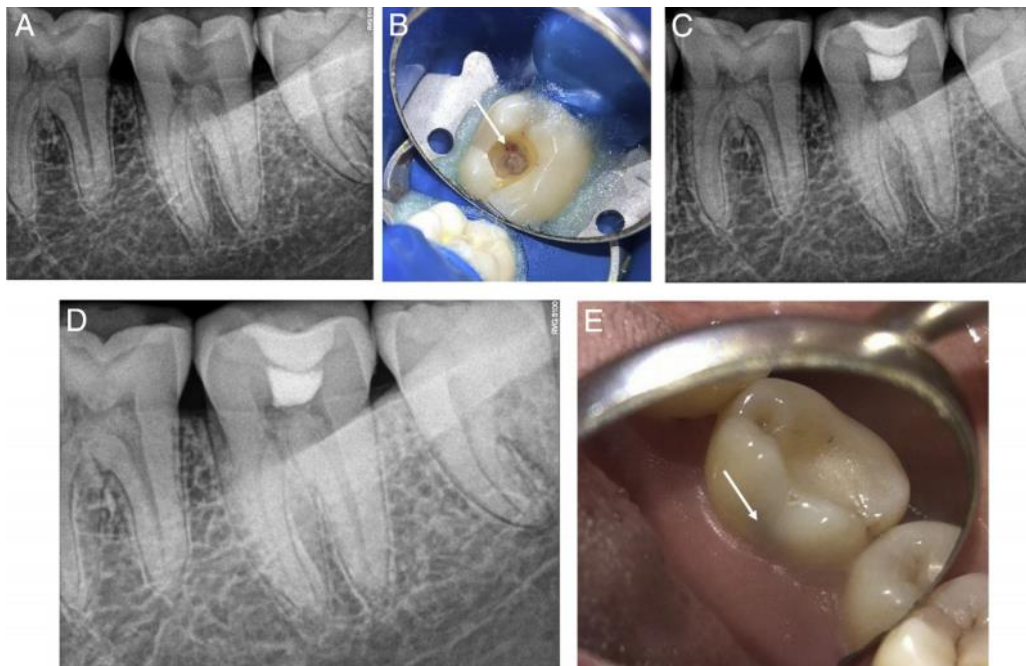
- En los casos tratados con MTA, el material se colocó sobre el sitio de exposición y la dentina circundante en una capa de 1,5 a 3,0 mm de espesor. Luego, se colocó sobre el MTA ionómero de vidrio modificado con resina, una semana después se realizó la restauración final con composite adherido con resina.
- En los casos tratados con Biodentine, la cavidad se llenó con el material. 2 semanas después, el Biodentine se redujo a un nivel de base y los dientes se restauraron permanentemente con composite adherido con resina.

Los pacientes fueron revisados a los 1, 3, 6, 12 y 18 meses después del tratamiento. Los dientes que permanecieron asintomáticos (sin ningún tipo de dolor) con respuesta positiva a las pruebas de sensibilidad y/o evidencia radiográfica de formación de puentes de tejido duro y sin signos radiográficos de patología periapical se consideraron exitosos. De los 30 pacientes, 4 casos se perdieron durante el seguimiento: 2 de cada uno de los grupos MTA y Biodentine.

### *Resultados*

El grupo MTA mostró una tasa de éxito del 84,6% (11/13) y el grupo Biodentine una tasa del 92,3% (12/13). La tasa de éxito global fue del

88,5% (23/26). Tres casos (1 del grupo Biodentine y 2 del grupo MTA) resultaron en fracaso. Se observaron resultados análogos en el caso de formación de puentes de dentina (69,2% vs 61,5%) y calcificación de la cámara pulpar en dientes tratados con MTA y Biodentine, mientras que se observó decoloración coronal significativa en dientes con MTA (69,2%). No se observaron diferencias estadísticamente significativas en las tasas de éxito entre los diferentes grupos de edad [Figuras 39, 40].



**Fig 39. TOMADA DEL ESTUDIO.** Caso representativo del grupo MTA. (A) Radiografía preoperatoria que muestra caries profunda. (B) Exposición de la pulpa (flecha) después de la eliminación de la caries. (C) Radiografía postoperatoria inmediata. (D) Radiografía de revisión de un año. (E) Decoloración de la corona (flecha) en la revisión de 1 año.<sup>48</sup>



**Fig. 40. TOMADA DEL ESTUDIO.** Caso representativo del grupo Biodentine. (A) Radiografía preoperatoria que muestra caries profunda. (B) Exposición de la pulpa (flecha) después de la eliminación de la caries. (C) Radiografía después de colocar Biodentine. (D) Formación de puente de dentina y calcificación de la cámara pulpar (flechas) en la radiografía de revisión de 1 año.<sup>48</sup>

### **Estudio 3. Bogen G, Kim JS, Bakland LK (2008)<sup>100</sup>**

El autor principal seleccionó 53 dientes para el tratamiento de recubrimiento pulpar directo. Las edades de los pacientes comprendían edades entre los 7 y los 45 años. Todos los dientes no presentaban ninguna restauración previa y las radiografías mostraron evidencia de caries profunda en las proximidades de la cámara pulpar sin evidencia de ligamento periodontal ensanchado, radiolucencias en furca, reabsorción interna o patología perirradicular. Clínicamente, todos los dientes tenían movilidad y sondaje periodontal dentro del rango normal sin evidencia de tractos sinusales o hinchazón. Ningún diente tratado en este estudio presentó dolor a la percusión.



No se usaron grupos de control ya que el objetivo del estudio era monitorear el tiempo de supervivencia pulpar mediante un protocolo específico, se planeó medir los resultados con los períodos de supervivencia de estudios previos que usaron hidróxido de calcio.

### *Procedimiento clínico*

Un mismo operador realizó todos los recubrimientos pulpares directos. Después de la eliminación total de caries usando asilamiento absoluto, detector de caries, aumento y fresas de diamante o carburo de alta velocidad, el operador utilizó NaOCl al 5,25% ó al 6% como solución directa o en una bolita de algodón empapada para lograr la hemostasia. Se estableció el control de la hemorragia en 1 a 10 minutos en todos los casos. Después de que el operador logró la hemostasia, roció el sitio de exposición y la dentina con agua de una jeringa de dos vías y luego secó con aire. Se mezcló MTA gris o MTA blanco de acuerdo con las instrucciones del fabricante (ProRoot MTA, Dentsply Tulsa Dental, Tulsa, Oklahoma) y se colocó una capa de cemento de 1,5 a 3,0 milímetros de espesor directamente sobre el sitio de exposición y los alrededores, dejando de 1 a 2 mm de dentina y esmalte para la futura restauración adherida. Se colocó recubrimiento pulpar directo en 49 dientes con MTA gris y 4 con MTA blanco. Después de colocar el MTA, se colocó una torunda de algodón humedecido con agua directamente sobre el material y se restauró provisionalmente el diente con Clearfil Photocore no adherido. Luego, un plazo de 5 a 10 días, los pacientes regresaron con el operador principal o al consultorio del dentista general que los remitió para la colocación de la restauración final. Dos pacientes optaron por no regresar para continuar el tratamiento. Todos los pacientes del estudio estaban asintomáticos y tenían una respuesta normal a la prueba en frío antes de la colocación de la restauración final. Por último, el operador





colocó las restauraciones de Clase I o II utilizando un composite de 5a generación.

Se hicieron evaluaciones a las 6 semanas, 6 meses y, a partir de entonces, anualmente. Estas consistieron en obtener autoinformes de los pacientes, tomar radiografías periapicales y realizar puebas pulpares con un estímulo frío. Se evaluaron las radiografías en busca de formación de dentina reparadora, calcificación pulpar, desarrollo normal continuo de la raíz y ausencia de patologías. También se evaluó la integridad marginal de las restauraciones finales.

3 pacientes no regresaron a las evaluaciones por lo que solo se observaron 49 de 53 dientes en un tiempo de entre 1 y 9 años. Todos los dientes de este estudio sufrieron de 1 a 4 exposiciones directas, que variaron de aproximadamente 0,25 a no más de 2,50 mm de diámetro. El endodoncista principal restauró el 88% de los recubrimientos pulpares, mientras que los dentistas generales remitentes restauraron el 12%.

### *Resultados*

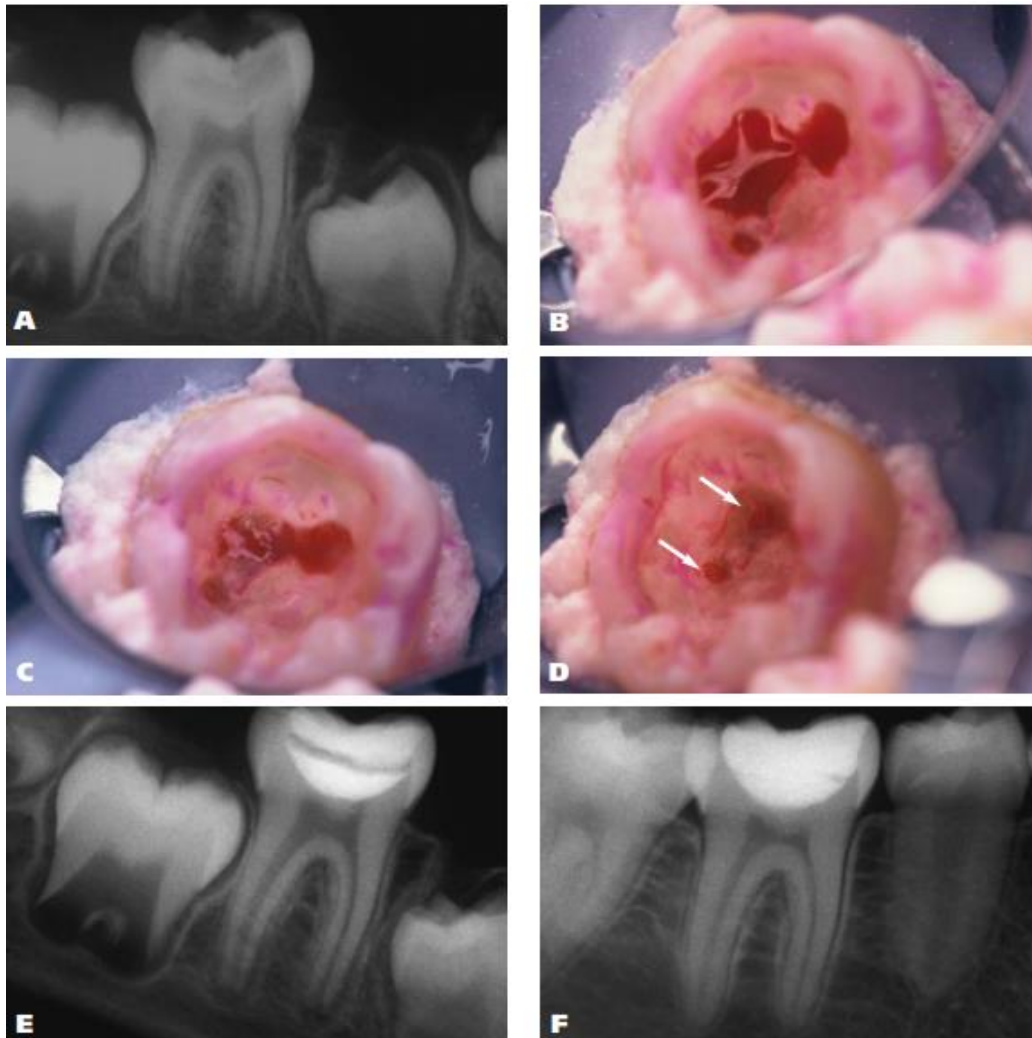
La supervivencia pulpar general (según lo establecido por radiografías tomadas en citas de revisión, sintomatología subjetiva y pruebas de frío) fue del 97,96%.

La evaluación radiográfica de los dientes que tenían ápices abiertos mostró que el 100 % (15/15) había progresado hasta completar la formación de la raíz y el cierre del ápice. Se observó evidencia radiográfica de formación de puentes de dentina en el 82% de los casos (40/49). También hubo calcificaciones o formación de cálculos pulpares en el 10,2% (5/49) de los dientes evaluados. El ancho del conducto radicular y el volumen pulpar se mantuvieron aproximadamente iguales en el 89,8% (44/49) de los casos. Las restauraciones de Clase I no presentaron fallas restaurativas, mientras que 3 restauraciones de Clase

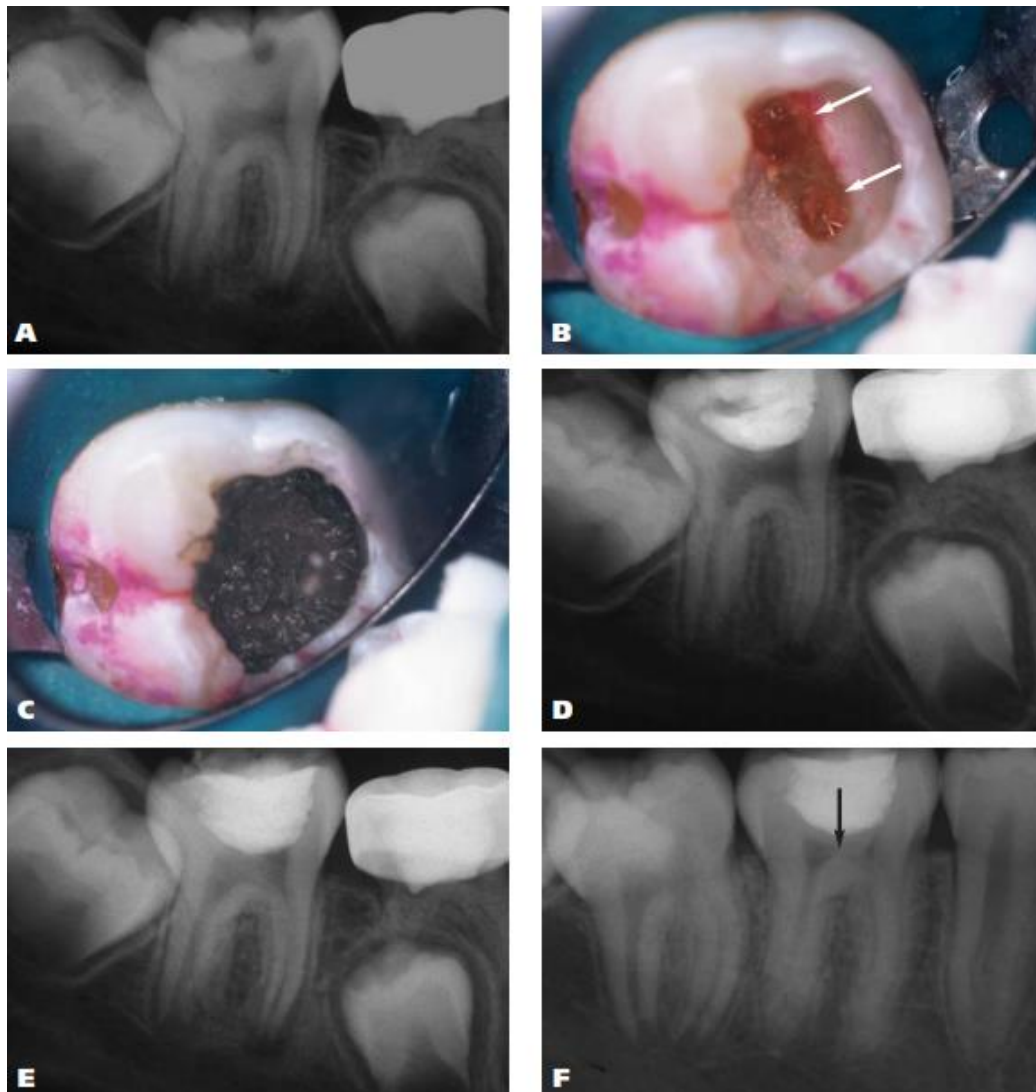


II que desarrollaron fracturas de reborde marginal requirieron reparación después de 5 o 6 años de funcionamiento.

Todos los dientes continuaron teniendo respuestas normales a la prueba en frío hasta el examen de seguimiento de 9 años sin evidencia radiográfica de patología y no encontramos diferencias en los resultados a corto plazo entre el MTA gris y el blanco. Dado que nuestro estudio no contó con un grupo de control, los resultados proporcionan, dentro de las limitaciones del estudio, un nivel relativamente bajo de evidencia científica [Figuras 41 - 43].



**Fig 41. TOMADA DEL ESTUDIO.** Secuencia radiográfica y clínica del recubrimiento pulpar directo con agregado de trióxido mineral (MTA) de un molar derecho mandibular en una paciente femenina de 9 años. (A) Radiografía previa al tratamiento que muestra caries profunda inicial y ápices inmaduros. (B, C, D) Cinco minutos de hemostasia con hipoclorito de sodio al 5,25%, en dos exposiciones de 1,5 a 2,0 milímetros (flechas). (E) Radiografía del molar con MTA, bolita de algodón humedecida en agua y restauración provisional Clearfil Photocore (Kuraray Medical, Okayama, Japón) no adherida después de la visita inicial. (F) Radiografía tomada en la cita de revisión de 5.5 años que muestra restauración permanente y evidencia de formación completa de la raíz. El diente mostró una respuesta normal a la prueba en frío.<sup>100</sup>



**Fig. 42. TOMADA DEL ESTUDIO.** Secuencia de tratamiento de molar sintomático en un niño de 7 años. A) Radiografía previa al tratamiento que muestra ápices abiertos y caries profunda. B) Flechas que muestran dos grandes exposiciones pulpaes de 2,0 a 2,5 milímetros después de la excavación de caries y hemostasia. C) Agregado de trióxido mineral gris colocado sobre todo el techo pulpar. D) Radiografía tras provisionalización. E) Molar después de la colocación de la restauración permanente. F) Radiografía tomada en la cita de revisión de los cuatro años y nueve meses que muestra la formación de un puente reparador extenso (flecha). La prueba de estímulo frío reveló una respuesta pulpar normal.<sup>100</sup>



**Fig 43. TOMADA DEL ESTUDIO.** Tratamiento de un molar con caries profunda de la pared axial en una mujer de 29 años que presenta una respuesta pulpar normal a la prueba de frío. (A) Radiografía que muestra caries profunda sin evidencia de patosis perirradicular o de furca. (B) Dos exposiciones de 1,0 a 1,5 milímetros al eje distal axial pared después de la excavación utilizando un detector de caries y hemostasia con hipoclorito de sodio al 5,25 por ciento (flechas). (C) Radiografía postratamiento que muestra la restauración provisional con agregado de trióxido mineral que se extiende hacia la cámara pulpar. (D) Radiografía tomada en la cita de revisión a los siete años y 10 meses que muestra el ligamento periodontal normal y las estructuras anatómicas sin evidencia visual de formación de puentes de dentina. El molar respondió dentro de los límites normales a las pruebas en frío.<sup>100</sup>

### Tasas de éxito en otros estudios

El Dr. Juan Goncalves, elaboró una tabla [Tabla 13] dónde se muestran las tasas de éxito en tratamientos de recubrimiento pulpar de estudios realizados por diversos autores, sin embargo, no todos cumplen con el protocolo clínico actualmente recomendado, como es el uso de aislamiento absoluto y aumento visual, lo cual no nos proporcionan datos de total fiabilidad.



**Tabla 13. Tasas de éxito en tratamientos de recubrimiento pulpar. Elaborada por el Dr. Juan Goncalves.**

Autor	Edades de los pacientes	# de dientes estudiados	Procedimiento	Materiales utilizados	Aislamiento absoluto	Magnificación	Seguimiento	Resultados
Mente y col., 2014 <sup>101</sup>	7 - 78	229	Recubrimiento directo	MTA Ca(OH) <sub>2</sub>	Si	No	24 - 123 meses	MTA 95,0% Ca(OH) <sub>2</sub> 59%
Marques y col., 2015 <sup>25</sup>	36.1 ± 15	64	Recubrimiento directo	MTA	Si	Si	24 - 123 meses	91,3%
Caliskan y col., 2017 <sup>102</sup>	14 - 55	152	Recubrimiento directo	Ca(OH) <sub>2</sub> MTA	Si	No	2 - 6 años	2 años: MTA 93% / Ca(OH) <sub>2</sub> 90% 6 años: MTA 71% / Ca(OH) <sub>2</sub> 59%
Kundzina y col., 2017 <sup>26</sup>	18 - 55	70	Recubrimiento directo	Dycal MTA	Si	No	36 meses	Dycal 52% MTA 85%
Brizuela y col., 2017 <sup>103</sup>	7 - 16	169	Recubrimiento directo	Ca(OH) <sub>2</sub> MTA Biodentine	Si	Si	1 año	Ca(OH) <sub>2</sub> 86% MTA 86% Biodentine 100%
Lipske y col., 2018 <sup>104</sup>	11 - 79	86	Recubrimiento directo	Biodentine	Si	No	1,5 años	82,6%
Suhag y col., 2019 <sup>105</sup>	15 - 40	64	Recubrimiento directo	Ca(OH) <sub>2</sub> MTA	Si	No	12 meses	Ca(OH) <sub>2</sub> 69% MTA 93%
Harms y col., 2019 <sup>106</sup>	10 - 88	245	Recubrimiento/pulpotomía	Biodentine	Si	No	2.3 años	89,3%
Barthel y col., 2000 <sup>107</sup>	10-70	64	Recubrimiento directo	Ca(OH) <sub>2</sub>	No siempre	Si	5 y 10 años	37% y 13%
Miles y col., 2010 <sup>108</sup>	>18	51	Recubrimiento directo	MTA	No	No	12 - 27 meses	56%



## CONCLUSIONES

Muchas veces los clínicos inician la terapia endodóntica sin realizar pruebas pulpares adecuadas. Cuando las pruebas de sensibilidad, las evaluaciones radiográficas y los autoinformes del paciente indiquen una pulpa normal o un diagnóstico no más grave que la pulpitis reversible, el odontólogo debe considerar la terapia pulpar vital como una alternativa viable al tratamiento endodóntico convencional.

Además de un correcto diagnóstico, otra de las claves para producir buenos resultados de tratamiento, es la selección del material de protección pulpar. Los materiales basados en hidróxido de calcio han sido el punto de referencia de los materiales de recubrimiento pulpar. Uno de los principales inconvenientes de estos materiales, es la alta solubilidad y disolución con el tiempo en los fluidos tisulares. Esto conduce a la desaparición del material dejando de proporcionar un sellado permanente contra la invasión bacteriana, razón por la que se ha visto en la necesidad de seguir creando nuevos materiales como los cementos bioactivos a base de silicatos del calcio.

Los presentes hallazgos confirman que los cementos a base de silicatos de calcio son materiales confiables en cuanto a inducir la formación de puentes de dentina cuando se mantiene una pulpa vital, ya que estos liberan iones de calcio durante mucho tiempo después del fraguado y son la única familia de materiales que garantiza una liberación continua en contacto con la dentina húmeda y el hueso.

No obstante, se necesitan más estudios clínicos a largo plazo para una evaluación definitiva, principalmente, de la nueva generación de silicatos de calcio modificados con resina para el uso en recubrimiento pulpar.



Además de la escasez de estudios aleatorizados bien controlados, la toma de decisiones en esta área también se ve obstaculizada actualmente por las técnicas de diagnóstico crudas disponibles para evaluar con precisión el estado de la pulpa.

Desde una perspectiva científica, una mayor comprensión de los procesos de inflamación, reparación e interacción del material es importante para profundizar la comprensión y desarrollar nuevas soluciones diagnósticas y terapéuticas. Por lo tanto, estos materiales deberían constituir el objeto de estudios futuros.

A pesar de ello, las propiedades superiores de manejo (a excepción del MTA), la calidad de la unión con la restauración de recubrimiento final, la posibilidad de la colocación inmediata de la restauración, la alta biocompatibilidad, la excelente bioactividad y biointeractividad que presentan estos materiales, pueden resultar en tratamientos más predecibles a comparación de los materiales tradicionales, como el hidróxido de calcio.

No se puede afirmar que todos los clínicos obtendrán resultados de éxito similares. Sin embargo, una cuidadosa atención a los criterios de diagnóstico y los procedimientos de tratamiento debería dar como consecuencia muchos resultados exitosos.





## R EFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Bjørndal L, Simon S, Tomson PL, Duncan HF. Management of deep caries and the exposed pulp. *Int Endod J.* 2019; 52(7):949-73.
2. Duncan HF, Galler KM, Tomson PL, Simon S, El-Karim I, Kundzina R, Krastl G, Dammaschke T, Fransson H, Markqvist M. European Society of Endodontology position statement: Management of deep caries and the exposed pulp. *Int Endod J.* 2019; 52(7):923-34.
3. Ricucci D, Loghin S, Siqueira Jr JF. Correlation between clinical and histologic pulp diagnoses. *J Endod.* 2014; 40(12):1932-9.
4. Hargreaves K, Cohen S, Berman L. Cohen, Vías de la pulpa. Amsterdam: Elsevier; 2011
5. IntraMed [Internet]. Odontología Clínica: Diagnóstico pulpar. Disponible en: <https://www.intramed.net/contenidover.asp?contenidoid=59538>
6. Marroquín TY, García CC. Guidelines for clinical diagnosis of pulp and periapical pathologies. Adapted and updated from the " consensus conference recommended diagnostic terminology" published by the american association of endodontists (2009). *Rev Fac Odontol Univ Antioq.* 2015; 26(2):398-424.
7. Katge FA, Patil DP. Comparative analysis of 2 calcium silicate–based cements (Biodentine and Mineral Trioxide Aggregate) as direct pulp-capping agent in young permanent molars: a split mouth study. *J Endod.* 2017; 43(4):507-13.
8. Ricucci D, Siqueira Jr JF, Li Y, Tay FR. Vital pulp therapy: histopathology and histobacteriology-based guidelines to treat teeth with deep caries and pulp exposure. *J Dent.* 2019; 86:41-52.
9. de Jesús Cedillo J, Cedillo JE. Protocolo clínico actual para restauraciones profundas. *Revi ADM.* 2013; 70(5).
10. Golubchin Libeskin D. Acciones Terapéuticas Actuales en Caries Profunda. Revisión. *Odontoestomatología.* 2017; 19(29):4-17.
11. Pereira JC, Barata TD, Costa LC, de Carvalho CA, Fagundes TC, de Mattos MC, Calabria MP, Novoa MH. Recubrimiento pulpar directo e indirecto: mantenimiento de la vitalidad pulpar. *Acta Odontol Venez.* 2011; 49(1):29-30.
12. Segura-Egea JJ, Rubio-Manzanares AJ. Bases moleculares y celulares de la dentinogénesis terciaria reactiva y reparativa. *Archivos de odontoestomatología.* 1999; 15(9):381-90.
13. Goldberg M, Smith AJ. Cells and extracellular matrices of dentin and pulp: a biological basis for repair and tissue engineering. *Crit Rev Oral Biol Med.* 2004; 15(1):13-27.
14. Kunert M, Lukomska-Szymanska M. Bio-Inductive Materials in Direct and Indirect Pulp Capping—A Review Article. *Materials.* 2020; 13(5):1204.
15. Kidd EA. Clinical threshold for carious tissue removal. *Dent Clin North Am.* 2010; 54(3):541-9.
16. Castellanos L, Martín J, Calvo C, López FJ, Velasco E, Llamas JM, Segura JJ. Endodoncia preventiva: Protección pulpar mediante la técnica de eliminación de la caries en etapas (stepwise excavation). *Av Odontoestomatol.* 2011; 27(5):245-52



17. Camejo Suarez MV. Respuesta Pulpar ante el recubrimiento Pulpar Directo: Revisión de la literatura. *Acta Odontol Venez.* 1999; 37(3):205-15.
18. Nair PN, Duncan HF, Pitt Ford TR, Luder HU. Histological, ultrastructural and quantitative investigations on the response of healthy human pulps to experimental capping with mineral trioxide aggregate: a randomized controlled trial. *Int Endod J.* 2008; 41(2):128-50.
19. Da Rosa WL, Piva E, da Silva AF. Disclosing the physiology of pulp tissue for vital pulp therapy. *Int Endod J.* 2018; 51(8):829-46.
20. rigobertogarciaendodoncia. 2020, Ene 28. BIODENTINE. [Instagram]. Disponible en: <https://www.instagram.com/p/BtMoiJCA52r/>
21. Maltz M, Garcia R, Jardim JJ, De Paula LM, Yamaguti PM, Moura MS, Garcia F, Nascimento C, Oliveira A, Mestrinho HD. Randomized trial of partial vs. stepwise caries removal: 3-year follow-up. *J Dent Res.* 2012; 91(11):1026-31.
22. Bjørndal L, Fransson H, Bruun G, Markvart M, Kjældgaard M, Näsman P, Hedenbjörk-Lager A, Dige I, Thordrup M. Randomized clinical trials on deep carious lesions: 5-year follow-up. *J Dent Res.* 2017; 96(7):747-53.
23. Raedel M, Hartmann A, Bohm S, Konstantinidis I, Priess HW, Walter MH. Outcomes of direct pulp capping: interrogating an insurance database. *Int Endod J.* 2016; 49(11):1040-7.
24. Hilton TJ, Ferracane JL, Mancl L, Northwest Practice-based Research Collaborative in Evidence-based Dentistry (NWP). Comparison of CaOH with MTA for direct pulp capping: a PBRN randomized clinical trial. *J Dent Res.* 2013; 92(7\_suppl):S16-22.
25. Marques MS, Wesselink PR, Shemesh H. Outcome of direct pulp capping with mineral trioxide aggregate: a prospective study. *J Endod.* 2015; 41(7):1026-31.
26. Kundzina R, Stangvaltaite L, Eriksen HM, Kerosuo E. Capping carious exposures in adults: a randomized controlled trial investigating mineral trioxide aggregate versus calcium hydroxide. *Int Endod J.* 2017; 50(10):924-32.
27. Barceló Santana F, Palma Calero J. *Materiales dentales.* 3ª ed. México: Editorial Trillas; 2008
28. Poggio C, Ceci M, Beltrami R, Dagna A, Colombo M, Chiesa M. Biocompatibility of a new pulp capping cement. *Ann Stomatol (Roma).* 2014; 5(2):69.
29. An S, Gao Y, Ling J, Wei X, Xiao Y. Calcium ions promote osteogenic differentiation and mineralization of human dental pulp cells: implications for pulp capping materials. *J Mater. Sci: Materials in Medicine.* 2012; 23(3):789-95.
30. Palma A, Sánchez F. *Técnicas de ayuda odontológica y estomatológica.* 1ª ed. Madrid, España: Paraninfo; 2007.
31. Benítez SR. Importancia del hidróxido de calcio como medicamento intraconducto en Endodoncia. A propósito de un caso clínico. *Gaceta dental: Industria y profesiones.* 2005; (160):44-52.
32. Dental Doktor [Internet] DYCAL BASE Y CATALIZADOR. Disponible en: <https://dentaldoktor.com/products/dycal-base-y-catalizador>
33. Ebay [Internet] Nuevo conjunto Kerr regular hidróxido de vida cavidad del trazador de líneas indirecta Pulpa-Material de nivelación. Disponible en:



<https://www.ebay.com/itm/New-Kerr-Regular-Set-Life-Hydroxide-Cavity-Liner-Dental-Supplies-/282915394148>

34. Dental cost [Internet] Calcimol LC Hidróxido de Calcio 2x2 ml. Disponible en: <https://www.dentalcost.es/hidroxido-calcio/2175-calcimol-lc-hidroxido-de-calcio-2x2ml-voco.html>
35. Chen L, Suh BI. Cytotoxicity and biocompatibility of resin-free and resin-modified direct pulp capping materials: A state-of-the-art review. *Dent Mater J*. 2017 J; 36(1):1-7.
36. 3M: Ciencia aplicada a la vida [Internet] 3M™ Ketac™ Molar Easymix Ionómero de Vidrio, kit de tratamiento restaurativo 56633. Disponible en: [https://www.3m.com.mx/3M/es\\_MX/inicio/todos-los-productos-3m/~3M-Ketac-Molar-Easymix-Ionómero-de-Vidrio-kit-de-tratamiento-restaurativo-56633/?N=5002385+8711017+3288841410&rt=rud](https://www.3m.com.mx/3M/es_MX/inicio/todos-los-productos-3m/~3M-Ketac-Molar-Easymix-Ionómero-de-Vidrio-kit-de-tratamiento-restaurativo-56633/?N=5002385+8711017+3288841410&rt=rud)
37. Medica Line [Internet] 5 Claves para una correcta manipulación del Ionómero de vidrio. Disponible en: [medicaline.es/category/productos/](http://medicaline.es/category/productos/)
38. Hebling J, Giro EM, Costa CA. Human pulp response after an adhesive system application in deep cavities. *J Dent*. 1999; 27(8):557-64.
39. dr.cesarpomacondor. 2020, May 25. #Repost @simplementeadhesion (@get\_repost). [Instagram]. Disponible en: <https://www.instagram.com/p/CAomcCJFO4n/>
40. boris789. 2017, Dic 09. Restauración directa en resina compuesta "PASO A PASO" Bajo Aislamiento Absoluto [Instagram]. Disponible en: <https://www.instagram.com/p/BcfKuGzAhyC/?igshid=1rqn5qilv59a3>
41. Llanos-Carazas M. Evolución de los cementos biocerámicos en endodoncia. *CONOCIMIENTO PARA EL DESARROLLO*. 2019; 10(1):151-62.
42. Raghavendra SS, Jadhav GR, Gathani KM, Kotadia P. Bioceramics in endodontics—a review. *J Istanbul Univ Fac Dent*. 2017; 51(3 Suppl 1): S128.
43. Cao W, Hench LL. Bioactive materials. *Ceram Int*. 1996; 22(6):493-507.
44. Núñez CC, Godoy EF, Casielles JM, Estay J, Miranda CB, Pinto PC, de Oliveira Jr OB. Revisión del estado actual de cementos de silicato de calcio en odontología restauradora. *Rev Fac Odontol Univ Antioq*. 2016; 27(2).
45. Zafar K, Jamal S, Ghafoor R. Bio-active cements-Mineral Trioxide Aggregate based calcium silicate materials: a narrative review. *JPMA*. 2020; 2019.
46. Prati C, Gandolfi MG. Calcium silicate bioactive cements: biological perspectives and clinical applications. *Dent Mater*. 2015; 31(4):351-70.
47. Moinszadeh AT, Jongsma L, de Groot-Kuin D, Cristescu R, Neiryneck N, Camilleri J. Endodontologie in beweging: nieuwe concepten, materialen en technieken 1. Hydraulische calciumsilicaatcementen. *Ned Tijdschr Tandheelkd*. 2015;122:405-14.
48. Linu S, Lekshmi MS, Varunkumar VS, Joseph VS. Treatment outcome following direct pulp capping using bioceramic materials in mature permanent teeth with carious exposure: a pilot retrospective study. *J Endod*. 2017; 43(10):1635-9.
49. Dammaschke T, Nowicka A, Lipski M, Ricucci D. Histological evaluation of hard tissue formation after direct pulp capping with a fast-setting mineral trioxide aggregate (RetroMTA) in humans. *Clin Oral Investig*. 2019; 23(12):4289-99.



50. Dutta A, Saunders WP. Calcium silicate materials in endodontics. *Dent Update*. 2014; 41(8):708-22.
51. Hosoya N, Takigawa T, Horie T, Maeda H, Yamamoto Y, Momoi Y, Yamamoto K, Okiji T. A review of the literature on the efficacy of mineral trioxide aggregate in conservative dentistry. *Dent Mater J*. 2019; 38(5):693-700.
52. Li Z, Cao L, Fan M, Xu Q. Direct pulp capping with calcium hydroxide or mineral trioxide aggregate: a meta-analysis. *J Endod*. 2015; 41(9):1412-7.
53. Tomás-Catalá CJ, Collado-González M, García-Bernal D, Oñate-Sánchez RE, Forner L, Llena C, Lozano A, Moraleda JM, Rodríguez-Lozano FJ. Biocompatibility of new pulp-capping materials NeoMTA Plus, MTA Repair HP, and Biodentine on human dental pulp stem cells. *J Endod*. 2018; 44(1):126-32.
54. Zhu C, Ju B, Ni R. Clinical outcome of direct pulp capping with MTA or calcium hydroxide: a systematic review and meta-analysis. *Int J Clin Exp Med*. 2015; 8(10):17055.
55. Kaur M, Singh H, Dhillon JS, Batra M, Saini M. MTA versus Biodentine: review of literature with a comparative analysis. *J Clin Diagn Res*. 2017; 11(8):ZG01.
56. Camilleri J. The chemical composition of mineral trioxide aggregate. *J Conserv Dent*. 2008; 11(4):141.
57. Carlos Bóveda Z. Julio 2000. "Aplicación Clínica del Agregado Trióxido Mineral (MTA) en Endodoncia" [Internet Blog]. Disponible en: <https://www.carlosboveda.com/Odontologosfolder/odontoinvitadoold/odontoinvitado7.htm>
58. Rodríguez-Villalobos P, Bolaños-López V. Propiedades y usos en odontopediatría del MTA (Agregado de Trióxido Mineral). *Odvotos-Int J Dent Sc*. 2011(13):65-70.
59. Hakki SS, Bozkurt SB, Hakki EE, Belli S. Effects of mineral trioxide aggregate on cell survival, gene expression associated with mineralized tissues, and biomineralization of cementoblasts. *J Endod*. 2009; 35(4):513-9.
60. Emara R, Elhennawy K, Schwendicke F. Effects of calcium silicate cements on dental pulp cells: A systematic review. *J Dent*. 2018; 77:18-36.
61. Miñana Gómez M. El agregado de trióxido mineral (MTA) en endodoncia. *RCOE*. 2002; 7(3):283-9.
62. Dentalix: tu depósito dental online. 03, Dic 2019 [Internet] Cementos MTA: El nuevo material desarrollado para endodoncia. Disponible en: <https://www.dentalix.com/es/blog/cementos-mta-el-nuevo-material-desarrollado-endodoncia>
63. Dental Cost. n.d. [Internet] MTA Angelus Cemento Endodóntico Biocerámico Frasco 1gr. Disponible en: <https://www.dentalcost.es/cementos-obturacion-canales/1843-mta-angelus-cemento-endodontico-bioceramico-frasco-1gr-varios.html>
64. BioMTA. n.d. [Internet] RetroMTA. Disponible en: [www.biomta.com/shop/eng/product\\_5.php](http://www.biomta.com/shop/eng/product_5.php)
65. Dentsply Sirona. n.d [Internet] ProRoot® MTA (Mineral Trioxide Aggregate) Root canal repair material. Disponible en: [https://www.dentsplysirona.com/content/dam/dentsply/pim/manufacture/Endodontics/Obturation\\_Materials\\_and\\_Instruments/Cements/ProRoot\\_MTA\\_Root\\_Repair\\_Material/END-NAM-DFU-PROROOT-MTA-MASTER-EN.pdf](https://www.dentsplysirona.com/content/dam/dentsply/pim/manufacture/Endodontics/Obturation_Materials_and_Instruments/Cements/ProRoot_MTA_Root_Repair_Material/END-NAM-DFU-PROROOT-MTA-MASTER-EN.pdf)



66. SimitDental. MAP System & ProRoot MTA Video Tutorial 2015. [Video File]. 2016, Ene 26. [6:28 min.]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=2bRD5Ze8nzM&t=316s>
67. Angelus dental. N.d [Internet] MTA ANGELUS. Disponible en: [https://www.angelusdental.com/img/arquivos/mta\\_angelus\\_bula\\_online.pdf](https://www.angelusdental.com/img/arquivos/mta_angelus_bula_online.pdf)
68. Google Drive. n.d [Internet] [BioMTA] RetroMTA Catalog.pdf. Disponible en: <https://drive.google.com/file/d/10ZsG-wLAZuY8LZnanXR33GcyMSqcvlca/view>
69. Torabinejad M, Chivian N. Clinical applications of mineral trioxide aggregate. *J Endod.* 1999; 25(3):197-205.
70. Camilleri J. Scanning electron microscopic evaluation of the material interface of adjacent layers of dental materials. *Dent Mater.* 2011; 27(9):870-8.
71. Gandolfi MG, Siboni F, Botero T, Bossù M, Riccitiello F, Prati C. Calcium silicate and calcium hydroxide materials for pulp capping: biointeractivity, porosity, solubility and bioactivity of current formulations. *J Appl Biomater Funct Mater.* 2015; 13(1):43-60.
72. 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):e20-8.
73. Priyalakshmi S, Ranjan M. Review on Biodentine-a bioactive dentin substitute. *J Dent Med Sci.* 2014; 13(1):51-7.
74. Hincapié Narváez S, Valerio Rodríguez AL. Biodentine: Un nuevo material en terapia pulpar. *Univ Odontol.* 2015; 34(73).
75. Zhou HM, Shen Y, Wang ZJ, Li L, Zheng YF, Häkkinen L, Haapasalo M. In vitro cytotoxicity evaluation of a novel root repair material. *J Endod.* 2013; 39(4):478-83.
76. Pérard M, Le Clerc J, Meary F, Pérez F, Tricot-Doleux S, Pellen-Mussi P. Spheroid model study comparing the biocompatibility of Biodentine and MTA. *J Mater Sci.* 2013; 24(6):1527-34.
77. Dental Cost. n.d [Internet] [Biodentine Sustituto Dentina Bioactivo 5u. Disponible en: <https://www.dentalcost.es/biomateriales/2364-biodentine-sustituto-dentina-bioactivo-5u-septodont.html>
78. Septodont. n.d [Internet] Biodentine™ Active Biosilicate Technology™ Bioaktiver Dentinersatz. Disponible en: <https://www.septodont.es/sites/es/files/2016-11/Biodentine%205%20capsules%20S%2005%2098%20268%2020%2000.pdf>
79. Septodont LATAM. ¿Cómo mezclar Biodentine de Septodont? Paso a Paso. [Video File]. 2017, Sept 08. [2:11 min.]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=wbl88LWwYyg&t=19s>
80. Qureshi A, Soujanya E, Nandakumar P. Recent advances in pulp capping materials: an overview. *J Clin Diagn Res.* 2014; 8(1):316.
81. 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):571-9.
82. Hebling J, Lessa FC, Nogueira I, Carvalho RM, Costa CA. Cytotoxicity of resin-based light-cured liners. *Am J Dent.* 2009; 22(3):137.
83. Bortoluzzi EA, Niu LN, Palani CD, El-Awady AR, Hammond BD, Pei DD, Tian FC, Cutler CW, Pashley DH, Tay FR. Cytotoxicity and osteogenic potential of silicate calcium



- cements as potential protective materials for pulpal revascularization. *Dent. Mater.* 2015; 31(12):1510-22.
84. Poggio C, Arciola CR, Beltrami R, Monaco A, Dagna A, Lombardini M, Visai L. Cytocompatibility and antibacterial properties of capping materials. *Sci World J.* 2014.
  85. Corral C, Negrete P, Estay J, Osorio S, Covarrubias C, de Oliveira Junior OB, Barud H, CORRAL C, NEGRETE P, ESTAY J, OSORIO S. Radiopacity and Chemical Assessment of New Commercial Calcium Silicate-Based Cements. *Int J Odontostomatol.* 2018; 12:262-8.
  86. Deposito dental molar. n.d [Internet] THERACAL LC JERINGA 1 GR. Disponible en: <https://ddmolar.com/products/theracal-lc-jeringa-1-gr-consumible>
  87. Bisco. n.d [Internet] TheraCal LC Resin-Modified Calcium Silicate Pulp Protectant/Liner, Instructions for Use. Disponible en: [https://www.bisco.com/assets/1/22/TheraCal\\_LC\\_Spanish4-compressed.pdf](https://www.bisco.com/assets/1/22/TheraCal_LC_Spanish4-compressed.pdf)
  88. Coa Dental. n.d [Internet] TheraCal LC Silicato de Calcio modificado con Resina: Apatita fluida al alcance de tus manos. Disponible en: <https://www.coadental.com/storage/products/gxjQTej259wBm4ab.pdf>
  89. ID24x7x365. ¿ 389 ¿Qué es lo que gusta tanto de Thercal LC? 5 millones de respuestas alrededor del mundo. [Video File]. 2016, Abril 19. [1:03:23 h.]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=fkyjbRWM-9U>
  90. Meraji N, Camilleri J. Bonding over dentin replacement materials. *J Endod.* 2017; 43(8):1343-9.
  91. Guimarães BM, Prati C, Duarte MA, Bramante CM, Gandolfi MG. Physicochemical properties of calcium silicate-based formulations MTA Repair HP and MTA Vitalcem. *J Appl Oral Sci.* 2018; 26.
  92. Yamamoto S, Han L, Noiri Y, Okiji T. Evaluation of the Ca ion release, pH and surface apatite formation of a prototype tricalcium silicate cement. *Int Endod J.* 2017; 50:e73-82.
  93. Negrete Valderrama PE. Evaluación de la radiopacidad de cementos de silicato de calcio. [Tesis licenciatura]. Santiago: UNIVERSIDAD DE CHILE, FACULTAD DE ODONTOLOGÍA DEPARTAMENTO DE ODONTOLOGÍA RESTAURADORA ÁREA DE OPERATORIA; 2017
  94. Colibrí. Julio 2016 [Internet] Materiales dentales, Módulo 1, Manual de apoyo teórico. Disponible en: <https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/8441/1/Librillo%20Materiales%20Dentales%201.pdf>
  95. Poggio C, Lombardini M, Colombo M, Beltrami R, Rindi S. Solubility and pH of direct pulp capping materials: a comparative study. *Appl Biomater Funct Mater.* 2015; 13(2):181-5
  96. eprints. 2019 [Internet] Liberación de iones calcio y ph de los cementos de silicato de calcio. Disponible en: <https://eprints.ucm.es/57362/2/Liberación%20de%20iones%20calcio%20y%20pH%20T FM.pdf>
  97. Souza LC, Yadlapati M, Dorn SO, Silva R, Letra A. Analysis of radiopacity, pH and cytotoxicity of a new bioceramic material. *J Appl Oral Sci.* 2015 Aug;23(4):383-9.
  98. Bosso-Martelo R, Guerreiro-Tanomaru JM, Viapiana R, Berbert FL, Duarte MA, Tanomaru-Filho M. Physicochemical properties of calcium silicate cements associated



with microparticulate and nanoparticulate radiopacifiers. *Clin Oral Investig.* 2016; 20(1):83-90.

99. Cha Gyeong-ryeong, Kim Jae-hwan, Kim Sun-mi, Choi Nam-ki, Moon Hyun-ju, Hwang Moon-jin, Song Ho-jun, Park Young-jun. Comparison of setting time, compressive strength, solubility, and pH of four kinds of MTA. *Korean J Dent Mater.* 2016; 43(1):61-72.
100. Bogen G, Kim JS, Bakland LK. Direct pulp capping with mineral trioxide aggregate: an observational study. *J Am Dent Assoc.* 2008; 139(3):305-15.
101. Mente J, Hufnagel S, Leo M, Michel A, Gehrig H, Panagidis D, Saure D, Pfefferle T. Treatment outcome of mineral trioxide aggregate or calcium hydroxide direct pulp capping: long-term results. *J Endod.* 2014; 40(11):1746-51.
102. Çalışkan MK, Güneri P. Prognostic factors in direct pulp capping with mineral trioxide aggregate or calcium hydroxide: 2-to 6-year follow-up. *Clin Oral Investig.* 2017; 21(1):357-67.
103. Brizuela C, Ormeño A, Cabrera C, Cabezas R, Silva CI, Ramírez V, Mercade M. Direct pulp capping with calcium hydroxide, mineral trioxide aggregate, and biodentine in permanent young teeth with caries: a randomized clinical trial. *J Endod.* 2017; 43(11):1776-80.
104. Lipski M, Nowicka A, Kot K, Postek-Stefańska L, Wysoczańska-Jankowicz I, Borkowski L, Andersz P, Jarzabek A, Grocholewicz K, Sobolewska E, Woźniak K. Factors affecting the outcomes of direct pulp capping using Biodentine. *Clin Oral Investig.* 2018; 22(5):2021-9.
105. Suhag K, Duhan J, Tewari S, Sangwan P. Success of direct pulp capping using mineral trioxide aggregate and calcium hydroxide in mature permanent molars with pulps exposed during carious tissue removal: 1-year follow-up. *J Endod.* 2019; 45(7):840-7
106. Harms CS, Schäfer E, Dammaschke T. Clinical evaluation of direct pulp capping using a calcium silicate cement—treatment outcomes over an average period of 2.3 years. *Clin Oral Investig.* 2019; 23(9):3491-9.
107. Barthel CR, Rosenkranz B, Leuenberg A, Roulet JF. Pulp capping of carious exposures: treatment outcome after 5 and 10 years: a retrospective study. *J Endod.* 2000; 26(9):525-8.
108. Miles JP, Gluskin AH, Chambers D, Peters OA. Pulp capping with mineral trioxide aggregate (MTA): a retrospective analysis of carious pulp exposures treated by undergraduate dental students. *J Conserv Dent.* 2010; 35(1):20-8.