

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**

**FACULTAD DE ODONTOLOGÍA**

**Departamento de Estomatología IV**



**ESTUDIO CLÍNICO DEL AGREGADO TRIÓXIDO  
MINERAL EN PULPOTOMÍAS DE MOLARES  
TEMPORALES**

**MEMORIA PRESENTADA PARA OPTAR AL GRADO DE  
DOCTOR POR**

Myriam Maroto Edo

Bajo la dirección de las Doctoras:

Elena Barbería Leache  
Paloma Planells del Pozo

**Madrid, 2003**

**ISBN: 84-669-2145-1**

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**

**FACULTAD DE ODONTOLOGÍA**

**Departamento de Estomatología IV**



**ESTUDIO CLÍNICO DEL  
AGREGADO TRIÓXIDO MINERAL  
EN PULPOTOMÍAS  
DE MOLARES TEMPORALES**

**TESIS DOCTORAL**

**Myriam Maroto Edo**

**Directoras:**

**Profa. Elena Barbería Leache  
Profa. Paloma Planells del Pozo**

**Madrid, 2003**

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**

**FACULTAD DE ODONTOLOGÍA**

**Departamento de Estomatología IV**



**ESTUDIO CLÍNICO DEL  
AGREGADO TRIÓXIDO MINERAL  
EN PULPOTOMÍAS  
DE MOLARES TEMPORALES**

**TESIS DOCTORAL**

**Myriam Maroto Edo**

**Directoras:**

**Profa. Elena Barbería Leache  
Profa. Paloma Planells del Pozo**

**Madrid, 2003**

*Dedicada a mis padres y a mi hermano.*

*Gracias por vuestra ayuda,  
vuestra paciencia y  
vuestro amor.*

*Deseo expresar mi profundo agradecimiento a todas las personas que directa e indirectamente han colaborado en la realización de esta tesis, en especial:*

*A la Dra. Elena Barbería Leache, por dirigirme y brindarme la oportunidad de llevar a cabo este proyecto, por transmitirme sus conocimientos y su experiencia y por su inestimable ayuda.*

*A la Dra. Paloma Planells del Pozo, por dirigirme y darme su apoyo, por ofrecerme la posibilidad de progresar y avanzar en mi trabajo gracias a sus enseñanzas.*

*A Santiago Cano, por su ayuda en el tratamiento estadístico de los datos.*

*A todo el personal del Programa de Atención Odontológica a Pacientes en Edad Infantil.*

*Al Dr. Antonio Barreiro y a su equipo, Esther, Yolanda y Charo, por sus enseñanzas, por compartir conmigo toda su experiencia, por su afecto y por confiar en mí desde el primer momento.*

*A mis compañeros y amigos de la Facultad y del Master, especialmente a Elena, Mónica, Eva, Luis y Silvia, por su comprensión y por hacer más fáciles los momentos difíciles. Que nada ni nadie cambie nuestra amistad.*

*A mis amigos y amigas de toda la vida y para toda la vida, en especial a Alda, Elena y Sofía, porque sois imprescindibles.*

*A Olmar, a Inés, a Rodrigo, a Cris, a mis compañeros de aficiones, porque dais sentido a mi trabajo y me enseñáis lo mejor de la vida...*

*Gracias a todos.*



# ÍNDICE

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	5
	I.1. Pulpotomía en dientes temporales .....	6
	I.2. Pulpotomía al formocresol .....	10
	I.3. Alternativas al formocresol .....	20
	I.4. Agregado Trióxido Mineral .....	42
	I.4.1. Composición y manejo del MTA .....	43
	I.4.2. Propiedades del MTA .....	46
	I.4.3. Aplicaciones del MTA .....	73
<b>II.</b>	<b>OBJETIVOS DEL ESTUDIO</b> .....	97
<b>III.</b>	<b>MATERIAL Y MÉTODO</b> .....	99
	III.1. Muestra .....	100
	III.2. Método .....	102
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	106
	IV.1. Evaluación clínica .....	108
	IV.2. Evaluación radiológica .....	108
<b>V.</b>	<b>DISCUSIÓN</b> .....	138
	V.1. Consideraciones acerca del material y método del estudio .....	141
	V.2. Consideraciones acerca de los resultados del estudio .....	144
<b>VI.</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	155
<b>VII.</b>	<b>CITAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	157

# **I. INTRODUCCIÓN**

# **I. INTRODUCCIÓN**

## **I. 1. PULPOTOMÍA EN DIENTES TEMPORALES**

La primera referencia que se puede hallar en la literatura acerca del tratamiento de pulpotomía, se remonta, según Nunn JH y cols., al año 1756, en el que P.Pfaft realizó el recubrimiento de exposiciones pulpares con pequeñas piezas de oro cuidadosamente adaptadas a la base de las cavidades dentales. Posteriormente, en 1826, L.Koeker realizó la cauterización de porciones de pulpas expuestas con un alambre metálico incandescente, recubriendo la lesión con una fina capa de plomo (1).

Hasta mediados del siglo XIX, no surgió el comienzo de la aplicación de medicamentos para el tratamiento de la pulpa dental. Se empezaron a emplear entonces sustancias como cera de abeja, polvo de vidrio y toda una variedad de compuestos que contenían calcio y algunos de ellos también eugenol. Los primeros datos que se conocen acerca del uso de un material con formaldehído datan de 1874, cuando Nitzel empleó un compuesto de tricresol y formalina en casos de exposiciones pulpares. Pero el interés de esta técnica no se volvió a considerar hasta treinta años después (1).

Así, en 1904, Buckley aplicó un algodón empapado en una mezcla de tricresol y formaldehído en una cámara pulpar, posteriormente sellada. Después de unos días, la apertura de la cámara mostró, según su descripción, que “los gases y líquidos tóxicos habían sido convertidos en líquidos y sólidos no tóxicos”. La técnica fue un éxito, gracias a la actuación germicida y antiséptica de los materiales empleados (1, 2). De hecho, posteriormente, se ha demostrado que el formocresol tiene una capacidad antimicrobiana mayor que muchos otros productos que se han empleado y emplean habitualmente en endodoncia (3).

A partir de entonces, el estudio de la patología pulpar y de su tratamiento tomó más relevancia. Durante los años treinta, Sweet propuso la aplicación de una mezcla de óxido de cinc, eugenol y formocresol para el tratamiento pulpar de molares deciduos (1-4).

Así, desde la introducción de la fórmula de Buckley y la modificación de Sweet, la técnica de pulpotomía al formocresol ha sido la elección terapéutica más empleada en el tratamiento de dientes deciduos (1, 2, 4, 6).

Actualmente, a pesar de que el formocresol sigue siendo el medicamento más empleado en pulpotomías de dientes temporales, principalmente por su facilidad de uso y por su excelente éxito clínico, se ha detectado en múltiples estudios que posee aspectos tóxicos, que puede ser distribuido sistémicamente, y que puede presentar características carcinogénicas y mutagénicas. Estas observaciones, han llevado a los científicos a realizar investigaciones centradas en la búsqueda de un agente alternativo al formocresol (1, 4-8).

Se han sugerido múltiples sustitutos al formocresol, tanto farmacológicos como no farmacológicos. Sin embargo, hasta la fecha, la variabilidad de los resultados en los diferentes estudios en la investigación de alternativas al formocresol como agente para pulpotomías de dientes primarios, parece mostrar que no se ha revelado todavía ningún agente, ni ninguna técnica, que tenga el mismo porcentaje de éxitos clínicos a largo plazo que iguale o supere a los del formocresol (1, 4, 5, 8).

### **Indicaciones y contraindicaciones**

La pulpotomía está indicada en la exposición pulpar de los dientes temporales en caso de que la inflamación o la infección parezcan limitarse a la pulpa coronal. Si la inflamación se ha propagado hacia el interior de los tejidos de los conductos radiculares, debe considerarse un tratamiento de pulpectomía o de extracción de la pieza afectada. Así pues, la presencia de cualquier signo o síntoma de afectación pulpar que se extienda a nivel radicular contraindica la pulpotomía (2, 5, 8-11).

La técnica de pulpotomía en dientes temporales está contraindicada en cualquiera de estas circunstancias (2, 5, 8-11):

- presencia de inflamación de los tejidos blandos adyacentes (de origen pulpar),

- presencia de una fístula,
- presencia de movilidad patológica,
- reabsorción externa o interna radicular,
- lesiones radiográficas periapicales o interradiculares (enfermedad periapical o de la furca radicular),
- calcificaciones pulpares o ausencia de sangrado de la pulpa o excesivo sangrado tras la amputación pulpar sin posibilidad de que la hemorragia sea controlada mediante presión,
- pulpa con drenaje seroso purulento,
- historia de dolor espontáneo o nocturno,
- sensibilidad a la percusión o palpación,
- diente no restaurable,
- diente próximo a ser exfoliado sin hueso alrededor de la corona del diente permanente subyacente.

### **Técnica**

La técnica de la pulpotomía está basada en el razonamiento de que el tejido pulpar radicular está sano y es capaz de curarse después de la amputación quirúrgica de la pulpa coronal infectada o afectada (2, 5, 9, 12).

La técnica de pulpotomía consiste básicamente en la extirpación de la pulpa coronal y la colocación en la entrada de los canales de diferentes materiales que dan el nombre al tipo de pulpotomía (*pulpotomía al formocresol*, *pulpotomía al glutaraldehído*, *pulpotomía al hidróxido de calcio*, etc.) (2, 8, 9, 11, 12). En los protocolos de la American Association of Pediatric Dentistry (AAPD) para la terapia pulpar de los dientes permanentes jóvenes se describe el procedimiento de pulpotomía en los dientes temporales como la amputación de la porción coronal (afectada o infectada) de la pulpa dental, preservando la vitalidad y la función de la pulpa radicular restante (8).

Autores como Greeley han demostrado que es esencial la remoción del tejido pulpar necrótico y degenerativo para la curación, dejando intacto el tejido sano y capaz de

regenerarse, dado que la complejidad de la composición de la pulpa hace de ella un tejido con capacidad de reparación y regeneración, siempre que el daño patológico no haya provocado necrosis (13).

El fin del procedimiento clínico de pulpotomía es la conservación de la vitalidad de la pulpa radicular hasta que se produce el recambio fisiológico del diente temporal pulpotomizado (12).

Se considera que las evidencias de éxito de un tratamiento de pulpotomía en dientes temporales son las siguientes (8, 10):

- vitalidad de la mayor parte de la pulpa radicular,
- ausencia de síntomas o signos clínicos patológicos como dolor, tumefacción o sensibilidad,
- ausencia de signos radiológicos de reabsorción interna,
- ausencia de trastornos en los tejidos perirradiculares,
- ausencia de lesiones en los dientes de reemplazo.

Se considera en general que los primeros signos de fracaso de una pulpotomía son, con frecuencia, la aparición de una reabsorción radicular interna en la zona donde se aplicó el fármaco. En ocasiones existe también una reabsorción externa, y en los molares temporales aparece una radiotransparencia en la zona de bi o trifurcación, mientras que en los dientes anteriores ésta se puede presentar en los ápices o bien al lado de las raíces. A mayor destrucción, mayor movilidad del diente; así mismo suele aparecer una fístula. Sin embargo, es raro que el fracaso de una pulpotomía en dientes temporales cause dolor, por lo que son necesarias visitas de revisión clínica y radiográfica para su correcto control (8).

## **I.2. PULPOTOMÍA AL FORMOCRESOL**

Como ya se ha dicho previamente, Buckley, en 1904, introdujo la técnica de pulpotomía al formocresol, posteriormente modificada por Sweet en 1930. Actualmente, el método de elección terapéutica en el tratamiento de dientes deciduos sigue siendo la

pulpotomía al formocresol, mediante una modificación de la técnica que publicó Sweet (1, 2, 4, 6, 8, 9, 11, 14, 15).

Una encuesta realizada a nivel mundial en escuelas de odontología en el año 1987, mostró que la mayoría de los departamentos de odontología pediátrica, así como la mayor parte de odontólogos pediátricos, defienden la técnica de la pulpotomía con formocresol en dientes temporales. Además, esta técnica se enseña todavía ampliamente y se utiliza en la práctica diaria (8).

La fórmula de Buckley y Sweet se describe, en la bibliografía consultada, de diversas formas según los autores. De hecho, algunos investigadores han demostrado que no existe un acuerdo generalizado acerca de la composición exacta de esta sustancia, siendo arbitraria en muchas ocasiones (3). Así, básicamente consistiría en la mezcla de formaldehído (19%) y cresol (3,5%) en una base de glicerina y agua (15%). Sin embargo, en otras publicaciones, la fórmula se describe como la mezcla de formaldehído (19%), tricresol (35%), glicerol (15%) y agua (1, 2) o simplemente como la mezcla a partes iguales de formalina y tricresol (7).

El uso de una solución de un quinto de formocresol ha sido recomendado por algunos autores porque, según ellos, a similar efectividad resultaría menos tóxico (5, 7, 10).

Así, por ejemplo, Avran y Pulver refieren que la mayoría de los Odontopediatras en el mundo (76,8%) usan un quinto de solución de formocresol, como el medicamento preferido para pulpotomías en dientes vitales primarios (5, 2, 9).

### **Técnica**

Aunque la técnica que se sigue empleando actualmente para la pulpotomía al formocresol, es básicamente la propuesta por Buckley y modificada por Sweet, posteriormente, se propusieron más modificaciones sobre la de Sweet, para facilitar la técnica. En primer lugar, se ha añadido el uso de eugenol, material con propiedades

analgésicas, que ha sido frecuentemente empleado en restauraciones provisionales, bases, cementos y selladores intracanal. Así mismo, se ha ido reduciendo el número de visitas necesarias para realizar el tratamiento de pulpotomía, de 5 sesiones propuestas por Sweet, a una sola. En ésta, muchos autores a nivel nacional e internacional incluyen la aplicación en la cámara pulpar durante 3 a 5 minutos de una solución de formocresol en un vehículo de glicerina, o bien una dilución de 1:5 de esta solución. Después, se sella la cavidad con una mezcla de óxido de cinc y eugenol (1, 2, 7, 8-10, 15-17).

Así, la técnica de pulpotomía al formocresol se describiría, según múltiples autores, de la siguiente manera (8, 10, 11):

1. administración de anestesia local,
2. aislamiento mediante dique de goma,
3. eliminación de la caries y tallado de la corona clínica (antes de la exposición pulpar para reducir la contaminación bacteriana),
4. eliminación del techo de la cámara pulpar mediante fresa de alta velocidad e irrigación con agua,
5. extracción de la pulpa coronal con fresa redonda a baja velocidad o cucharilla afilada,
6. limpieza con agua,
7. control de la hemorragia (que debe ser de color rojo brillante) mediante bolitas de algodón ligeramente humedecidas con agua (si no se logra el control del sangrado en menos de 5 minutos se debe rechazar el tratamiento de pulpotomía),
8. colocación en la cámara pulpar de una bolita de algodón ligeramente humedecida en formocresol (diluido a 1:5 según la mayoría de los autores) durante 3 a 5 minutos,
9. eliminación de la bolita de algodón y comprobación de la fijación tisular observando un color parduzco de los muñones pulpares sin hemorragia,
10. colocación en la cámara pulpar de una mezcla de cemento de óxido de cinc-eugenol,
11. obturación definitiva (se considera que la obturación más adecuada, según la mayoría de los autores, tras una pulpotomía, es una corona metálica

preformada en los molares, y en los incisivos y caninos una obturación con resina compuesta, a no ser que el diente esté tan destruido que sea necesaria la adaptación de una corona).

Por otro lado, múltiples autores han propuesto modificaciones a esta técnica clásica, presentando estudios con resultados favorables. Así, algunos investigadores consideran que se debe incluir una pequeña cantidad de formocresol en la mezcla de óxido de cinc-eugenol que se coloca en la cámara pulpar, mientras que otros como Beaver y cols. demostraron que no es necesario pues, no modifica los resultados de la pulpotomía. Finalmente, se ha visto que se puede reducir aún más el tiempo de la sesión de pulpotomía, evitando el paso de aplicación de 3 minutos de algodón con formocresol en la cámara pulpar. Así, se han hallado niveles de hasta un 95% de éxito en tratamientos de pulpotomías en las que se evita el algodón y se incluye una gota de formocresol en la pasta de óxido de cinc-eugenol que se coloca en la cámara pulpar (1, 2, 7-9, 11, 15-17).

Por otro lado, se considera que el abordaje tradicional para la remoción pulpar consiste en la eliminación previa del techo de la cámara pulpar. Sin embargo, existen variaciones efectivas, según los estudios realizados, como las que propone Barreiro A, que consiste en eliminar parte de la pared proximal de la cámara, sin remover completamente el techo cameral, consiguiendo así no debilitar en exceso el diente tratado (18).

### **Efectos terapéuticos del formocresol**

Existen en la literatura científica, múltiples estudios clínicos, realizados en niños, en los cuales se ha valorado el rango de éxito de las pulpotomías al formocresol. Tanto los tamaños muestrales como los tiempos de evolución son diversos y los resultados varían según los diferentes autores, pero se puede decir que en general los resultados en cuanto al rango de éxito de la pulpotomía al formocresol oscilan entre el 70 y el 99 % (2, 3, 5, 7, 10, 17, 19, 20-22).

Se ha demostrado también un nivel de éxito del 99% y la ausencia de relación significativa entre el tratamiento de pulpotomía al formocresol y la alteración en el momento de exfoliación de los molares tratados (2, 3). De hecho, en un amplio estudio realizado en 1662 molares, se comprobó un éxito del 99,4% y ninguna influencia significativa en la edad de exfoliación de los molares tratados (2).

En cuanto al efecto terapéutico del formocresol, se considera que este producto provoca la fijación de los tejidos debido al efecto de unión de proteínas que es capaz de producir. Se considera que tiene capacidad momificante y que provoca una desnaturalización de las proteínas de la pulpa radicular más próxima a la cámara pulpar y difunde hacia la pulpa más apical, fijando los tejidos en mayor o menor medida. Además tiene una alta capacidad bactericida, probablemente debida a su elevada alcalinidad (2, 3, 10, 11, 19, 20, 21).

Estudios *in vitro* comparativos acerca de la capacidad antimicrobiana de diversos productos pulpares han demostrado que el formocresol mezclado con óxido de cinc-eugenol tiene mayor capacidad germicida que el hidróxido de calcio, la clorhexidina, la pasta Kri® o la pasta iodofórmica Vitapex® (3).

Estudios de Hill y cols. han mostrado el elevado efecto bactericida del formocresol contra algunas de las bacterias halladas normalmente en los procesos cariosos. Se considera que su efecto comienza con una concentración de 0,75%, ya efectivo a los 30 segundos tras su aplicación, a concentraciones de 1,5% (23).

Sin embargo, al mismo tiempo que los estudios han ido confirmando el éxito clínico de las pulpotomías al formocresol, ha ido aumentando la literatura que cuestiona su uso. Durante la última década múltiples artículos han analizado la seguridad y la eficacia del formocresol. Muchos investigadores están de acuerdo en que el formocresol provoca daños tisulares locales y en que es, como se ha visto en animales de experimentación, potencialmente inmunogénico, mutagénico y carcinogénico. De hecho, incluso algunos investigadores, como Lewis B, consideran que el formocresol no debería ser empleado en absoluto desde el momento en que se conocen estos efectos tóxicos del producto. Por estas

razones los esfuerzos por encontrar un sustituto a este medicamento se han incrementado durante los últimos años (2, 3, 5, 7, 9, 10).

### **Toxicidad del formocresol**

A lo largo del tiempo, han surgido dudas acerca de la posible toxicidad del formocresol. Se considera que los componentes de la solución de formocresol, formaldehído y cresol, son, en sí mismos, tóxicos. Efectivamente, el formaldehído es antigénico y activa la respuesta inmune celular y humoral. El cresol es un producto orgánico cáustico que produce la destrucción completa de la integridad celular. La solución de formocresol es pues un producto que provoca la alteración de las funciones celulares y su degeneración. El tratamiento de la pulpa dental con formocresol provoca reacciones inflamatorias y necrosis en ésta (6, 7, 3, 2, 24, 25, 22, 10).

Los efectos indeseables del formocresol no se muestran normalmente de forma clínica como un fracaso de la técnica, sino principalmente tras los estudios histológicos realizados posteriormente sobre las muestras (4).

Para simplificar el análisis de las consecuencias de la aplicación de formocresol en los tejidos orgánicos dentales y periodontales, se tratará en primer lugar el efecto de este producto en el tejido pulpar, y en segundo lugar su efecto en el tejido perirradicular.

Doyle y cols. fueron los primeros en describir las diferentes áreas o zonas que encontramos en el tejido pulpar remanente tras la pulpotomía al formocresol. Otras investigaciones (4, 7, 8) posteriores han completado estos datos. Así, las diferentes áreas estarían compuestas, en primer lugar, por una zona de fijación (capa de tejido fibroso acidófilo en la parte más coronal en el lugar de la amputación), más apicalmente por una zona acelular (área de atrofia con pérdida de la definición celular), y finalmente por una zona de regeneración (tercera capa, que contiene células inflamatorias dentro de un tejido pulpar vital en el área apical) (4, 7, 8).

Se considera en general, que la reacción tisular al formocresol depende del tiempo de aplicación y de la concentración empleada (19). Existe cierta controversia en los diversos estudios acerca de la respuesta exacta del tejido pulpar en contacto con formocresol, pero todos los autores parecen coincidir en que el formocresol, no sólo produce fijación del tejido pulpar sino también inflamación y necrosis del mismo.

Autores como Alacam (19) encontraron, en un estudio con dientes de pacientes infantiles tratados con formocresol y extraídos 12 meses después del tratamiento, que este medicamento creó una capa de tejido pulpar necrótico en contacto directo con el producto, un capa más apical de tejido fijado, seguida por una zona de células inflamatorias y por fin en el área más apical halló tejido pulpar vital. Se debe destacar que en ninguno de los especímenes se encontró la formación de puente dentinario y en ninguno se produjo la curación sin inflamación.

Massler y Mansukhamni, a los 14 días de tratamiento con formocresol, encontraron células inflamatorias concentradas entre la segunda y tercera capa, con difusión hacia el tejido apical. Tras 31 días, la inflamación se encontraba en el ápice. Estudios posteriores han confirmado estos resultados (3). Berger, tras siete semanas de tratamiento de pulpotomía con formocresol, observó que el tejido pulpar necrótico era reemplazado por tejido de granulación a través del ápice (4).

García Godoy estudió diferentes tiempos de aplicación del formocresol, concluyendo que cuanto mayor sea el contacto menos favorable es la respuesta histológica (4). De hecho, se considera que si se deja el formocresol en contacto con la pulpa, la fijación progresa apicalmente hasta provocar la fijación de toda la pulpa (7).

Ranly, basándose en todos estos hallazgos histológicos concluyó que el formocresol no tiene propiedades curativas y que una pulpotomía clínicamente considerada un éxito permanecía crónicamente inflamada y parcialmente necrótica (4). Por otro lado, Magnusson afirma que para considerar el éxito en este tipo de tratamiento, debe existir una ausencia total de inflamación, requisito que parece no existir con respecto al formocresol (4).

Por otro lado, estudios realizados por Segura y cols. (6), mostraron que el formocresol, en concreto en una forma comercial en la que estaba mezclado con eugenol, reduce la capacidad de adhesión de los macrófagos, lo que disminuye también su capacidad fagocítica. Los autores concluyeron que estos productos, empleados en pulpotomías y en tratamientos intraconducto, alteran la modulación de los mecanismos de reparación y de las reacciones inflamatorias en el tejido pulpar y perirradicular llevada a cabo por los macrófagos (6).

El problema del empleo del formocresol sería pues que, dado que es un producto tóxico, si filtrara más allá de los límites de los tejidos dentales, podría provocar daños locales y sistémicos.

A este respecto, autores como Rusmah y cols., demostraron que la difusión de formocresol a través de la dentina y del cemento ocurre a los 15 minutos de la aplicación del medicamento estudiado (26).

Por otro lado, Myers y cols. realizaron múltiples pulpotomías al formocresol en monos Rhesus demostrando que la droga se localizaba posteriormente en el ligamento periodontal y hueso. También se notó una cierta absorción sistémica (4).

En cuanto al aspecto de la toxicidad celular del formocresol, como ya se ha mencionado, se considera que los compuestos del formocresol son, en sí mismos, elementos tóxicos para las células, puesto que tienen una alta capacidad cáustica, y provocan una inflamación y posterior necrosis total o parcial, de los tejidos con los que entra en contacto (4-6, 8, 23).

Hill y cols. investigaron la citotoxicidad del formocresol, en un estudio *in vitro* comparativo con el glutaraldehído. Los resultados mostraron que, no sólo el formocresol en sí mismo es directamente tóxico para las células estudiadas (fibroblastos), sino que sus vapores también lo son. Las células expuestas mostraron atrofas y una tendencia a la

disminución en su número. Además, las diluciones al 10 y al 100% de este producto no disminuyeron los efectos tóxicos del mismo (23).

Pruhs y cols. observaron en sus estudios que se produce una liberación de formocresol desde el diente tratado que podría tener un potencial efecto sobre el diente sucesor sin erupcionar, como podría ser la aparición de defectos de esmalte (12).

Wong demostró que un derivado del formaldehído, el paraformaldehído, provoca infiltraciones celulares e inflamación en los tejidos cercanos a los dientes tratados. Esta reacción es una respuesta inmunológica al formocresol y puede condicionar, según el autor, la aparición de hipoplasias en el esmalte de la dentición permanente (12).

También Messer y cols. notaron un incremento en la prevalencia de premolares erupcionados en una posición rotada tras la exfoliación de un diente pulpotomizado con formocresol (4).

Por otro lado, Fernández Domínguez halló que tras la pulpotomía al formocresol se presentó un patrón de recambio acelerado (en 13 de 32 especímenes estudiados) así como un patrón de reabsorción atípico (en 3 de los 32 casos) (12).

Sin embargo, parece haber acuerdo entre los diferentes autores en que no se han realizado todavía suficientes estudios para confirmar estas conclusiones. Además, algunos investigadores, consideran que los estudios realizados hasta la fecha son de seguimiento hechos mucho tiempo después del tratamiento y sin conocer el estado de la pulpa dental antes de la intervención. Piensan además que tampoco se ha hecho ningún estudio diseñado específicamente para valorar los efectos del trastorno que podría provocar la realización de la pulpotomía en sí, sea con el fármaco que sea (4, 7, 8).

Pero no sólo se ha considerado la influencia local del formocresol, sino que se ha estudiado también la difusión del formocresol en el organismo, y su posible toxicidad sistémica en diferentes zonas del cuerpo, así como su potencial carcinogénico y mutagénico.

Se han realizado estudios sobre los efectos orgánicos de la inyección de formocresol en animales de experimentación. Se ha visto, que este producto se distribuye por todo el organismo. La metabolización y excreción del formocresol absorbido ocurren por vía renal y pulmonar. El formocresol restante se fija a los tejidos, principalmente en los riñones, el hígado y el pulmón. Cuando se administró por vía sistémica a dosis elevadas, se observaron efectos tóxicos agudos como alteraciones cardiovasculares, alteraciones de las concentraciones enzimáticas en sangre y orina, así como signos histológicos de lesiones celulares en órganos vitales. Los autores consideran, sin embargo, que las dosis administradas en estas investigaciones eran muy superiores a las utilizadas clínicamente para las pulpotomías en humanos, por lo que los resultados no podían ser extrapolados a la práctica odontológica diaria (8).

Algunos autores consideran que no existen pruebas de que se produzca una distribución sistémica dañina del formocresol tras el tratamiento de pulpotomía (8), mientras que otros han observado, en animales de experimentación, formaldehído en los fluidos orgánicos y la absorción sistémica del formocresol tras el tratamiento de pulpotomía (4, 7, 14).

Autores como Myers y cols. emplearon formaldehído marcado con carbono 14 en pulpotomías en monos y demostraron así la absorción sistémica de un 1% del formaldehído cuando la solución estudiada se aplicó durante 5 minutos en los molares. Este porcentaje aumentó al realizar pulpotomías secuenciales. Los autores hallaron la presencia de formaldehído no sólo en pulpa, dentina y ligamento periodontal, sino también en la orina, lo que mostró la filtración glomerular del producto.(7)

Otro estudio de los mismos autores demostró la presencia de formaldehído en tejidos de hígado y riñón, pero los investigadores concluyeron que en condiciones normales, la cantidad de formocresol distribuida y absorbida por el organismo humano es tan pequeña que no supondría su contraindicación (7).

Por otro lado, los estudios realizados hasta la fecha, no sólo han demostrado que es posible que el formocresol tenga una difusión sistémica, sino que se han centrado en analizar también el efecto de este fenómeno en el organismo.

El formaldehído, componente del formocresol, ha revelado poseer un cierto potencial mutagénico y cancerígeno en estudios con modelos animales (4).

La mutagenicidad del formaldehído ha sido demostrada en estudios *in vitro* en *Drosophila*, *Escherichia coli*, *Neurospora* y en células de hígado de mono. Así mismo, investigaciones en monos y ratas han mostrado que el contacto a largo plazo con formaldehído es capaz de transformar células epiteliales en células precancerosas y cancerosas (7).

Estudios realizados en 1993, mostraron, *in vitro*, la capacidad carcinogénica del formaldehído en células de hamster (3).

En 1997, Lewis B mostró que el formaldehído posee una capacidad tóxica relacionada con su dosis de aplicación. Este producto sería capaz, a partir de una cierta dosis, de estimular la proliferación celular y la formación de células escamosas carcinosas (3).

Sin embargo, se considera que la distribución sistémica del formocresol es de corta duración y que la concentración producida por las pequeñas cantidades de esta sustancia que se emplean en pulpotomías no producirían los mismos daños que los hallados en los estudios *in vitro*, es decir, que los resultados obtenidos hasta la fecha no serían extrapolables a humanos en la forma que se utiliza el formocresol en la técnica de pulpotomía (7, 8).

### **I.3. ALTERNATIVAS AL USO DE FORMOCRESOL**

#### **Glutaraldehído**

El glutaraldehído, un tipo de aldehído de bajo peso molecular, fue propuesto, hace ya más de 25 años, como una alternativa al formocresol. Efectivamente, se halló que esta sustancia tiene la capacidad de fijar tejidos, siendo potencialmente menos tóxico que el formocresol, y presentando un menor grado de penetración en los tejidos (7, 27).

El éxito, a corto plazo, como agente al 2 % en pulpotomías, se ha demostrado en varios estudios. Por otra parte, éxitos a largo plazo que iguallen a los del formocresol aún no han sido demostrados (5, 7).

Autores como Ranly y García Godoy, tras realizar estudios comparativos, consideran que el glutaraldehído presenta diversas ventajas con respecto al formocresol (4, 7). En primer lugar, estiman que este producto es un mejor fijador que el formaldehído, e inicialmente más activo químicamente. Además, consideran que puede ser usado en menor concentración, su penetración en los tejidos está más limitada, provoca menos lesiones apicales y menor necrosis y sus productos de reacción son menos antigénicos.

En cuanto a la técnica de pulpotomía al glutaraldehído, sería muy similar a la de pulptomía con formocresol. Ranly y García Godoy, relatan que una concentración al 2% es suficiente y que la bolita de algodón impregnada en glutaraldehído que se coloca, a diferencia de la técnica con formocresol, no debe ser escurrida. Estos autores hallaron en sus investigaciones niveles de éxito 96% después de 8 meses de la aplicación del producto y de 98% después de 42 meses (4, 7).

Por otro lado, estudios de Shumayrikh y cols. mostraron que no existían diferencias estadísticamente significativas en los resultados clínicos y radiográficos entre el empleo de glutaraldehído mezclado con óxido de cinc-eugenol, y mezclado con hidróxido de calcio (28).

Investigaciones de autores como Ranly y García Godoy, en las que se realizaron análisis histológicos, han mostrado que la reacción del tejido pulpar al glutaraldehído al 2% evoluciona con el tiempo. Seis meses después del tratamiento, hallaron en el tejido pulpar de los dientes estudiados, un área de tejido fijado fibroso en la zona más coronal,

bajo la cual se hallaron algunas células inflamatorias y un área de tejido vital apical. Destacaron además la observación de una capa odontoblástica intacta, pero no de rastros de formación de dentina secundaria (4).

En estudios similares, autores como Fernández Domínguez hallaron, en el estudio histológico de dientes pulpotomizados al 4%, un tejido coronal fijado, una zona de infiltración linfocítica plasmática leve y finalmente una pulpa radicular sana en el área más apical (12).

Autores como Rusmah y cols. estudiaron la reacción del tejido pulpar al glutaraldehído tamponado. Estos investigadores defienden que una aplicación única durante 3 minutos de glutaraldehído tamponado al 2% es suficiente para producir una fijación superficial. La reducida penetración del medicamento deja libre de efecto al tejido pulpar remanente. La razón de utilizar un glutaraldehído tamponado se basa en que al aumentar el pH a 7,5, se incrementa la actividad antimicrobiana del mismo. En su estudio, los autores realizaron pulpotomías en 42 dientes deciduos. Ninguno de estos 42 dientes mostró signos ni síntomas clínicos de fracaso del tratamiento (14).

Por otro lado, autores como Alacam (19) analizaron la respuesta tisular en dientes humanos, al glutaraldehído mezclado con óxido de cinc-eugenol por un lado, y mezclado con hidróxido de calcio por otro. Doce meses después del tratamiento, se vio en el primer grupo que la zona pulpar en contacto directo con el producto era necrótica, seguida apicalmente por una capa de tejido conectivo vital, y en el área más apical se halló tejido pulpar vital. En cuanto al segundo grupo, las capas de tejido encontradas de coronal a apical fueron: una zona necrótica, una zona de células inflamatorias y una zona de tejido pulpar vital. Además, en el tercio medio radicular, se encontró, en gran parte de los especímenes estudiados, una infiltración de leucocitos y una zona de reabsorción interna. El autor explica que los malos resultados en la mezcla de glutaraldehído con hidróxido de calcio se deben a que el primer producto es ácido y el segundo básico, por lo cual existe una anulación de su acción al juntarlos. Se debe destacar, que en ninguno de los grupos se demostró la formación de un puente dentinario, y en ninguno se mostró la presencia de curación sin inflamación (19).

En cuanto al efecto terapéutico del glutaraldehído, Hill y cols. realizaron una comparación del efecto antimicrobiano y citotóxico entre el formocresol y el glutaraldehído. En su estudio fue determinada *in vitro* la concentración antimicrobiana y citotóxica de ambos. La concentración antimicrobiana mínima de estos agentes frente a la flora microbiana más frecuente en los dientes deciduos (*Streptococcus salivarius*, *Streptococcus mitis*, *Streptococcus mutans*, *Staphylococcus epidermidis*, *Candida albicans*, etc.) fue de 3,125% para el glutaraldehído y de 0,75 para el formocresol. La citotoxicidad fue evaluada en cultivos de tejido con fibroblastos pulpares y células Hela. Los autores concluyeron que el glutaraldehído puede causar un menor efecto citotóxico que el formocresol sobre los tejidos periféricos cuando se usa en una pulpotomía (23).

Shumayrikh y cols. estudiaron durante 12 meses los resultados clínicos y radiológicos del uso de glutaraldehído al 2% mezclado con óxido de cinc-eugenol y con hidróxido de calcio, obteniendo resultados de éxito entre 71,4% y 96,5%, en función del medicamento con el que se combinó (28).

Fuks y cols. refirieron, en 1990, un rango de fallos del 18 % en dientes primarios humanos, 25 meses después de haber recibido un tratamiento de pulpotomía usando glutaraldehído al 2%. En este mismo estudio después de 42 meses de seguimiento, los autores encontraron que los dientes tratados con glutaraldehído se reabsorbían más rápidamente que los controles con formocresol (5, 7).

Por otro lado, Tsai. y cols. realizaron un estudio en el que evaluaron, clínica y radiográficamente, el porcentaje de éxitos a largo plazo de pulpotomías en 150 molares primarios con pulpa expuesta realizadas con diferentes diluciones de glutaraldehído. Tras 36 meses, se consideró que el tratamiento del 98% de los pacientes fue clínicamente un éxito pero al evaluarlo radiográficamente el porcentaje medio de éxito bajó al 78,7%. No se encontraron diferencias significativas entre las diferentes formas de glutaraldehído. Apareció obliteración del conducto en 22 dientes tratados con éxito. La relativamente alta tasa de fracasos en este estudio indicó, según los autores, que los

profesionales deben ser cautos antes de generalizar el uso del glutaraldehído como agente de elección en las pulpotomías (4).

Por otro lado, al igual que ha ocurrido con respecto al formocresol, también se ha estudiado la posible difusión del glutaraldehído al organismo.

Rusmah y cols. investigaron la difusión del glutaraldehído diluido tamponado, a través de la dentina y el cemento de dientes primarios tratados mediante pulpotomía. El estudio se realizó en 30 dientes primarios extraídos. Los resultados mostraron que el glutaraldehído tamponado al 2% no difundió fuera de la dentina y el cemento de los dientes tratados. Los autores concluyeron que estos resultados reafirman la posibilidad de utilizar glutaraldehído al 2% tamponado en las pulpotomías de dientes primarios (4, 26).

Sun y cols., demostraron que, en comparación con el formaldehído, el glutaraldehído necesita una exposición más prolongada en el tiempo para alcanzar su máximo nivel de toxicidad (7).

También autores como Ranly y García Godoy consideran tras sus estudios comparativos, que el glutaraldehído es menos tóxico que el formaldehído pues su penetración en los tejidos está más limitada y provoca menos lesiones apicales y menor necrosis (4).

En cuanto a la toxicidad sistémica, según esta investigación, los productos de reacción del glutaraldehído serían menos antigénicos y además cualquier distribución sistémica del glutaraldehído sería metabolizada o excretada (4). Según Lewis B, dentro de los aldehídos, es el formaldehído el que ha mostrado una mayor toxicidad y potencial carcinogénico, mientras que el glutaraldehído no ha mostrado claramente ninguno de estos aspectos. Sin embargo, en la aplicación clínica se ha mostrado también que es necesario emplear una alta concentración de glutaraldehído mientras que el formocresol puede ser diluído (3, 7).

## Óxido de cinc-eugenol

El óxido de cinc-eugenol (ZnOE) ha sido, históricamente, uno de los materiales más empleados para tratamientos pulpares después del formocresol. Su empleo más frecuente es referido a tratamientos de pulpectomías, pero también de pulpotomías en dientes temporales (29, 30, 31).

Se considera que el óxido de cinc-eugenol funciona como un cicatrizante y estimulador del órgano dentino-pulpar donde se fomenta el proceso de neoformación de dentina reparativa. Por otro lado, este medicamento también es considerado como un potente analgésico, por su rápida acción sedante (32).

Para el tratamiento de pulpotomía, la gran mayoría de los autores consultados consideran que este producto se usa como relleno de las cámaras pulpares de dientes temporales, una vez que se ha realizado el método de Buckley tradicional de pulpotomía al formocresol, como se explicó previamente (1, 2, 7, 8, 9, 10, 15, 16, 17, 33).

Pero muchos investigadores consideran su uso directo en pulpotomías, sin pasar por la aplicación de formocresol con una bolita de algodón previa. Así por ejemplo, algunos autores consideran que es conveniente, para este uso, dado que este material por sí mismo no tiene un efecto bactericida, añadir al óxido de cinc y eugenol un antiséptico pulpar que, por lo general, es el formocresol, como también se vio anteriormente (1, 2, 7, 9, 15, 16, 30, 31).

A este respecto, estudios *in vitro* de Tchaou y cols. analizaron el efecto antimicrobiano del óxido de cinc-eugenol, viendo que es bajo si se aplica solo o en combinación con clorhexidina, pero posee un nivel antibacteriano alto si se mezcla con formocresol (34).

Sin embargo, se ha observado también en estudios *in vitro* que el formocresol no forma enlaces químicos con el cemento de óxido de cinc-eugenol, y que, probablemente, al cabo del tiempo, estos elementos se separan (35).

Así, Ranly y García Godoy (36) consideran que no es necesario añadir formocresol al óxido de cinc-eugenol para lograr buenos resultados en pulpotomías de dientes temporales, y autores como Yacobi han obtenido un porcentaje de éxito igual al de los tratamientos con formocresol en estudios a 12 meses de control (37).

Pero a pesar de que este material ha mostrado buenos resultados en tratamientos de pulpotomía en dientes temporales, el óxido de cinc-eugenol tiene un efecto tóxico notable. Efectivamente, se ha visto, en múltiples estudios, que provoca reacciones de inflamación crónica, afectación del tejido perirradicular, y alteración en la erupción de dientes permanentes subyacentes a las piezas pulpotomizadas (29, 38).

Barker y Locket, Erausquin y Muruazabal, describieron cómo, en caso de pulpectomías en las que se extruía ligeramente el material más allá del ápice dentario, se producía inflamación y necrosis del tejido perirradicular (31).

Un estudio realizado en monos, por Fadavi y cols, mostró que el 100% de los molares tratados con pulpotomías con IRM® (ZnOE reforzado con resina) mostraron necrosis pulpar al cabo de 6 meses (39).

También autores como Nobuke y cols., mostraron que en pulpotomías llevadas a cabo con una mezcla de hidróxido de calcio y eugenol, se hallaban, siete días después del tratamiento, áreas de inflamación y necrosis tisular (40).

### **Hidróxido de calcio**

El hidróxido de calcio es un material que tradicionalmente se ha usado para realizar pulpotomías en dientes permanentes por su capacidad antibacteriana y estimuladora en la formación de dentina secundaria. Se ha visto, a lo largo de las múltiples investigaciones al respecto, que el alto pH del hidróxido de calcio permite las condiciones favorables para la reparación del tejido pulpar adyacente (29, 41, 42, 43).

Stanley describió la histología de la cicatrización por zonas, después de haber realizado el recubrimiento pulpar directo con varios productos que contenían hidróxido de calcio a diferentes valores de pH. Este autor estableció las etapas por las cuales pasa la zona pulpar que entra en contacto con el hidróxido de calcio (41). En resumen, describe cómo la zona pulpar que entra en contacto directo con el hidróxido de calcio presenta una necrosis por coagulación, bajo la cual se detecta una zona densa celular formada por células mesenquimatosas indiferenciadas y fibroblastos que proliferan y gradualmente se diferencian en preodontoblastos y odontoblastos. El autor describe cómo estas células son las responsables de la formación y la calcificación de un puente dentinario, puente que puede estar constituido tanto por dentina atubular irregular, como por dentina tubular, dependiendo este fenómeno de la capacidad de la pulpa para diferenciar las células formadoras de matriz calcificada.

En cuanto a la formación de este puente dentinario, también autores como Yamamura T, citado por Cardenas-Duque (44), describen varias etapas, en las que el tejido pulpar pasaría por un estado exudativo, seguido por uno proliferativo, uno de formación de osteodentina, y finalmente un estado de formación de dentina tubular.

Pero a pesar de ser un material que presenta múltiples cualidades, existe una cierta polémica acerca del uso del hidróxido de calcio en tratamientos pulpares de dientes temporales.

La mayoría de los estudios que consideran útil el uso de hidróxido de calcio en tratamientos pulpares de dientes temporales, se refieren a su empleo en pulpectomías, más que en pulpotomías (29, 45).

Investigaciones llevadas a cabo por autores como Mani y cols. han mostrado, en animales de experimentación, un éxito del 86,7 % en el empleo de hidróxido de calcio en pulpectomías de dientes temporales. Pero uno de los problemas que parece ofrecer este material es su rápida reabsorción. Esto, para algunos autores, no ofrece problema en la dentición temporal, puesto que, empleado en pulpectomías, es adecuado que se reabsorba al

igual que las raíces, pero en el tratamiento de pulpotomía sería un inconveniente, según ciertos investigadores (29).

En humanos, en tratamientos de pulpotomías en dientes temporales con hidróxido de calcio puro, algunos autores han encontrado niveles de éxito clínico y radiológico del 77%, después de 22 meses de estudio en 38 molares. Esta cifra, aunque menor que la del éxito de la técnica de formocresol, estimada en este estudio del 80%, no resultó tener una diferencia estadísticamente significativa con ella (16).

Por otro lado, estudios comparativos en pulpotomías en dentición temporal atribuyen un rango de éxito del formocresol entre el 92 y el 93%, mientras que con el hidróxido de calcio el éxito sólo se eleva a un 50% en el estudio histológico y al 64% en el análisis radiográfico. Otros autores estiman estos valores en 80% y 77% respectivamente (7).

Investigaciones llevadas a cabo por otros autores como Mérida, han mostrado, en animales de experimentación, que el hidróxido de calcio empleado en dientes temporales provoca resultados radiográficos diversos: formación total o parcial de un puente dentinario, reabsorción interna, lesiones periapicales por necrosis pulpar y reabsorción externa acelerada (41).

El relativo fracaso del hidróxido de calcio en pulpotomías de dientes temporales se ha atribuido frecuentemente a la reabsorción interna subsiguiente a una inflamación crónica debida a que este producto no presenta un efecto curativo en la inflamación crónica pulpar. Esta inflamación podría ser causada por la técnica de pulpotomía o bien estar presente previamente a ésta, por lo que sería un coágulo sanguíneo lo que no permitiría el contacto directo del hidróxido de calcio con la porción de pulpa sana, impidiendo la curación. Por ello, algunos investigadores opinan que estos inconvenientes pueden ser evitados o minimizados con un buen control de la técnica y del material empleados (7).

Otros autores como Sasaki y cols. eliminan el problema de la formación del coágulo mediante el uso de electrocoagulación previo a la aplicación de hidróxido de calcio en las

pulpas amputadas. Obtuvieron así buenos resultados clínicos y radiográficos en animales de experimentación (46).

También autores como Shroeder determinaron que la falta de una hemostasia adecuada, previa a la colocación del medicamento, afecta de forma adversa a la buena marcha de un tratamiento. La presencia de un coágulo sanguíneo cubriendo los muñones pulpares remanentes podría ser un factor determinante en el éxito de las pulpotomías al hidróxido de calcio en dientes primarios. Para ello, Heiling y cols. utilizaron un producto hemostático de aluminio colorado sobre el tejido pulpar previo al hidróxido de calcio. A los nueve meses se vio un alto nivel de éxito radiográfico (4).

Otros investigadores consideran que el fracaso del hidróxido de calcio en pulpotomías de dientes temporales se debe a que estimula a las células mesenquimatosas a diferenciarse en odontoclastos que provocan las reabsorciones radiculares internas detectadas en tratamientos con este medicamento (32).

Por otro lado, estudios comparativos acerca del efecto antimicrobiano de diferentes productos empleados en pulpectomías de dientes temporales demostraron que la mezcla del hidróxido de calcio con agua posee un bajo nivel germicida, mientras que sí es empleado junto con paraclorofenol canforado tiene un nivel antimicrobiano alto, similar al del formocresol con óxido de cinc-eugenol (3, 34).

### **Sulfato férrico**

El sulfato férrico,  $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ , es un agente hemostático. Cuando este producto contacta con la sangre, se forma un complejo de proteína iónica de hierro y una aglutinación de proteínas sanguíneas, formándose un microcoágulo y una membrana que sellan mecánicamente las venas dañadas, limitando así el sangrado. En odontología, ha sido empleado principalmente para el control de sangrado en cirugía oral, así como para provocar retracción gingival para la toma de impresiones (5, 9, 47).

Recientes estudios clínicos han referido prometedores resultados usando sulfato férrico en dientes primarios humanos pulpotomizados. Los autores que lo han propuesto, se basan en la capacidad hemostática de esta sustancia, y en que formaría, sobre la pulpa tratada, el mismo complejo proteínico que el que se halla en el tratamiento de venas. Esto impediría el paso de sustancias irritativas y permitiría, en pulpotomías, evitar los problemas derivados de la formación del coágulo y de la cascada de inflamación, reduciendo así las posibilidades de inflamación crónica y de reabsorciones internas, que son los factores que principalmente llevan al fracaso la técnica de pulpotomías en dientes temporales (4, 9, 15, 27, 47).

Así, Landau y Johnson emplearon sulfato férrico para el control del sangrado pulpar en pulpotomías realizadas en molares de primates. Los autores detectaron, 60 días después del tratamiento, mejores resultados con el sulfato férrico que con el empleo de hidróxido de calcio. Destacaron además que no se observó momificación de la pulpa en ninguno de los dientes tratados, pues el sulfato férrico no es un agente fijador. Según estos autores, las propiedades hemostáticas de este producto, sumadas a una respuesta pulpar favorable, podrían hacer del sulfato férrico un medicamento útil para la realización de pulpotomías en dientes temporales (9, 47).

Estudios clínicos realizados en niños, como los llevados a cabo por Fei y cols. mostraron buenos resultados. Se estudiaron 62 pacientes en los cuales se realizaron 83 pulpotomías en dientes temporales, comparando el efecto del sulfato férrico con el del formocresol. Después de un año de estudio, los resultados mostraron que 28 de los 29 molares tratados con sulfato férrico fueron considerados un éxito, mientras que sólo 21 de los 27 especímenes en los que se aplicó formocresol mostraron éxito clínico. Así, los resultados clínicos y radiográficos fueron mejores para el sulfato férrico que para el formocresol, con una diferencia estadísticamente significativa. Sin embargo los autores concluyeron que, aunque los resultados del estudio fueron prometedores, son necesarios más estudios a largo plazo para establecer conclusiones aceptables (5, 9, 20).

Autores como Davis y Furatado mostraron también buenos resultados en la aplicación de sulfato férrico en pulpotomías (4, 9).

Fuks y cols., en un estudio realizado en 1997, compararon la reacción histológica pulpar al sulfato férrico y al formocresol diluido al 20%. En este estudio, realizado en babuinos, el sulfato férrico fue aplicado, tras la remoción de la pulpa cameral, sobre los muñones pulpares, en una concentración de 15,5%, durante 15 segundos. Después del aclarado con agua, la cámara pulpar fue obturada con una mezcla de óxido de cinc-eugenol. Estos dientes fueron controlados entre 4 y 8 semanas y se analizaron histológicamente. Los resultados mostraron que un 58% de los molares tratados con sulfato férrico presentaron una pulpa normal, con ausencia de inflamación, siendo el porcentaje de 48% para los tratados con formocresol. Por otro lado, se halló la formación de puentes dentinarios en 50% de los dientes, tanto en un grupo como en otro (4, 9).

Estos mismos autores analizaron de nuevo la respuesta del organismo a pulpotomías realizadas con sulfato férrico al 15,5% en comparación con otras en las que se empleó formocresol, durante un período de observación de 24 a 34 meses. Los autores determinaron un éxito clínico del 93% de los tratamientos con sulfato férrico. En cuanto a los resultados radiológicos, encontraron que en un 4% se produjo una radiolucidez en la furca y en un 7% se observó una reabsorción interna radicular (21).

De un modo similar, investigadores con Smith NL, obtuvieron un nivel de éxito radiográfico estimado en 80% de los casos tratados con sulfato férrico, durante un período de estudio de 4 a 56 meses (47).

Recientemente, Ibricevic y cols. publicaron un estudio clínico en humanos, comparando el uso de sulfato férrico y de formocresol en pulpotomías de dientes temporales. Se analizaron 35 molares en cada grupo, con un tiempo máximo de estudio de 20 meses. Los resultados mostraron un éxito clínico valorado en un 100% y un éxito radiográfico de 97,2% en ambos grupos, hallándose en 2,8% de los casos reabsorciones internas. Los autores concluyeron que ante la igualdad de resultados, y dado que el sulfato férrico no es tóxico y es fácil de manipular, este producto podría ser un sustituto adecuado del formocresol en tratamientos de pulpotomías de dientes temporales, siendo necesarios más estudios a largo plazo para confirmar estos resultados (22).

Sin embargo, autores como Cortés y cols., en un estudio realizado en ratas de experimentación, no obtuvieron mejores resultados que con el empleo de formocresol. Efectivamente, después de 4 semanas de estudio, se apreció, en el análisis histológico, que el sulfato férrico provocó inflamación pulpar, sin diferencias significativas con respecto al grupo tratado con la técnica convencional con formocresol (48).

Así pues, ante la diversidad de resultados, la mayoría de los autores consideran que son todavía necesarios más estudios a largo plazo para establecer conclusiones definitivas acerca del uso del sulfato férrico en pulpotomías de dientes temporales (4, 9, 21, 22, 47, 48).

### **Productos iodofórmicos**

Se pueden encontrar, en la literatura científica, diversos artículos acerca del uso de productos que contienen iodoformo, en tratamientos pulpares de dientes temporales infectados. Los medicamentos más frecuentemente descritos son la pasta Vitapex® y la pasta Kri®.

La mayoría de estos estudios publicados se refieren a su empleo en tratamientos de pulpectomías y no de pulpotomías, por lo que sólo serán descritos brevemente en este apartado.

Uno de los productos con iodoformo más descritos es el denominado Vitapex (Neo Dental, Tokio, Japón; Nia Dent, Canadá). Esta pasta iodofórmica ha sido descrita por muchos autores como la mezcla de iodoformo e hidróxido de calcio (3, 31, 34, 49, 50).

Estudios *in vitro* sobre la capacidad antimicrobiana de diversos materiales empleados en pulpectomías, han demostrado que la pasta iodofórmica (Vitapex®), posee un potencial germicida menor que el del formocresol, el óxido de cinc-eugenol y el hidróxido de calcio mezclado con paraclorofenol canforado. De hecho se vio, en estos estudios, que posee el mismo efecto antibacteriano que el grupo control en el que se empleó vaselina (3, 34).

Sin embargo, otros autores, como García-Godoy, consideran que esta pasta es un material muy efectivo para el relleno de la cámara pulpar y conductos pulpares de dientes temporales infectados, en casos de tratamientos de pulpectomías (31).

En estudios clínicos realizados por estos mismos autores (49), se apreciaron, como principales ventajas de este producto, propiedades como su facilidad de manejo, su radiopacidad y el hecho de que se reabsorbe en el interior de los conductos pulpares en un intervalo de semanas a meses. Los autores describen también que este producto no produce alteraciones en el germen de los dientes permanentes subyacentes. Estos resultados fueron confirmados por Nurko y Garcia-Godoy en estudios similares realizados posteriormente (50).

Existe otro tipo de pasta iodofórmica, denominada Pasta Kri®, que se describe en la literatura científica como la mezcla de iodoformo, camfor, p-clorofenol y mentol.

Estudios de Rifkin y cols. consideraron este producto válido para su uso en tratamientos de pulpectomías de dientes temporales, basándose en los buenos resultados clínicos y radiológicos de su estudio con la pasta Kri® en dientes temporales (49).

La capacidad antimicrobiana de la pasta Kri® contra la flora bacteriana hallada normalmente en los procesos cariosos, fue analizada en investigaciones de Tchaou y cols. Se vio que su efecto es similar al del óxido de cinc-eugenol o al hidróxido de calcio mezclado con agua, mientras que su actividad antimicrobiana es inferior a la del óxido de cinc-eugenol mezclado con formocresol (34).

### **Materiales biológicos**

Algunos materiales biológicos han sido propuestos como agentes para pulpotomía con la teoría de que podrían estimular la curación fisiológica de la pulpa amputada. Se considera que estos productos no son tóxicos y son bien tolerados por el organismo, no conduciendo a la inflamación tisular. Se han estudiado así materiales como hueso

deshidratado, soluciones enriquecidas de colágeno, proteína ósea morfogenética y mezclas de hidroxiapatita. Se han hallado diferentes porcentajes de éxito en los diversos estudios publicados hasta la fecha, pero según muchos autores, resultan todavía escasas las investigaciones al respecto para poder determinar conclusiones definitivas (5).

### Hueso deshidratado

El hueso deshidratado (hueso liofilizado, *freeze-dried bone* o *FDB*) es un material empleado frecuentemente en periodoncia para la reparación de defectos óseos para regenerar hueso y cemento. A pesar de que el uso de partículas de hueso deshidratado en pulpotomías de dientes temporales no está muy extendido, existen algunos estudios que muestran ciertos resultados positivos.

Así, Fadavi y cols. observaron, en 1996, en un estudio en animales de experimentación, la formación de puentes de dentina en 100% de las muestras tratadas con hueso deshidratado y la ausencia o presencia leve de células inflamatorias. En el grupo control tratado con hidróxido de calcio, se detectaron puentes dentinarios sólo en 50% de los casos y la inflamación afectó al 100% de los casos de forma moderada o severa (39). Estos mismo autores ya vieron, en estudios previos realizados en 1989 en animales de experimentación, que el hueso liofilizado estimuló la formación de una barrera calcificada en 12 de las 15 muestras tratadas, después de 3 meses de estudio. (25)

Sin embargo, más tarde, estudios clínicos de Cortés O y cols. demostraron, en un estudio en animales de experimentación durante 45 días, que la aplicación de hueso liofilizado en pulpotomías producía signos de inflamación pulpar y sólo algunas pruebas leves de reparación tisular mediante formación de puentes dentinarios. Pero los autores concluyeron también que este producto es un material biocompatible y que, como tal, tiene un potencial reparativo sin los efectos indeseables de otros agentes. Por tanto, aunque son necesarios más estudios al respecto, el hueso liofilizado podría ser, según los investigadores, un material más aceptable que otros para su uso en pulpotomías de dientes temporales (51).

### Colágeno

Se considera que las preparaciones con colágeno acarrear un riesgo mínimo de causar reacciones inmunológicas adversas. Efectivamente, Nevins y cols. relataron, tras sus investigaciones, una ausencia de antigenicidad y Punlon refirió ausencia de producción de anticuerpos (4).

En cuanto al tratamiento de pulpotomía con colágeno, Fuks y cols. obtuvieron resultados descritos como muy mediocres por los mismos autores con el empleo de colágeno (Zyderm®) en pulpotomías de dientes temporales de animales de experimentación. Las muestras tratadas sufrieron necrosis completa y sólo se formó un puente dentinario en el 4% de los especímenes. Los autores atribuyeron el fracaso del colágeno a que la forma comercial no mantiene las características curativas del colágeno original, y a que posiblemente no permite un correcto sellado del área tratada, permitiendo el paso de sustancias tóxicas hacia el tejido pulpar y perirradicular (52).

### Proteína ósea morfogenética

Recientes estudios han demostrado que la Proteína ósea morfogenética (Morphogenetic bone protein o BMP) estimula, no sólo la formación de cartílago y hueso en implantaciones intra y extra esqueléticas in vivo, sino también la dentinogénesis y por tanto la formación de puentes dentinarios en dientes. Existen varios tipos de este producto biológico (BMP-2, 3, 4, 5, 6, 7) y son denominadas también OP (Proteína Osteogénica o Human osteogenic protein-1) o DVR (decapentaplegic-Vp-related) (9, 15, 53).

Algunos autores explican que las propiedades de las BMP derivan de su papel regulador en la diferenciación celular y que se ha demostrado la presencia de receptores específicos para estas proteínas en la pulpa dental (27).

Autores como Nalashim M. (54) han explicado con detalle el mecanismo de acción de las BMP. Efectivamente, en un estudio realizado en 1990, se vio cómo se formó dentina

reparativa a nivel de muñones pulpares en los que se colocó proteína morfogenética. Según explica el autor, el mecanismo comienza por una respuesta inmune celular, seguida de una reabsorción de las BMP y una proliferación de células mesenquimales, acompañada de una invasión vascular. Cuatro semanas después del tratamiento, se hallaron osteodentinoblastos formando una matriz en algunas zonas de la pulpa tratada. De nuevo cuatro semanas más tarde, los odontoblastos formaron dentina tubular próxima a la osteodentina. El autor concluyó que este estudio muestra cómo es posible que las BMP estimulen la mitosis de las células mesenquimales e induzcan la diferenciación de osteodentinocitos. La osteodentina formada jugaría también un papel esencial en la diferenciación de odontoblastos, formadores de dentina (54).

Más tarde, estudios de Lianjia y cols., demostraron en el año 1993, la inducción de osteodentina y dentina tubular en pulpotomías realizadas con diferentes tipos de BMP en animales de experimentación (15).

En el mismo año, Rutherford y cols. publicaron un estudio clínico en animales de experimentación, en el que se demostró también la formación de puentes dentinarios tras el tratamiento de recubrimiento pulpar mediante proteína osteogénica. Se vio entonces cómo se produjeron más puentes dentinarios en las muestras tratadas con esta proteína que con hidróxido de calcio, mientras que no se produjo ninguno de estos puentes reparativos en los dientes tratados con colágeno, ni en el grupo control de dientes no tratados. Se vio además, que la cantidad de nueva dentina formada era proporcional a la cantidad de proteína empleada en el tratamiento (53).

A pesar de que múltiples autores consideran que las propiedades de las BMP las capacitan para ser buenos productos para la pulpotomía de dientes temporales, y estiman que pueden ser la alternativa del formocresol en el futuro, reconocen que no se encuentran en la literatura suficientes estudios, ni análisis a largo plazo de estas proteínas, como para poder establecer conclusiones científicas al respecto (27).

#### Hidroxiapatita y Fosfato tricálcico

Un estudio publicado en una revista japonesa por Maruo K. en 1990, analizó y comparó el uso de hidroxiapatita, de fosfato alfa-tricálcico y de hidróxido de calcio (grupo control) como agentes curativos en pulpotomías de dientes temporales en perros. En cuanto al manejo del material, se vio que la mezcla del fosfato tricálcico con solución salina mostró mayor homogeneidad y viscosidad, que la hidroxiapatita con solución salina y, por tanto, una mayor facilidad de manipulación. Por otro lado, en cuanto a la reacción pulpar, se apreció en el estudio que la curación del muñón pulpar ocurrió antes en los especímenes tratados con fosfato tricálcico que aquéllos en los que se aplicó hidroxiapatita, y que se formó tejido duro a nivel de la pulpa en contacto con el material estudiado en un menor plazo de tiempo en el grupo de fosfato tricálcico que en los otros. Sin embargo, el grupo control tratado con hidróxido de calcio presentó la mayor rapidez en la formación de tal tejido duro. Otro resultado interesante fue el referido a la composición del tejido duro neoformado, pues en el grupo tratado con hidroxiapatita se formó osteodentina, mientras que en el que se aplicó fosfato-alfa tricálcico se halló dentina neoformada. Los autores concluyeron que el fosfato alfa-tricálcico presentó buenas condiciones y características para poder ser empleado en los tratamientos de pulpotomías (55).

### **Métodos no farmacéuticos**

Se han empleado métodos no farmacéuticos en la pulpotomía, como la electrocoagulación y el láser, para eliminar el proceso infeccioso residual. Todas estas técnicas han sido utilizadas por investigadores pero no se encuentran estudios clínicos a largo término que avalen completamente su éxito (5).

#### Electrocoagulación

Una forma alternativa a la pulpotomía convencional con formocresol, parece ser la utilización del bisturí eléctrico, con el cual se podrían realizar pulpotomías sin necesidad de aplicar medicamento alguno. Su objetivo sería similar al del uso de formocresol, es decir la desvitalización de la pulpa cameral, pero en este caso, no de

forma química, sino física. El bisturí eléctrico también se denomina electro-bisturí, y su técnica de uso es la electrocoagulación o electrocirugía (4, 15).

Se ha estudiado la posibilidad de emplear la electrocirugía en pulpotomías de dientes temporales, pero los resultados parecen todavía escasos y muy contradictorios como para establecer conclusiones con respecto a su uso.

La electrocirugía puede definirse como la aplicación de una corriente alterna de alta frecuencia cuyo efecto termal se usa para destruir o seccionar los tejidos vivos. Existe hemorragia después de su utilización, aunque muy reducida. Los bisturís eléctricos pueden trabajar de cuatro maneras: coagulando, disecando, por electro-desección y por fulguración. Los autores que han investigado el uso de este sistema en pulpotomías de dientes temporales, recomiendan para ello el empleo de la función corte-coagulación para estos procedimientos (56).

Autores como Shaw y cols. llevaron a cabo investigaciones en animales de experimentación acerca de la pulpotomía en dientes temporales con electrocirugía, en comparación con la técnica convencional del formocresol. Los resultados histológicos mostraron, después de un máximo de 6 meses de estudio, que la respuesta tisular de la pulpa tratada fue muy similar en los dos grupos de estudio. Sin embargo, no se pudieron estudiar datos estadísticos fiables, dado el tamaño reducido de la muestra (57).

Mack y Dean realizaron un estudio retrospectivo sobre la técnica de electrocirugía en un total de 164 pulpotomías en molares deciduos que fueron estudiados durante un tiempo de observación de 2 años y 3 meses. En cuanto a la técnica, tras la remoción del tejido pulpar cameral, se utilizó el Hifrecator 750 A® (a un 40%) sobre los muñones pulpares. Los autores demostraron que el porcentaje de éxito fue del 99,4 aunque dentro del concepto de éxito se consideró que se podían hallar anormalidades asociadas con la pulpotomía, siempre que dejaran al diente tratado asintomático clínicamente. Los autores compararon los resultados con un estudio retrospectivo de Hicks y cols. sobre 164 molares primarios tratados con pulpotomías al formocresol. Mostraron así que con la

electrocirugía se consigue un porcentaje de éxito mayor puesto que Hicks, en su estudio, reveló una tasa de éxito del 93,3% para la pulpotomía al formocresol (4, 56).

Recientemente, El-Meligy y cols. han observado, en pulpotomías de dientes temporales, resultados más favorables con el uso de la electrocirugía. Estos estudios se llevaron a cabo en animales de experimentación, con un tiempo máximo de estudio de 6 meses. Observaron que se detectaban menos alteraciones histológicas después del empleo de la técnica con electrobisturí de corte y coagulación, que con el uso de formocresol. Sin embargo los autores no hacen referencia aquí a los resultados clínicos (58).

También Sasaki y cols. observaron buenos resultados en animales de experimentación, con la aplicación de electrocoagulación previa a la aplicación de hidróxido de calcio en tratamientos de pulpotomía (59).

Pero existen también, en la literatura científica, artículos que muestran resultados desfavorables con el empleo de electrocirugía en pulpotomías de dientes temporales.

Oztas y cols. realizaron una evaluación histológica comparativa de la respuesta pulpar tras la pulpotomía realizada con electrocirugía frente al formocresol. Para ello, se escogieron 16 segundos molares primarios de 4 perros. Los dientes de la hemiarcada derecha fueron tratados con pulpotomía al formocresol convencional, mientras que a los del lado izquierdo se les aplicó el bisturí eléctrico. Tras la extirpación de la pulpa cameral, los muñones pulpares fueron tocados por el electrodo en forma de U (Micro Electro dental Unit-Micro Medical Electronit). Posteriormente, se realizó la evaluación histológica bajo microscopio de luz. Los autores concluyeron que la técnica con electro-bisturí no mantiene la pulpa en condiciones vitales y dedujeron que existe una evolución hacia la necrosis de la misma. Por otro lado, la intensa infiltración celular inflamatoria, mostrando la formación de abscesos en el periodonto del grupo tratado con electrocirugía, indicó que la curación completa no se logra a pesar de la formación de puentes dentinarios. Los resultados obtenidos mostraron que el formocresol es

histopatológicamente superior a la electrocirugía en el tratamiento de pulpotomía (4, 60).

En otro estudio realizado para comparar las pulpotomías electro-quirúrgicas con las realizadas con formocresol en dientes temporales humanos, se analizaron los resultados al cabo de 5 meses. Los autores estimaron un éxito clínico del 96% y un éxito radiológico del 84%. Sin embargo, los resultados del formocresol dieron niveles más altos de éxito, siendo de 100% a nivel clínico y de 92% a nivel radiológico. Los investigadores concluyeron que no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los dos grupos de estudio (61).

Otros autores como Shulman y cols. hallaron resultados desfavorables en el empleo de electrocirugía, pues se observaron, en los dientes tratados, reabsorciones patológicas, inflamación crónica pulpar y otras reacciones en el tejido pulpar como edema, fibrosis y necrosis (15).

### Láser

Aunque todavía parecen ser escasas las publicaciones acerca de la realización de pulpotomías con láser, para algunos investigadores, el uso del láser podría presentar una alternativa para las pulpotomías, mejor que la que ofrece actualmente la electrocirugía. Idealmente, la irradiación de la cámara pulpar con láser provocaría un área superficial de coagulación y necrosis compatible con la vitalidad del tejido pulpar subyacente. Se considera que, con este método, se consigue aumentar la reparación, estimular la dentinogénesis y preservar la vitalidad de la pulpa radicular (15, 62).

El láser presenta, según los investigadores revisados (62, 63, 64), múltiples acciones biológicas entre las cuales destacan su acción analgésica, antibacteriana y antiinflamatoria, así como su capacidad de estimulación del metabolismo celular, de la proliferación de fibroblastos, del sistema inmunitario y del sistema de coagulación

Los efectos más importantes que se han detectado en el tejido dentario son su acción esterilizante y su capacidad para modificar la estructura cristalina (reestructuración y recristalización del cemento, esmalte y dentina).

Yacobi y cols. proponen como alternativa al formocresol la pulpectomía con láser y sellado con óxido de cinc-eugenol, con un elevado nivel de éxito tras un año de estudio después del tratamiento (4, 37).

Liu y cols. analizaron la utilización del láser en pulpotomías de 23 dientes temporales, encontrando como resultados principales que sólo una de estas piezas presentó, tras 27 meses de estudio, signos de reabsorción interna, y que en el 50% de los casos, se formó una calcificación de los conductos radiculares pulpares. A pesar de estos resultados en principio favorables, los autores concluyeron que son necesarios estudios clínicos con muestras mayores y mayor tiempo de análisis para confirmar estos hallazgos (64).

Por otro lado, Elliot y cols. realizaron un estudio en humanos analizando el efecto de la realización de pulpotomías con láser de dióxido de carbono en 30 molares temporales. Después de 90 días de observación, se estableció la obtención de éxito clínico, pues los dientes permanecieron asintomáticos. Sin embargo, el análisis histológico después de la extracción de estas piezas, demostró que se había producido una reabsorción interna en 2 de los molares tratados, y que en ninguno de los casos se presentó la formación de un puente de dentina reparativa. Los autores concluyeron que son necesarios más estudios para confirmar estos resultados y para concretar cuál es el nivel de energía desarrollada por el láser más adecuada para obtener óptimas reacciones pulpares (65).

Por otro lado, estudios de Oztas y cols. demostraron que la técnica tradicional de pulpotomía al formocresol mostró mejores resultados histológicos que este nuevo sistema propuesto (3).

Por último, autores como Jukic y cols. destacan resultados desfavorables pues hallaron, en un estudio con animales de experimentación, que el láser de Co<sub>2</sub> y Nd:YAG, provocaba carbonización, necrosis, inflamación, edema y hemorragia en las pulpas tratadas, con pocas evidencias de reacción reparativa (27, 66).

#### **I.4. AGREGADO TRIÓXIDO MINERAL (MTA)**

Desde principios de los años noventa, un nuevo material denominado Agregado Trióxido Mineral o MTA (*Mineral Trioxide Aggregate*) ha sido investigado como potencial compuesto para sellar las vías de comunicación entre el sistema de conductos radiculares y la superficie externa del diente. Desde que fue descrito por primera vez en la literatura especializada en 1993 por Lee, Monsef y Torabinejad, este material ha sido investigado y empleado en múltiples y diversas intervenciones quirúrgicas y no quirúrgicas en el ámbito odontológico. El MTA fue aprobado por la Food and Drug Administration americana en 1998. El MTA es comercializado actualmente en España por Maillefer-Dentsply (Tulsa Dental), con el nombre de ProRoot® (67-69, 70-74).

El agregado trióxido mineral es un material compuesto por diversos óxidos minerales, donde el calcio es uno de los principales iones. El MTA es un polvo que consiste en finas partículas hidrofílicas y que fragua en presencia de humedad. La hidratación del polvo da lugar a un gel coloidal con un pH medio de 12,5, que solidifica formando una estructura dura. El tiempo de fraguado del cemento hidratado es de unas 4 horas aproximadamente (68, 69, 70, 72, 73).

##### **I.4.1. Composición y manejo del MTA**

Según se describe en la literatura (69), el polvo que compone del Agregado Trióxido Mineral es principalmente cemento de tipo Portland, que está formado por compuestos cálcicos. Así, los principales componentes del MTA son, en un 75%

compuestos cálcicos como silicato tricálcico ( $3\text{Ca-SiO}_2$ ), aluminato tricálcico ( $3\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ ), silicato dicálcico ( $2\text{CaO-SiO}_2$ ) y aluminato férrico tetracálcico ( $4\text{CaO-SiO}_2$ ); en un 20% por óxido de bismuto ( $\text{Bi}_2\text{O}_3$ ); en un 4,4% por sulfato de calcio dihidratado ( $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) y sílica cristalina; y finalmente por residuos insolubles como óxido de calcio y sulfato de potasio y sodio en un 0,6%.

Según estudios de Torabinejad y Hong, mediante espectrómetro de dispersión de rayos X y microscopio de escaner de electrones, la composición del MTA se basa principalmente en la presencia de silicato tricálcico, aluminato tricálcico, óxido tricálcico y silicato dicálcico, siendo las moléculas de calcio y los iones de fósforo las partículas más abundantes (70).

Autores como García Barbero y cols. en el año 2000 (73) realizaron estudios en profundidad para analizar la composición química mineralógica del MTA. El método elegido para llevar a cabo este análisis fue la difracción de rayos X. Éste es un método analítico espectral, que se fundamenta en la reflexión o dispersión de la radiación X que sufren los átomos de una sustancia cuando dicha radiación pasa a través de la misma. Los espectros de difracción de rayos X están bien definidos y son especificados para cada fase cristalina, proporcionando información sobre la estructura atómica o molecular. Este sistema analítico permite, como explican los autores, conocer las propiedades de los elementos y caracterizar la estructura de materiales cristalinos y amorfos (73).

Este método fue complementado por los autores con el empleo de microscopía electrónica de transmisión, que permite realizar una completa identificación de componentes, tanto mayoritarios como minoritarios. Así pues, mediante la combinación de estas técnicas de análisis riguroso mineralógico, los autores concluyeron que el Agregado Trióxido Mineral pertenece a los cementos tipo Portland, a excepción del óxido de bismuto que sería un componente añadido a este material. Según los investigadores, esta sustancia se emplea generalmente en selladores de conductos para dar radiopacidad y para suavizar la mezcla del cemento, proporcionando una masa más homogénea y de más fácil manipulación. Concluyeron además que, a pesar de que sería necesario analizar, no sólo la composición, sino también el comportamiento biológico del

material, se podría deducir que, al ser un cemento Portland, tiene unas características bien conocidas como la capacidad de proporcionar una barrera física impermeable una vez fraguado (73).

La composición química del MTA fue analizada también por autores como Torabinejad y Koh a través de diversas investigaciones, donde se utilizó la técnica de Rayos X con un espectrómetro de energía dispersa conjuntamente con el microscopio electrónico. El análisis demostró que las formas químicas aparecieron primero como cristales discretos y luego como una estructura amorfa aparentemente sin cristales y con apariencia granular. Finalmente, el valor medio de calcio en los prismas es de un 87% (+/- 3,7) y el de sílice es de 2,47% (+/- 0,67), el resto es oxígeno. En áreas de estructura amorfa y de cercana proximidad a las células se encontró la siguiente proporción: 33% (+/- 2,2) de calcio, 49% (+/- 3) de fosfato, 2% (+/- 0,32) de carbón, 3% (+/- 0,61) de cloruro y un 6% (+/- 0,91) de sílice (69).

En cuanto a la manipulación del material, se considera que el MTA debe prepararse, según los fabricantes y diversos investigadores, inmediatamente antes de usarlo. El polvo de MTA es presentado en sobres herméticamente sellados. Después de ser abiertos, el material debe guardarse en recipientes con tapas herméticas y lejos de la humedad (67, 68, 69, 70, 71, 72, 74).

El polvo debe mezclarse con agua estéril a una ratio de 3:1 en una loseta de vidrio o papel con la ayuda de una espátula de plástico o de metal. La mezcla puede llevarse en un transportador de plástico o metal a la zona operatoria. Si el área de aplicación está muy húmeda, el exceso de humedad puede eliminarse con un trozo seco de gasa, espuma, o algodón. En casos en que la mezcla esté muy seca, puede añadirse más agua a la mezcla hasta obtener una consistencia pastosa. Como el MTA requiere humedad para fraguar, dejar la mezcla en una loseta de vidrio o papel dará lugar a una deshidratación del material y a una mezcla seca y arenosa (67, 68, 69, 70, 71, 72, 74).

Lee y cols. en un estudio *in vitro* para evaluar la microfiltración de la amalgama, IRM y MTA, en perforaciones radiculares, llevaba con una pistola tipo "Messing" el

MTA al área a sellar, compactándolo con una torunda de algodón. Al parecer, el MTA no tiene que compactarse tan firmemente como otros materiales para lograr una adecuada adaptación a la superficie del diente. De hecho, Arens y Torabinejad, recomiendan que, en la reparación de perforaciones en la furca, al colocar el MTA directamente sobre la perforación, sobre todo si es muy amplia, se coloque el material con una presión mínima. Según Sluyk y cols., al colocar el MTA en una perforación, éste absorbe la humedad de la zona, manteniendo una consistencia pastosa. Esto mejora la fluidez, las características de humectación del material y su adaptación a las paredes dentinarias y ofrece, por tanto, la ventaja de poder ser utilizado en áreas húmedas. El tiempo de trabajo se considera aproximadamente de 4 minutos, ya que el material comienza a deshidratarse si pasa más tiempo (67, 68, 69, 70, 71, 72, 74).

Tras la colocación del MTA, los autores recomiendan cubrir el MTA con una torunda de algodón o una gasa húmeda de 1 a 3 días, para contribuir al fraguado. Por otra parte, Sluyk y cols. estudiaron el MTA en perforaciones de la furca y evaluaron las diversas condiciones de sellado coronario, colocando una torunda de algodón húmeda o seca. Los resultados no mostraron diferencias significativas con relación a la resistencia al desalojo. Una posible explicación es que la humedad de la zona es adecuada para mantener la necesidad hidrofílica del polvo y la condición de la torunda en la cámara pulpar sólo origina una pequeña diferencia, observada y no estadísticamente significativa. Por otro lado, Pitt Ford y cols. recomiendan que al sellar las perforaciones de furca, se obture por completo el acceso de la cavidad con MTA y que la restauración definitiva se coloque de 1 a 7 días después. A diferencia del estudio anterior, Sluyk y col. demuestran que a las 72 horas, el MTA resiste un desplazamiento al desalojo significativamente mayor, que a las 24 horas. Por ello, recomiendan que después de colocar el MTA, éste sea protegido con un material de restauración intermedia, de fraguado rápido y se deje durante 3 días sin tocar. Por otro lado, como el MTA fragua en presencia de humedad, la sangre no afecta su habilidad de sellado. Por esta razón no se considera imprescindible colocar una barrera, como se utiliza en otros materiales de obturación, empleados con la misma finalidad (67, 68, 69, 70, 71, 72, 74).

En cuanto a otras recomendaciones de manejo del Agregado Trióxido Mineral, los autores consideran que este material, por su composición química, puede provocar decoloración de la estructura dentaria, por lo que se recomienda que sea utilizado en el espacio del conducto radicular y cámara pulpar que se encuentra apicalmente a la línea gingival o cresta ósea (67, 68, 69, 70, 71, 72, 74).

#### **I.4.2. Propiedades del MTA**

Se considera que las propiedades del MTA varían según características tales como: el tamaño de las partículas que lo forman, la proporción en la mezcla de polvo y agua, la temperatura ambiente, la presencia de agua y de aire en el medio en el cual se coloca, entre otras (70). Pero en los diversos estudios llevados a cabo hasta la fecha, los investigadores han hallado propiedades físicas y químicas generales que caracterizan a este material.

##### Tiempo de endurecimiento

Se considera que el tiempo medio de endurecimiento del MTA es de 2 a 4 horas de media (69, 70). Los resultados de múltiples estudios han mostrado que el MTA tiene un tiempo de endurecimiento más largo en comparación con otros materiales como la amalgama. Autores como Torabinejad y cols., consideran a este respecto que, aunque es deseable que un material de obturación endurezca tan pronto como sea colocado en la cavidad a sellar, para que el tiempo que esté sin fraguar en contacto con el tejido vital sea el mínimo, es importante que no sufra una gran contracción. Sin embargo, en términos generales, a mayor rapidez de fraguado del material, mayor rapidez de contracción. Por ello, consideran que este fraguado lento podría permitir al MTA una leve contracción, lo que podría explicar por qué el MTA tiene una gran capacidad de sellado, filtrando menos colorante y bacterias, en estudios de filtración realizados con este material (68, 69, 70, 72, 75, 76).

Una de las ventajas que parece ofrecer el MTA, según diferentes autores, es además que el fraguado de este material se produce en presencia de humedad. Por ello, puede ser aplicado en áreas donde exista sangrado u otros fluidos fisiológicos. Es por lo que, también,

la mayoría de los autores aconsejan dejar en contacto con el MTA una torunda de algodón o una gasa húmeda durante un promedio de 3 a 24 horas, antes de obturar definitivamente el diente a tratar, e incluso algunos autores describen que es posible dejarlo en contacto directo con la saliva (68, 69, 70, 72, 75, 76).

### Valor del pH

Según Torabinejad y cols., el pH obtenido por el MTA después de mezclado es de 10,2 y, a las 3 horas, se estabiliza en 12,5 (69, 70, 74).

A partir de estos hallazgos, Torabinejad y cols. dedujeron que, al presentar un pH similar al cemento de hidróxido de calcio, si se aplicase esta sustancia como material de obturación apical, podría posibilitar efectos antibacterianos, así como inducir la formación de tejido duro, al igual que ocurre con el hidróxido de calcio (69, 70, 74).

### Radiopacidad

Dentro de la composición del MTA se han incluido partículas de óxido de bismuto, para favorecer sus propiedades de radiopacidad (70, 72). La medida de radiopacidad del MTA es de 7,17 mm de lo equivalente al espesor de aluminio (69).

Shah y col. (citados por Torabinejad), evidencian que el MTA es más radiopaco que otros materiales de obturación apical como el IRM® y el Super-Eba®, y es también más radiopaco que la gutapercha convencional y que la dentina, lo que permite su fácil distinción en placas radiográficas (70).

Según múltiples autores, una de las características ideales para un material de obturación, es la de ser más radiopaco que sus estructuras limitantes cuando se coloca en la preparación cavitaria, y el MTA presentaría, pues, esta ventaja de distinguirse fácilmente en las radiografías (68, 69, 77).

Estudios de Laghios y cols. (77), analizaron comparativamente la radiopacidad de diversos materiales empleados para la obturación apical de raíces (amalgama de plata, cemento de ionómero de vidrio, gutapercha, IRM® y Super-Eba®). Los resultados mostraron que el MTA se distingue de la dentina por su mayor radiopacidad, pero resulta ser menos radiopaco que los otros materiales de obturación analizados en este estudio (77).

### Resistencia a la compresión

En los diferentes estudios llevados a cabo con respecto al MTA, la resistencia a la compresión de este material ha resultado ser, a los 21 días, de aproximadamente 70 Mpa (68, 69, 70, 73), comparable a la del IRM® y Super-Eba®, pero significativamente menor que de la amalgama, que es de 311 Mpa. (68, 69, 70).

La resistencia a la compresión de un material es un factor importante a considerar, principalmente cuando se emplea como obturación en una cavidad que soporte cargas oclusales. Sin embargo, en los casos en que el material se emplee con fines como sellado apical, pulpotomía, recubrimiento pulpar, o reparación de lesiones de furca, la resistencia compresiva no es un factor principal, debido a que en estos casos los materiales no soportan una presión directa. Por todo ello, no se aconseja el empleo de MTA en áreas compresivas, pero sí en tratamientos internos dentales (69, 70, 74).

Una de las características destacadas por los autores en los estudios sobre el MTA es que su endurecimiento y su resistencia a la compresión aumentan con el tiempo, siempre que en el ambiente donde esté situado exista un mínimo de humedad, pues este material, como ya se ha mencionado, fragua en presencia de humedad (70).

### Solubilidad

Los trabajos realizados por Torabinejad y cols. respecto a la solubilidad del MTA concluyen, en términos generales, que no se evidencian signos significativos de solubilidad en agua. Así mismo, se han demostrado resultados similares en cuanto a solubilidad para

otros materiales de obturación como el Super-Eba® y la amalgama, mientras que sí se observan signos de solubilidad para el IRM (70).

Según Grossman y Plum (citados por Torabinejad), la falta de solubilidad es una de las características ideales de un material de obturación para lograr un correcto sellado. El desgaste de los materiales de obturación puede ocurrir por los ácidos generados por la bacteria, ácidos presentes en comidas y bebidas, por desgaste por contacto oclusal o por contacto con fluidos internos como el del tejido perirradicular. El hecho de que el MTA presente un nivel muy bajo de solubilidad en agua, es una característica positiva para poder emplearlo como material de obturación y sellado (69, 70).

### Capacidad de sellado

La capacidad de sellado del MTA ha sido evaluada principalmente en calidad de material de obturación apical y de reparación de perforaciones de furca. Para ello se han empleado varias técnicas como el grado de penetración de colorantes, radioisótopos, bacterias, medios electroquímicos y técnicas de filtración de fluidos. Básicamente, estos estudios pueden ser divididos en dos grupos:

- microfiltración de partículas no bacterianas
- microfiltración de bacterias y toxinas

En cuanto a la microfiltración de partículas, se han llevado a cabo numerosas investigaciones para analizar la filtración de partículas a través del MTA, siendo la penetración de colorantes uno de los métodos más empleados. Según autores como Torabinejad y Bates, cuando un material de obturación no permite el paso de moléculas pequeñas, tales como las partículas de colorante, tiene el potencial de prevenir la filtración de bacterias y de muchas de sus endotoxinas, que tienen un tamaño molecular mayor que el del colorante (69, 78, 79). Por ello, la técnica de filtración de fluidos permite evaluar la capacidad de un material de resistir la microfiltración. La medición del filtrado refleja la totalidad de la filtración acumulada en la interfase entre la restauración y la dentina y, en consecuencia, puede aportar información con valor cuantitativo. Este método es considerado

actualmente el más fiable para determinar la capacidad de sellado de los materiales de obturación apical. La mayoría de los estudios de filtración de MTA se refieren a su aplicación como material de obturación apical (78, 79, 80).

Lee y cols. realizaron un estudio *in vitro* sobre 50 molares extraídos, evaluando y comparando el sellado obtenido con el MTA, la amalgama y el IRM, aplicados como material de reparación de perforaciones radiculares, en un lapso de tiempo de cuatro semanas. El marcador empleado fue el azul de metileno. Los resultados demostraron que el IRM y la amalgama muestran una considerable cantidad de penetración sin una diferencia estadísticamente significativa entre éstos, mientras que el MTA filtró significativamente menos que estos dos materiales. Los autores concluyeron que una posible explicación a esta cualidad del MTA es el hecho de ser hidrofílico y endurecer en presencia de humedad, mientras que los demás materiales no se ven favorecidos por estas condiciones (67, 69).

Torabinejad y cols. compararon *in vitro* la calidad del sellado del MTA, la amalgama libre de cinc y el Super-Eba®, utilizando colorante fluorescente de rodamina B y un microscopio monofocal. Se estudiaron, durante 24 horas, 30 raíces obturadas en su ápice con los diferentes materiales de investigación. Los resultados indicaron de nuevo que las cavidades obturadas con MTA presentaban un menor grado de filtración de colorante, dándose casos donde el colorante no penetró en absoluto. Las cavidades obturadas con Super-Eba® filtraron menos que las obturadas con amalgama; sin embargo, el colorante no sólo penetró en la unión entre el Super-Eba® y las paredes dentinarias, sino que se incorporó dentro del material (79).

En otra investigación realizada por Torabinejad y cols. en 1994, se comparó la cantidad de filtración del colorante en presencia y ausencia de sangre. Éste se considera un aspecto crítico desde el punto de vista clínico, ya que la presencia de humedad y sangre son factores que pueden contaminar la preparación y los materiales de obturación a retro. Los resultados mostraron que la filtración en el MTA es significativamente menor que en otros materiales (amalgama, Super-Eba®, IRM®), tanto en presencia como en ausencia de sangre (78).

En 1995, un nuevo estudio de Torabinejad y cols. evaluó *in vitro* el tiempo que tardan en penetrar 3 mm de espesor tres materiales diferentes (MTA, amalgama, Super-Eba®, IRM®), el *Staphylococcus epidermis*. Para ello fueron analizados 56 dientes unirradiculares humanos extraídos. Los resultados mostraron que el tiempo fue de 6 a 57 días para la amalgama, el Super-Eba® y el IRM®, mientras que la bacteria tardó significativamente menos para el MTA, puesto que 8 de las 10 muestras tratadas con este material no filtraron nada en los 90 días del estudio (81).

Torabinejad y cols., analizaron la reacción *in vitro* a la filtración de colorante de 76 unirradiculares humanos extraídos y obturados apicalmente con MTA, Super-Eba® y amalgama de plata. Los resultados mostraron de nuevo que la microfiltración fue significativamente menor en los casos tratados con MTA que en aquéllos obturados con los otros productos (80).

También Yatsushiro y cols. en 1997, en un estudio *in vitro* en molares extraídos, analizaron la microfiltración producida en obturaciones apicales con amalgama y MTA. Los resultados mostraron, tras 24 semanas de investigación, que la amalgama permitía un mayor rango de filtración que el MTA (82). Los mismos autores realizaron otro estudio similar en 1998, comparando la microfiltración del MTA y una amalgama con alto contenido de cobre, utilizados también como materiales de obturación en cavidades apicales. Los resultados mostraron que la amalgama tiene un rango de filtración comprendido entre 50,8 y 84,1 nl/min, mientras que la conducción en el grupo tratado con MTA tiene un rango entre 6,8 y 10,8 nl/min, demostrando nuevamente que la amalgama produce una microfiltración significativamente mayor que la del MTA (69, 82).

Más tarde, Wu y cols. (83), analizaron *in vitro* 100 dientes de animales de experimentación extraídos, en los que se realizaron cavidades y se obturaron con diferentes materiales de obturación apical (MTA, ionómero de vidrio, amalgama y Super-Eba®). Se empleó, para analizar la microfiltración, un sistema de transporte de fluidos. El tiempo total de estudio fue de 1 año, analizándose la filtración a las 24 horas, 3, 6, y 12 meses. Los resultados mostraron que el porcentaje de filtración aumentó considerablemente para las muestras tratadas con amalgama (del 20 al 100%) y Super-Eba® (de 0 a 55%), mientras que

se redujo notablemente en los casos obturados con MTA (del 55 al 0%). En las revisiones posteriores se vio cómo la filtración con Super-Eba® y amalgama fue disminuyendo, mientras que el nivel se mantuvo en las muestras de MTA hasta el final del experimento. En los análisis a los 3, 6 y 12 meses, los casos tratados con ionómero de vidrio y aquéllos con MTA, mostraron menos filtración que los especímenes obturados con Super-Eba®, siendo la amalgama la que mostró mayor índice de filtración. Los autores consideran que el hecho de que el MTA aumente su capacidad de sellado con el tiempo, se debe a su propiedad de incrementar su fraguado y, por tanto, su resistencia a la compresión a lo largo del tiempo, y al estar en contacto con humedad. Por otro lado, consideran que el haber hallado que el MTA filtra inmediatamente tras su colocación, durante las 24 horas iniciales, contrasta con otros estudios en los que se vio que el sellado correcto comenzó justo tras su colocación. Atribuyen este hecho al fenómeno que podría producirse al usar colorantes como la solución de azul de metileno, que puede decolorarse al estar 24 horas en una inmersión de las pruebas de obturación de MTA, en cuyo caso altera los resultados del estudio. Esto, según dicen, es posible que hubiera ocurrido en otras investigaciones (83).

Recientemente, en el año 2000, Aqrabawi J. (84), analizó la filtración de colorante (azul de metileno) *in vitro* en 79 canales radiculares de dientes humanos extraídos. Se dividieron en 3 grupos de 25 piezas cada uno, estudiando así 3 materiales de obturación diferentes: la amalgama de plata, el Super-Eba® y el MTA. Los resultados mostraron, a las 72 horas, los niveles de filtración: 56% para la amalgama, 20% para el Super-Eba®, y 0% para el MTA. Las diferencias fueron estadísticamente significativas. Los autores concluyeron que en las condiciones de este estudio, el MTA sería un material de obturación apical mejor, en cuanto al sellado, que la amalgama y el Super-Eba, pero especifican que esto no es directamente extrapolable a las condiciones clínicas reales, pues en éstas influyen muchos más factores, no analizados en esta investigación (84).

Con respecto al estudio de la microfiltración de bacterias y toxinas, Goldman y cols. afirman que, en las pruebas de microfiltración de los materiales hidrofílicos, las bacterias dan una mejor indicación que los colorantes. Esto se debe, según estos autores, a que los colorantes, en las pruebas, pueden dar falsos positivos si sus moléculas son lo

suficientemente pequeñas si, como consideran Wu y cols., algunos colorantes pueden decolorarse en una inmersión de las pruebas estudiadas (69, 83).

Así, investigadores como Torabinejad y col., han estudiado la penetración bacteriana a través de materiales de obturación apical. En este trabajo, determinaron *in vitro* el tiempo necesario para que el *Staphylococcus epidermidis* penetrara 3 mm de espesor de la amalgama, el Super-Eba®, el IRM® y el MTA. La mayoría de las muestras que fueron obturadas con amalgama, Super-Eba®, o IRM® comenzaron a filtrar desde los 6 hasta los 57 días. En cambio, la mayoría de las muestras cuyos ápices fueron obturados con MTA (8 de 10 especímenes) no mostraron filtración durante el período experimental (90 días). El análisis estadístico de los datos no mostró diferencias significativas entre la filtración de amalgama, Super-Eba, e IRM®, pero el MTA filtró significativamente menos que los otros materiales de obturación (69).

Sin embargo, en un estudio posterior realizado por Adamo y cols., no se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre los materiales de obturación a retro: amalgama, MTA, Super Eba® y resina, con respecto a la microfiltración bacteriana, específicamente al *Streptococcus salivarius*, tras 21 días de investigación *in vitro* (69, 85). Tampoco Bates y cols. hallaron diferencias significativas en un estudio en el que se investigaron los mismos materiales (86).

Por otra parte, Tang y cols. estudiaron en 1997 la capacidad para prevenir la microfiltración de endotoxinas bacterianas con diversos materiales de obturación a retro (MTA, amalgama, IRM® y Super-Eba®). Se demostró así que el MTA resultaba ser superior a la amalgama y al IRM en todos los períodos de prueba y también superior al Super EBA en los intervalos de tiempo de 2 y 12 semanas (69).

En 1998, un estudio realizado por Fischer y cols. determinó el tiempo que necesitaba la *Serratia marcescens* para penetrar 3 mm de espesor en los materiales de obturación: Super-Eba®, amalgama libre de cinc, Material Restaurador Intermedio (IRM®) y el MTA, en cavidades apicales. Se analizaron *in vitro* 56 piezas unirradiculares. Los resultados ratificaron otras investigaciones anteriores, pues el MTA presentó una menor microfiltración

bacteriana que los demás materiales. De hecho, se vio cómo comenzó la filtración en las muestras de amalgama a los 10 a 63 días, las muestras de IRM® a los 28 a 91 días y a los 42 a 110 días para el Super-Eba®. Sin embargo, de 49 muestras obturadas con MTA, sólo 4 ejemplares filtraron en los 120 días que duró el estudio. Consideran que estos resultados se deben a que el MTA presenta cierta capacidad antibacteriana y que su fraguado es lento y permite que vayan aumentando, en presencia de humedad, el sellado y su resistencia con el tiempo (69, 87).

Por otro lado, Nakata y cols. (69, 88) utilizaron un modelo de filtración bacteriana anaerobia, para evaluar la calidad del sellado del MTA y la amalgama cuando son utilizados en la obturación de las perforaciones. Estos autores se basaron en la premisa de que la utilización de un modelo de filtración anaerobia es clínicamente relevante, debido al predominio de microorganismos anaerobios en las infecciones de origen endodóntico (Baumgartner y Falkler, 1991 citados por Walton y Torabinejad, 1997). En este estudio se demostró que los dientes reparados con MTA permiten una menor microfiltración bacteriana del *Fusobacterium nucleatum*, en comparación a los dientes donde se reparan las perforaciones con amalgama, siendo la diferencia estadísticamente significativa (88).

Adamo y cols. realizaron, en el año 1999, un nuevo estudio sobre filtración bacteriana. En esta investigación, se analizaron 60 dientes unirradiculares humanos extraídos durante 12 semanas. Los materiales investigados como material de obturación apical fueron el MTA, el Super-Eba®, el composite y la amalgama de plata. Se determinó la capacidad de impedir la penetración del *Streptococcus Salivarius*. Los resultados mostraron que después de 4 semanas, el 10% de los especímenes de cada grupo presentaba evidencias de filtración. A las 8 semanas, el 20% de las muestras tenía filtración. A las 12 semanas, al finalizar el estudio, las diferencias entre los materiales fueron mínimas. Los autores concluyeron que no existió diferencia significativa entre ninguno de los materiales de obturación apical en ningún momento del estudio. Estos resultados contrastan con otras investigaciones realizadas por otros autores (aunque no con las demostradas por los mismos autores en 1996, o por Bates y cols.), en las que se aprecian mejores cualidades del MTA. A pesar de todo esto, los autores consideran, al igual que especifican muchos otros, que estos resultados *in vitro* no son directamente extrapolables a las condiciones clínicas reales, pues

allí existen interacciones con los fluidos orales y además, este estudio resulta ser únicamente cualitativo, no cuantitativo, es decir que analiza si existe filtración, pero no en qué magnitud, lo que sí se ha estudiado en otras investigaciones (89).

En el año 2001, Scheerer y cols. estudiaron la capacidad para evitar la filtración bacteriana de tres materiales de obturación apical: amalgama, Super-Eba® y MTA. La bacteria que se empleó para la investigación fue la *Prevotella nigrescens*, basándose en la premisa de que autores como Dougherty y cols., citados por Scheerer y cols. (90), mostraron previamente que esta bacteria fue la aislada más frecuentemente en los segmentos apicales y coronales de dientes humanos infectados. Se analizaron 100 dientes humanos *in vitro* durante 47 días. Los resultados mostraron que el MTA es capaz de evitar la filtración de este microorganismo, al igual que los otros dos materiales estudiados, sin que existieran, en esta investigación, diferencias significativas entre ellos. Los autores consideran que estos resultados contrastan con otros estudios de microfiltración bacteriana en los que se estudiaron otras bacterias y se hallaron diferencias. Explican este fenómeno por el hecho de que la *Prevotella nigrescens* es un microorganismo de mayor tamaño que otras bacterias, siendo por ejemplo seis veces más ancha que el *Staphylococcus epidermis* y que la *Serratia marcescens* (90).

Estudios recientes de Tang, Torabinejad y cols. analizaron la capacidad del MTA de evitar la filtración de endotoxinas en su empleo como obturación apical. Se trataron 104 dientes humanos y se estudiaron los resultados del Ensayo de *Limulus Amebocyte Lysate* con un colorante cromatógeno para endotoxinas. Después de 12 semanas, los autores concluyeron que la filtración de endotoxinas fue significativamente menor en los dientes tratados con MTA que en los que se aplicaron otros materiales (IRM®, amalgama o Super-Eba®) (91).

Autores como Torabinejad y cols., consideran que la capacidad de sellado que muestra el MTA se debe principalmente a características de este material como su bajo nivel de contracción, favorecido por el largo tiempo de fraguado y estabilización, al hecho de no ser soluble en presencia de agua, y a su capacidad de estimular la reparación tisular (70, 91).

### Adaptación marginal, subobtención y sobreobtención

En cuanto a la capacidad de adaptación marginal del MTA, la mayoría de los estudios realizados hasta la fecha en referencia a esta cualidad, se han realizado con respecto a la utilización de este material como obturación apical y como reparador de perforaciones de furca. Se considera que un material de obturación ideal debe adaptarse y, si es posible, adherirse a las paredes de la dentina (69).

Con el fin de evaluar la capacidad de adaptación marginal del MTA en obturaciones apicales, Torabinejad y cols., realizaron un estudio comparándolo con otros materiales como el Super-Eba® y la amalgama. Los resultados mostraron que, excepto para las muestras obturadas con MTA, la mayoría de las raíces seccionadas longitudinalmente presentaban brechas y vacíos entre el material de obturación y las paredes de la cavidad. Las cavidades apicales obturadas con amalgama mostraron un grado más bajo de adaptación a las paredes dentinarias, mientras que, con el MTA, se observó la mayor adaptación y menor cantidad de brechas, presentando también el MTA un significativo menor grado de microfiltración (69).

También Lee, Monsef y Torabinejad, compararon en el año 1993, la capacidad de sellado de amalgama, IRM® y MTA en perforaciones de furca. Los resultados mostraron, entre otras características, que el MTA presentaba menor grado de sobreobtención que los otros dos materiales. Esto se debería, según los autores, a que la consistencia del MTA permite la adaptación en la lesión, sin necesidad de realizar una presión excesiva que pudiera extruir el material. Por otro lado, en este estudio se muestra también que el nivel de sobreobtención no interfiere en el nivel de filtración de colorante y, por tanto, no influiría en los resultados clínicos del tratamiento (67).

En otro estudio posterior de Torabinejad y col., se evaluó la adaptación marginal del MTA, la amalgama, el Super- Eba® y el IRM®, como materiales de obturación apical. Para ello, se compararon los cortes longitudinales de éstos con réplicas de resina bajo el microscopio electrónico de barrido. En cada caso, se midió la distancia del material de obturación a la dentina. Es decir que en este estudio, la adaptación de los materiales de obturación a retro se evaluó directamente en cada caso. Se halló que el IRM fue el material

que produjo las brechas más amplias, mientras que las más pequeñas fueron observadas en los especímenes tratados con MTA. El análisis estadístico de la medición de estos espacios mostró que el MTA ofrece una mejor adaptación comparado con al amalgama, el IRM y el Super-Eba®. Los autores concluyeron que estas capacidades podrían ser producidas por la consistencia del MTA, que presenta poca fluidez y, por tanto, se adapta a la cavidad dental, así como a una posible expansión leve de este material que mejora su adaptación marginal (92).

Un estudio de 1995 de Stabholz y cols., examinó el potencial de adaptación marginal de 5 materiales de obturación a retro. Estos autores demostraron la correlación existente entre la adaptación marginal y la capacidad del sellado. Sus resultados mostraron, además, que el MTA proporcionó mejor adaptación y sellado que los materiales comúnmente utilizados como obturadores a retro (69).

La forma de condensación del MTA ha sido estudiada principalmente en su uso como obturación apical y como reparador de perforaciones radiculares y de furca. Según la mayoría de los autores, la extrusión más allá del ápice de cualquier material de relleno durante la reparación de perforaciones radiculares puede constituir un problema, pues puede causar una lesión traumática al ligamento periodontal circundante, generando así una inflamación que retarda la cicatrización de la lesión (Martin y cols. citados por Lee y cols.) (3, 16). Sin embargo, para otros autores, el hecho de que el MTA pueda sobrepasar los límites dentarios no supone un problema patológico, pues el tejido perirradicular tolera bien la presencia de este material, dado su alto nivel de biocompatibilidad (67, 93, 94).

En un estudio *in vitro* realizado por Lee y cols., se utilizó el IRM®, la amalgama y el MTA para reparar perforaciones radiculares en molares sanos extraídos de humanos. La tendencia de estos materiales a sub y sobre obturar fue evaluada. Los resultados de este estudio mostraron que la mayor sobreobturación se producía con el IRM®, seguido por la amalgama y por último el MTA, que se sobreobturó menos. La explicación dada por los autores a este respecto fue que el MTA es un material que necesita poca fuerza de condensación, al ser un polvo hidrofílico que absorbe la humedad. Con respecto a la subobturación, la amalgama mostró la mayor tendencia, seguido por el MTA y luego el

IRM®. Por otro lado, tanto en la sobreobtención como en la subobtención, el MTA presentó una menor penetración del colorante, siendo la diferencia estadísticamente significativa (67, 69).

Otro estudio, realizado por Nakata y cols., donde se evaluó la sobreobtención y subobtención de los materiales de obturación apical, con la finalidad de comparar la capacidad del MTA y de la amalgama para sellar perforaciones de la furca, mostró que la sobreobtención se observa comúnmente en las reparaciones con amalgama. Con respecto a la microfiltración bacteriana, se evidenció que el MTA, en los 45 días que duró el experimento, no mostró microfiltración, mientras que 8 de las 18 muestras reparadas con amalgama mostraron microfiltración bacteriana en 45 días, siendo esta diferencia estadísticamente significativa (69, 72).

Holland y cols. (95), analizaron la posible aplicación de MTA como cemento sellador en el tratamiento de endodoncia, comparándolo con el Ketac-Endo®. Los resultados obtenidos mostraron, entre otras cosas, que el MTA no producía sobreobtención, mientras que en algunas de las muestras tratadas con Ketac-Endo®, se observó una ligera sobreobtención. Ésta fue causada, según los autores, porque este material posee una consistencia más líquida que el MTA, lo que provoca la extrusión del producto más allá de los límites dentarios, favoreciendo así la posibilidad de inflamación del área perirradicular.

Otro estudio en animales de experimentación que analizó la reacción tisular al empleo de MTA como obturación apical, fue el realizado por Shabanag y cols. en 1999. Estos autores observaron, entre otras cosas, que el grado de sobreobtención de este material en el límite apical tiene consecuencias importantes. En efecto, en las 14 muestras estudiadas, se observó que en 2 de ellas, en las que el material se extruyó de 1 a 3 mm del límite dental, se formó una capa continua de tejido duro reparativo, pero de grosor significativamente menor que en los especímenes en los que el material se adaptó sin sobreobtención. Sin embargo, el grado de inflamación fue leve, al igual que en el resto de las muestras. El estudio fue realizado en un lapso de tiempo de 12 semanas, por lo que no se conocen datos acerca del grosor del cemento neoforado a medio plazo (96).

Holland y cols. publicaron, en el año 2001, otro estudio en el que se analizó la respuesta tisular a la aplicación de MTA en la reparación de lesiones laterales de raíz provocadas en dientes de perros de experimentación, comparándola con la provocada por Sealapex (Kerr, Romulus, MI). Entre otros datos, los resultados mostraron que de todas las muestras, 22 presentaban sobreobtención, habiendo sido tratadas 15 de ellas con Sealapex® y 7 con MTA. Los autores consideran que el hecho de que el MTA produzca menos sobreobtención se debe a que su consistencia es menos fluida que la de otros productos como el Sealapex®, y que, dado que los mejores resultados en este estudio fueron obtenidos en las muestras no sobreobturadas, es importante que el material que se emplee en los procedimientos clínicos de obturación radicular, se mantenga en la correcta posición. Por tanto, el MTA sería un material más adecuado que el Sealapex® para estos tratamientos (97).

Para solucionar los posibles problemas de sobreobtención o extrusión del MTA al periápice en los tratamientos de obturación apical por vía coronal, algunos autores proponen el uso de una barrera colágena colocada de forma previa a la adaptación del MTA. (69, 94). Autores como Miñana y cols. recomiendan el uso, para este tipo de barreras, de materiales biocompatibles como: colágeno absorbible (CollaCote, Calcitek, Plainsboro, NJ, EE.UU.), hidroxiapatita o polvo de hidróxido de calcio (74).

La resistencia al desplazamiento del MTA, cuando éste es utilizado como material de reparación de furca fue estudiada por Sluyk y cols. Estos autores encontraron que el MTA muestra una alta resistencia al desplazamiento a las 72 horas de haber sido colocado, resistencia significativamente mayor que la mostrada a las 24 horas de su colocación. Ello indica, según los investigadores, que la reacción química continúa después de la reacción inicial a las 24 horas de sellado, mejorando así la resistencia al desplazamiento (69).

### Biocompatibilidad

La biocompatibilidad se define como la capacidad de un material de producir una respuesta apropiada del huésped, cuando dicho material realiza una función o aplicación específica. Aplicado a la odontología, un biomaterial es toda aquella sustancia o material

inerte que se puede utilizar durante un período de tiempo como una parte del sistema biológico o que interacciona con él, con el fin de tratar, aumentar o reemplazar a cualquier tejido, órgano o función bucodental (98).

La biocompatibilidad puede estudiarse *in vitro* (cultivos celulares), *in vivo* (en animales de experimentación) y mediante estudios clínicos (en personas). Se considera que si un material no supera las dos primeras pruebas, *in vitro* e *in vivo*, no es apto para su uso en humanos. Dentro de los tests *in vivo*, los más utilizados son los tests subcutáneos, los tests intraóseos y los de sensibilización (medición del poder alergénico) (98).

En la actualidad, se aplican cuatro criterios para valorar científicamente la toxicidad de los materiales endodónticos (98). Estos consisten, en primer lugar, en la evaluación citotóxica (mediante cultivos celulares), en la implantación subcutánea, en la implantación ósea y, finalmente, en la tolerancia tisular *in vivo* (mediante la realización de procedimientos clínicos en animales de la misma forma en que se harían en humanos). Así, se considera que los 3 tests recomendados para analizar la biocompatibilidad de materiales de endodoncia son (99):

- 1) Ensayos de citotoxicidad (*in vitro*).
- 2) Pruebas de implantación en animales de experimentación mediante implantación subcutánea y ósea para ver la reacción de toxicidad local.
- 3) Tests de uso *in vivo* en animales y humanos.

Los resultados de las pruebas de citotoxicidad *in vitro* pueden no correlacionarse altamente con los obtenidos *in vivo*. Sin embargo, se puede asegurar que, si un material de prueba induce constantemente una fuerte reacción citotóxica en las pruebas de cultivo celular, es muy probable que también ejerza toxicidad en el tejido vivo (3). Según varios autores, la investigación animal y su aplicación directa al género humano sigue siendo muy controvertida. Sin embargo, los modelos animales tienen gran utilidad porque permiten el control de las distintas variables y siguen siendo un requisito indispensable para dar luz verde a aquellos fármacos o materiales que se van a utilizar posteriormente en personas (98).

En cuanto al MTA, se considera que este material ha superado positivamente las pruebas de citotoxicidad *in vitro*, de implantación en animales y los tests *in vivo*. Así, fue reconocido por la *Food and drug administration* americana y se comercializa para su uso en humanos (65-70). Se encuentran, en la literatura más actual, múltiples estudios acerca del MTA, referidos a estas pautas de análisis de la biocompatibilidad.

La citotoxicidad *in vitro* de los materiales de obturación apical se analiza generalmente con respecto a la reacción de fibroblastos, de células osteoblásticas (o similares) y de células del ligamento periodontal, siendo estos dos últimos grupos más representativos, según diversos autores, pues son las células que van a estar en contacto si el material investigado se emplea como obturación apical en humanos (93, 100).

Torabinejad y cols. estudiaron, en 1995, la citotoxicidad del MTA empleando sistemas *in vitro* de cultivos celulares en placas de agar agar. Se encontró que la toxicidad del MTA era menor que la del IRM®, el Super-Eba® y la amalgama, tanto fresco como fraguado (68, 69, 101).

En otro estudio realizado por Osorio y cols., se midió la citotoxicidad de algunos selladores de conductos radiculares (Endomet®, CRCS® y AH26®) y de materiales de obturación apical a retro (amalgama, Gallium GF2®, Ketac Silver®, MTA y Super-Eba®). Estas investigaciones corroboraron el bajo grado de citotoxicidad que presenta el MTA en comparación con los otros materiales utilizados en esta investigación. Por otro lado, la citotoxicidad de materiales de obturación apical como el IRM®, el Super-Eba® y la amalgama, han sido ampliamente estudiados en otras investigaciones, como las de Zhu y cols., en las que se halló que estos tres materiales presentan todos un cierto grado de citotoxicidad para las células osteoblásticas y del ligamento periodontal, siendo la amalgama el producto más citotóxico (69, 100).

Koh y cols., investigaron *in vitro* la respuesta de células óseas al MTA, concluyendo que el material es biocompatible. Efectivamente, en este estudio se demostró que las células óseas permanecieron sin alteraciones patológicas en contacto directo con el MTA, y

mostraron además un aumento en la producción de interleuquinas, que participan en la formación de hueso, por estimulación del MTA (102).

Keiser y cols. en el año 2000, investigaron la respuesta *in vitro* de células de ligamento periodontal humano ante diferentes materiales de obturación: MTA, Super-Eba® y amalgama. Los resultados mostraron que el MTA fue menos tóxico que el Super-Eba® a todas las concentraciones estudiadas, tanto en el estado recién mezclado como a las 24 horas de la mezcla. El MTA fue también menos tóxico que la amalgama con el material recién mezclado. Finalmente, se concluyó que este estudio corrobora la posibilidad de uso del MTA en el área periapical en humanos (93).

En cuanto a la posible mutagenicidad del MTA, Kettering y Torabinejad, en 1995, realizaron un estudio para evaluar el potencial mutagénico de materiales de obturación apical como el IRM, el SuperEba® y el MTA. Los resultados mostraron que ni el MTA, ni el IRM®, ni el SuperEba®, son mutagénicos, según lo observado en este test (69, 103).

Para el completo estudio de las reacciones orgánicas ante un material, múltiples autores han recomendado las técnicas de implantación subcutánea *in vivo* e intraósea en pequeños animales de laboratorio (Friend y Browne, 1969; Langeland, 1975; Spångberg, 1990, citados por Torabinejad y Pitt Ford) (69).

En general, los resultados de los estudios de implantación han mostrado que los materiales de obturación causan inicialmente inflamación y se vuelven más biocompatibles con el envejecimiento, según autores como Wolfson y Seltzer, 1975; Mcarre y Ellender, 1990; Cleary y col. 1992 y Olsen y col. 1994 (citados por Torabinejad y Pitt Ford, 1996). Esto se debe, según los investigadores, al trauma quirúrgico y a la liberación de sustancias antigénicas de estos materiales durante los momentos inmediatos a la intervención (69).

Torabinejad y cols. realizaron un análisis comparativo de la reacción tisular a la implantación de MTA y de Super-Eba® en mandíbulas de animales de experimentación. Los resultados, obtenidos 2 meses después de la implantación *in vivo*, mostraron que en 5 de las 5 muestras de Super-Eba® se creó tejido conectivo fibroso, mientras que en uno de los 5

ejemplares tratados con MTA se formó tejido óseo. Por otro lado, se evidenció la presencia de inflamación en todas las muestras de Super-Eba®, mientras que 3 de las 5 muestras de MTA estaban libres de proceso inflamatorio. Las conclusiones de los autores fueron que los dos materiales son biocompatibles y que el MTA ofrece comparativamente mejores condiciones biológicas de biocompatibilidad (99).

En un estudio posterior realizado por Torabinejad y cols., se examinó también la reacción ósea ante la implantación del MTA, amalgama, IRM® y Super-Eba® en tibias y mandíbulas de cobayas. El MTA presentó la respuesta histológica más favorable. Los autores concluyeron que la ausencia de inflamación, junto con la gran incidencia de formación de tejido duro alrededor de los implantes con MTA, evidencian la biocompatibilidad del mismo y corroboran los resultados de investigaciones previas sobre este material (69, 104).

En otro estudio realizado por Holland y col., se evaluó la reacción del tejido conjuntivo subcutáneo en ratas, ante la implantación de conductos radiculares obturados con MTA e hidróxido de calcio. En este experimento se observó la formación de cristales y un tejido calcificado asemejando una barrera en la entrada de los túbulos con ambos productos. Esta deposición de cristales dentro de los túbulos dentinarios podría ser responsable de la menor permeabilidad presentada por la dentina, después del empleo del hidróxido de calcio (descrito por Pashley y cols. en 1986 y por Holland y cols. en 1999). Los mismos resultados reportados para el hidróxido de calcio se observaron con el MTA en este experimento (69).

Esta similitud en la reacción tisular entre el hidróxido de calcio y el MTA ha sido motivo de investigaciones, ya que se conoce que el MTA no contiene hidróxido de calcio en su composición. De acuerdo con Lee y cols., los componentes principales presentes en el MTA son silicato tricálcico, aluminio tricálcico, óxido tricálcico y óxido de silicato. Además de los trióxidos, hay algunos otros óxidos minerales que pueden ser responsables de las propiedades químicas y físicas de este agregado mineral. Así, el MTA no tiene hidróxido de calcio, pero contiene óxido de calcio que, al reaccionar con los fluidos tisulares, puede formar hidróxido de calcio, *in situ*. Así pues, sería posible que el mecanismo de acción del MTA, por el cual estimula la deposición de tejido duro, tuviera alguna similitud con el del

hidróxido de calcio o fuera provocado por su presencia tras reacciones químicas, pero se considera actualmente que son necesarias más investigaciones a este respecto para confirmar los datos (69).

El MTA se ha estudiado también en múltiples investigaciones *in vivo* en animales de experimentación.

Pitt Ford y cols. estudiaron, en 1996, la reacción de la pulpa dental al contacto directo con MTA, realizando recubrimientos pulpaes directos en dientes de monos. El análisis histológico posterior al tratamiento mostró la vitalidad de las pulpas tratadas, lo que sólo es posible en presencia de una pulpa vital, pues se formaron puentes dentinarios y demostró también la ausencia de bacterias y de inflamación en el tejido pulpar (105).

Otros estudios, como el de Myers y cols. en 1996, han mostrado la biocompatibilidad del MTA en su empleo como material de recubrimiento pulpar directo, es decir en contacto íntimo con la pulpa (106).

En otro estudio (95), se analizó histológicamente la respuesta del tejido periapical de dientes con ápice abierto de animales de experimentación, en los que se realizaron endodoncias empleando como cemento el MTA. Los resultados mostraron que no se produjo inflamación en ninguno de los casos analizados y se detectó además la presencia de aposición de nuevo cemento. Por tanto, se concluyó que el MTA es un producto biocompatible (95).

Sousa y cols. demostraron recientemente, en el año 2001, que el MTA, estudiado histológicamente mediante un test de biocompatibilidad *in vivo* en perros, mostró ser un material biocompatible en su uso como material de obturación apical (107).

Los estudios en humanos realizados con MTA han mostrado también, en general, resultados positivos. Estas investigaciones están reflejadas en el apartado dedicado a las aplicaciones del MTA.

### Respuesta inmunológica y celular

La respuesta de un huésped a los materiales en contacto con el tejido es compleja y depende de muchos factores. La formación o reabsorción de tejidos duros tales como dentina, hueso y cemento, depende de la interacción de dentinoblastos y dentinoclastos, osteoblastos y osteoclastos y cementoblastos y cementoclastos, y cada uno requiere del otro para activarse. La interacción de estas células está gobernada por hormonas, factores de crecimiento y citoquinas (69).

En base a múltiples estudios histológicos realizados hasta la fecha, parece haberse demostrado que el MTA no es sólo un material de sellado que no provoca inflamación, sino que además no es inerte, porque produce un sustrato biológico activo para la formación de tejidos duros, estimulando este fenómeno.

Torabinejad y cols. estudiaron, en 1995, la respuesta del tejido perirradicular al MTA, en 46 dientes de perros beagle, cuando el MTA es empleado como obturación apical. Después de 18 semanas de haber realizado el tratamiento en los perros de investigación, se extrajeron los dientes y el área perirradicular quirúrgicamente, y se analizaron histológicamente. Los resultados mostraron que el MTA provoca una inflamación ligera, significativamente menor que la producida por la amalgama de plata, y promueve la formación de cemento reparador en el ápice (108).

Los mismos autores analizaron también la reacción del tejido perirradicular de 10 incisivos de monos. En estos dientes, se realizaron tratamientos de endodoncia y, posteriormente, de obturación apical a retro mediante MTA en la mitad de las muestras, y mediante amalgama de plata en el resto de los especímenes. Los resultados después de 5 meses mostraron la formación de una capa completa de cemento sobre la obturación de MTA en todas las muestras tratadas con este producto. Sin embargo, en los dientes tratados con amalgama, no se observó la formación de este tejido en ninguno de los casos tratados (109).

En un estudio similar, en 1997, Abedi, Torabinejad y cols. mostraron la formación de cemento sobre el MTA en su empleo como material de obturación apical en dientes de perros beagle (110).

En otro estudio posterior de Torabinejad y cols., también en 1997, se estudió de nuevo la respuesta histológica en el área perirradicular de dientes de monos endodonciados, en los que se obturó el ápice con MTA. Se vio que tras 5 meses de implantación de este material, no se detectaron áreas de inflamación en ninguno de los dientes tratados. Además, se observó la formación de una capa de cemento sobre las obturaciones de MTA, directamente en contacto con este material. Según esta investigación, el cemento neoformado se presentaba unido al cemento preexistente y su composición se caracterizó por la inserción de fibras similares a las de Sharpey (71).

Se considera que es mucho más favorable la formación de cemento sobre el material de obturación radicular o apical, que de otros tejidos fibrosos como ocurre como el resto de los materiales de obturación empleados hasta la actualidad. Esto es porque el cemento puede formar una unión biológica con el hueso similar a la superficie normal de una raíz dental. En la literatura actual, parece existir sólo una referencia a la formación de cemento con un material de obturación que no sea MTA, el composite, publicado por Andreasen en 1993 (111).

El origen de este cemento puede hallarse, según las investigaciones, en el ligamento periodontal original, o bien deriva del tejido conectivo formado a partir del hueso adyacente. Pero la cuestión sería por qué se forma este cemento reparativo. Según los autores, existen varios factores que permiten al MTA la capacidad de formación de cemento. Estos factores son principalmente su capacidad de sellado, su biocompatibilidad y su elevado pH.

Pero además, existiría una actividad del MTA que lo diferenciaría de otros materiales de obturación apical que son inertes o bien producen inflamación de los tejidos adyacentes. Esta propiedad del MTA es la capacidad de estimulación de citoquinas provenientes de células óseas (71).

Efectivamente, Koh y cols. realizaron un estudio con el fin de evaluar la respuesta inmunológica desencadenada por el MTA, comparando este material con el polimetilmetacrilato. Examinaron una población estandarizada de células y determinaron los cambios en la producción de citoquinas, osteocalcina y niveles de fosfatasa alcalina, evaluando, además, la adherencia de las células a los materiales experimentales. Se realizó esta investigación en base a la consideración de que la defensa del organismo, frente a los microorganismos extraños, como virus, bacterias y otras sustancias antigénicas, está mediada por una inmunidad natural o innata y otra específica o adquirida. Las fases efectoras de ambas están influenciadas, en gran parte, por hormonas proteínicas llamadas "citoquinas", que regulan la respuesta inmune y estimulan la actividad osteoblástica. Así pues, según esta investigación, el MTA provocaría una reacción tisular con activación de citoquinas, capaces de desencadenar una reacción osteoblástica (69).

En otra investigación realizada posteriormente por Koh y col. (102), se estudió *in vitro* la respuesta y la citomorfología de los osteoblastos, así como la producción de las citoquinas en presencia del Agregado Trióxido Mineral (MTA) y el Material de Restauración Intermedia (IRM). La respuesta tisular ante el IRM se caracterizó por la alteración en la forma y menor número de células, indicando que es un material tóxico, coincidiendo con los resultados de otros estudios de citotoxicidad que consideran que el componente tóxico del IRM es el eugenol (70). En cuanto a la reacción celular al MTA, después de 3 días de contacto entre el este material y las células óseas, se apreció que todas conservaban sus características originales, y que estaban en contacto directo con el MTA. Además, se detectó la presencia aumentada de interleuquinas, moléculas que estimulan la producción de células óseas y estimulan la actividad osteoblástica. Así pues, se concluyó que el MTA ofrece un substrato biocompatible y no inerte, sino biológicamente activo (102).

Holland y cols. (112), estudiaron la reacción en el tejido conectivo de ratas ante la implantación de túbulos de dentina rellenos unos con MTA y otros con hidróxido de calcio. Los resultados mostraron que la reacción es muy similar entre los dos materiales. Así, alrededor de las muestras se hallaron, para los dos productos, granulaciones formadas por cristales de calcita rodeadas de una reacción inflamatoria crónica moderada de células

gigantes. En el caso del hidróxido de calcio, estos cristales se forman por la reacción del calcio con el dióxido de carbono del tejido conectivo subcutáneo, que sería, según los autores, equivalente al tejido pulpar. Con el MTA, los resultados son similares, a pesar de que este producto no contiene hidróxido de calcio, sino otros elementos como silicato tricálcico, aluminato tricálcico, óxido tricálcico y óxido silícico. Los autores consideran que sería el óxido cálcico el que podría reaccionar con los fluidos corporales y originar hidróxido de calcio. Así pues, los autores concluyeron que el mecanismo de estimulación de formación de tejidos duros del hidróxido de calcio y del MTA sería muy similar, puesto que algunos componentes del MTA forman hidróxido de calcio (112). De hecho, otros estudios de Miñana y cols. han corroborado gran parte de esta teoría, demostrando que el óxido de calcio reacciona efectivamente con el agua de los fluidos dentales y perirradiculares, liberando iones hidroxilo. Se ha visto que estos iones, responsables del pH básico del material estudiado, difunden por los túbulos dentinarios, de igual forma que lo hacen los iones de hidroxilo liberados por el hidróxido de calcio (113).

Otro estudios histológicos empleando el MTA como material de obturación apical, han mostrado la formación de cemento en contacto con el material. En 1998, Shabahang y cols., estudiaron la reacción tisular en perros de experimentación durante 12 semanas, comparando el efecto del MTA, la Proteína-1 Osteogénica y del Hidróxido de calcio. Sobre los tres materiales se observó la aposición de cemento, sin que existieran diferencias significativas en la cantidad de tejido duro formado, ni en el grado de inflamación, que fue leve para los tres productos. Sin embargo, sí que se mostró diferencia significativa en cuanto a la consistencia del material duro formado apicalmente, siendo de mayor consistencia en los casos tratados con MTA. Además, en este estudio se vio que un factor importante en la formación de cemento es el grado de sobreobturación. Efectivamente, en los casos en que el MTA sobrepasó los límites dentales, aunque también se produjo tejido duro reparativo, la capa depositada fue continua pero más delgada (96).

En el año 2001, un estudio de Holland y cols., corroboró los resultados obtenidos ya previamente por autores como Koh y Torabinejad. Se analizó en esta investigación la respuesta tisular a la aplicación de MTA en la reparación de lesiones laterales de raíz provocadas intencionadamente en dientes de perros de experimentación. Los resultados

histológicos mostraron también la aposición de cemento sobre el MTA con el que se trataron las muestras. Los autores explican el mecanismo de producción de tejidos duros en base a sus resultados y a los análisis de autores anteriores: después de la reacción con agua, el MTA presenta dos fases específicas compuestas por óxido de calcio y por fosfato cálcico. Así pues, el MTA no contiene hidróxido de calcio, pero posee óxido de calcio que puede reaccionar con los fluidos tisulares formando hidróxido de calcio, como ya se ha explicado anteriormente. Este último producto es capaz de formar cristales de calcita y es posible que estos cristales y la fibronectina condensada alrededor, sean el sustrato biológico activo que ofrece el MTA para la formación de tejido duro. Efectivamente, la fibronectina acumulada sobre los cristales permite la adhesión celular y la diferenciación de las células en odontoblastos, si se trata de tejido pulpar, o en cementoblastos en el tejido del ligamento periodontal (97).

En resumen, el mecanismo de formación de cemento sobre el MTA se explicaría, según las distintas investigaciones, de la siguiente manera:

Por un lado, al contactar el óxido de calcio incluido en el MTA con el agua de los fluidos corporales, formaría hidróxido de calcio. Este compuesto reaccionaría a su vez con el dióxido de carbono presente en el tejido conectivo del ligamento periodontal, creando cristales de calcita. Estos cristales se verían rodeados por el organismo de fibronectina. Este tejido permitiría la adhesión celular. Por otro lado, el MTA desencadenaría además una reacción del sistema inmune de defensa que produciría citoquinas, células mediadoras del sistema inmune capaces de estimular la formación de tejidos duros, como hueso y cemento, al estimular células formadoras como los osteoblastos y los cementoblastos. Así pues, las citoquinas permitirían la diferenciación de las células adheridas a la fibronectina que rodea los cristales de calcita en osteoblastos y cementoblastos, estimulando así la formación de tejidos duros. Pero según los autores, este fenómeno aún no está muy definido y son necesarias más investigaciones al respecto (96, 97, 102, 112, 113).

En principio, según los autores consultados, el fenómeno de formación de cemento y hueso a nivel apical explicado anteriormente, sería similar al de formación de dentina. Las moléculas de dióxido de carbono de la pulpa serían las que reaccionarían con el hidróxido

de calcio, y las células estimuladas serían dentinoblastos formadores de dentina. Así, el resultado sería la formación de un puente de dentina en contacto con la pulpa dental.

Pitt Ford y cols. estudiaron, en 1996 (105), la reacción de la pulpa dental al contacto con MTA en monos, en cuyos incisivos se realizaron recubrimientos directos con este material. Se apreció la formación de un puente dentinario en 6 de los 6 dientes tratados después de 6 meses de la intervención. Este material neoformado fue analizado histológicamente con microscopio, comprobándose que eran puentes de dentina reparativa gruesos que se continuaban con la dentina original. Además, presentaban en su interior túbulos dentinarios, que resultaron ser más abundantes en las zonas más próximas a la pulpa. En algunas áreas, los puentes de dentina presentaban partes más irregulares, pero nunca túneles vacíos ni inclusiones de tejido blando. En este mismo estudio se comparó esta reacción con la producida por el hidróxido de calcio, viéndose que sólo en 2 de los 6 casos se formaron puentes dentinarios con este material y que éstos mostraban áreas discontinuas y túneles abiertos. Estos resultados acerca del hidróxido de calcio contrastan, en parte, con los mostrados por Pitt Ford y Roberts (114). Éstos hallaron una mayor proporción de puentes dentinarios con hidróxido de calcio, aunque no se comparó con MTA, sino con Prime Bond®. A pesar de ello, los puentes reparativos no se formaron en la totalidad de las muestras tratadas con hidróxido de calcio (105, 114).

También Abedi y cols. estudiaron la formación de puentes dentinarios reparativos tras el recubrimiento pulpar en dientes de animales de experimentación, comparando el MTA con Hidróxido de calcio. Los resultados mostraron que, en el grupo tratado con MTA, se formaron significativamente más puentes dentinarios y se produjo menos inflamación que en los dientes tratados con hidróxido de calcio (115).

Por otro lado, la posibilidad de que el MTA presente una actividad antibacteriana ha sido otro aspecto estudiado por los investigadores durante los últimos años.

Baumgartner y Falkler investigaron la flora bacteriana de los 5mm apicales de conductos radiculares infectados, asociados con lesiones periapicales. Estos autores encontraron que el 68% de las bacterias son anaerobias estrictas. Basándose en este trabajo,

Torabinejad y cols. realizaron un estudio tomando muestras de las especies bacterianas encontradas en el estudio anteriormente referido, tanto anaerobias estrictas como anaerobias facultativas y comparando los efectos antibacterianos de cuatro materiales de obturación apical: la amalgama, el óxido de cinc-eugenol, el Super-Eba® y el Agregado Trióxido Mineral. Los resultados mostraron que la amalgama de plata no tienen ninguna actividad antimicrobiana contra ninguno de los microorganismos de este estudio. En cuanto al Super-Eba® y el óxido de cinc-eugenol, se observó que tienen una cierta actividad contra los dos grupos bacterianos. El MTA no tuvo efecto sobre el grupo de anaerobios estrictos, pero sí pudo causar algunos efectos en 5 de las 9 bacterias facultativas incluidas en esta investigación. Los autores atribuyeron este efecto a su elevado pH y a la liberación o difusibilidad de sustancias en el medio de crecimiento bacteriano. Las conclusiones de este estudio fueron que ninguno de los materiales investigados poseía un efecto completo bactericida contra todas las bacterias analizadas, por lo que se puede suponer que, dado que en un conducto radicular humano infectado es probable que estén presentes más tipos bacterianos, ninguno de estos materiales es realmente efectivo contra el crecimiento bacteriano, pero todos, excepto los de amalgama de plata, presentan un cierto grado de actividad antibacteriana (116).

En otro estudio realizado por Hong y col., se evidenció el efecto antibacteriano del MTA sobre algunas bacterias. Se vio que el MTA posee un mayor efecto sobre el *Lactobacillus sp*, *Streptococcus mitis*, *Streptococcus mutans*, y *Streptococcus salivarius* y un menor efecto antibacteriano sobre el *Streptococcus faecalis* (69).

Se considera que una parte de los efectos antibacterianos del MTA se debe simplemente al fenómeno físico producido por su capacidad de sellado de los dientes y, por tanto, de evitar la filtración de bacterias. Por consiguiente, los estudios de microfiltración de bacterias comentados previamente podrían ser incluidos en este aspecto (69, 88, 85, 90, 91).

Por otro lado, a este respecto, se ha visto, como ya se explicó previamente, que el MTA contiene sustancias como el óxido de calcio, que reaccionan con los fluidos dentales formando hidróxido de calcio. Se sabe que el hidróxido de calcio tiene una elevada capacidad bactericida debida a su pH. Autores como Holland y cols. (117), han demostrado

que al hidróxido de calcio libera iones hidroxilo (OH<sup>-</sup>) que difunden por el medio y elevan el pH, llegando a un límite incompatible con la vida de los microorganismos presentes en los conductos radiculares. Además, se atribuyen otras acciones al hidróxido de calcio, pues se considera que la presencia de este producto en el conducto radicular impide la penetración de sustancias nutrientes para las bacterias. También se ha demostrado (Panapoulos y Kontakiotis citados por Holland) que el hidróxido de calcio reacciona con los fluidos capturando el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) presente en el conducto infectado y priva así a las bacterias de este sustrato necesario para el metabolismo de algunos de estos microorganismos (117).

### **I.4.3. Aplicaciones del MTA**

En las investigaciones realizadas hasta la fecha, el MTA se ha empleado principalmente en dientes permanentes. En éstos, el MTA se ha mostrado útil, tanto en casos de pulpas vitales como en los casos en que la pulpa dental es necrótica.

Las aplicaciones del MTA se pueden clasificar de la siguiente forma (68, 69):

- 1.- Aplicaciones en dientes permanentes con pulpa vital (recubrimiento pulpar directo, pulpotomía, apicogénesis.)
  
- 2.- Aplicaciones en dientes permanentes con pulpa necrótica (apicoformación, obturaciones apicales, reparación de lesiones de furca, reparación de perforaciones radiculares, reparación de reabsorciones radiculares, barrera en blanqueamientos internos).
  
- 3.- Aplicaciones en dientes temporales

Basándose en los estudios clínicos realizados hasta la fecha, (citados anteriormente), los investigadores han concluido que el MTA es un material biocompatible, que su capacidad de sellado es superior a la amalgama, al óxido de cinc eugenol y al Super-Eba<sup>®</sup>,

que es altamente alcalino (pH entre 10.2 y 12.5), y que posee un cierto grado de actividad antibacteriana (69, 110).

Así pues, por todo esto, como el MTA tiene un alto nivel de sellado evitando la filtración y es claramente biocompatible, se ha propuesto como material adecuado para terapias en dientes con pulpa vital como son: el recubrimiento pulpar directo, la pulpotomía y la apicogénesis (68, 69).

El recubrimiento pulpar y la pulpotomía en dientes permanentes sólo están indicados en dientes con ápices inmaduros cuando se exponen las pulpas dentales y se puede mantener la vitalidad pulpar. Estos procedimientos están contraindicados en dientes con signos y síntomas de pulpitis irreversible (68, 74).

#### Recubrimiento pulpar y pulpotomía

Pitt Ford y col. estudiaron la capacidad del MTA como material de recubrimiento pulpar directo, comparándola con la del hidróxido de calcio. Para ello, se realizaron exposiciones pulpares intencionadas en 12 incisivos de monos, y se aplicó MTA en la mitad de ellos e hidróxido de calcio en la otra mitad. Cinco meses después, las piezas fueron extraídas y estudiadas histológicamente. Los resultados mostraron la formación de un puente dentinario continuo con algunas irregularidades en las pulpas de todos los dientes tratados con MTA. Se evidenciaron además túbulos dentinarios en dicho puente. Sin embargo, sólo se vieron estos puentes en 2 de los incisivos tratados con hidróxido de calcio, presentando estos puentes túneles y/o defectos. Histomorfométricamente se evidenció además menos inflamación en el grupo con MTA que en el tratado con hidróxido de calcio. Además, se halló filtración de bacterias en el tejido pulpar cubierto por hidróxido de calcio, pero fue indetectable en el grupo de MTA. Así pues, los autores concluyeron que el MTA demostró inducir una respuesta más favorable sobre el tejido pulpar remanente. Consideran, además, que el MTA cumple los requisitos ideales de un material de recubrimiento pulpar por las siguientes razones: estimula la formación de un puente dentinario que permite el sellado de la pulpa dental, evita la microfiltración de bacterias, fragua lentamente, lo que previene la contracción favoreciendo así la capacidad de sellado del material, no se disuelve con el

tiempo ni con los fluidos orgánicos, como ocurre con otros materiales como el hidróxido de calcio, su resistencia a la compresión es baja pero similar a la de otros materiales que suelen emplearse de base, bajo la obturación final y permite ser tallado o retocado con una fresa después de su fraguado, en los casos en que sea necesario para la adaptación de la obturación final (69, 105).

Un estudio similar fue llevado a cabo por Abedi y col., en el que se comparó el MTA y el hidróxido de calcio en su aplicación como materiales de recubrimiento pulpar directo en animales de experimentación. Se evidenció en esta investigación, la formación de un puente calcificado significativamente mayor y menor inflamación en el grupo con MTA, en comparación con el hidróxido de calcio. Los autores concluyeron, basándose en estos resultados, que el MTA es un material válido para ser utilizado como un agente de recubrimiento pulpar directo (69, 115).

Myers y cols. publicaron una investigación en la que se analizó la respuesta pulpar de dientes de perros en los que se realizó una exposición pulpar mínima. Las pulpas fueron cubiertas por MTA en 16 muestras y por hidróxido de calcio (Dycal®) en 15 muestras. Los resultados, 90 días después del tratamiento, no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los dos materiales en cuanto al estado pulpar ni en cuanto a la formación de un puente dentinario de reparación. Concluyeron que, tanto el Dycal® como el MTA, poseen las propiedades correctas para ser materiales de recubrimiento pulpar directo, son biocompatibles con el tejido pulpar, y estimulan la formación de un puente dentinario en exposiciones pulpares pequeñas (106).

En 1999, Torabinejad y Chivian reportaron un caso de un primer molar inferior con una caries extensa y ápices abiertos. Se realizó la remoción de la caries, se aplicó MTA como recubrimiento pulpar directo y se obturó con amalgama como restauración final. El control post-operatorio a los tres años, evidenció el cierre de los ápices y la ausencia de patologías perirradiculares (69).

Así pues, los resultados de los diversos estudios han demostrado que el MTA tiene una alta capacidad de sellado y que estimula la formación de puentes de dentina adyacentes

a la pulpa dental. La dentinogénesis del MTA puede ser debida a su capacidad de sellado, biocompatibilidad, alcalinidad o posiblemente a otras propiedades asociadas a este material, como ya se explicó previamente en el apartado referente a la cualidad de formación de tejidos duros (68, 69).

En cuanto al procedimiento clínico para la aplicación del MTA como material de recubrimiento pulpar, ha sido descrito por autores como Torabinejad y Chivian. Estos autores indican que el procedimiento debe comenzar por la anestesia local y el aislamiento con dique de goma. Se debe entonces eliminar completamente la caries con fresa redonda, con refrigeración de agua constante. Consideran que es aconsejable lavar la cavidad y sitio de exposición con hipoclorito de sodio diluido y que el sangrado profuso del sitio de la exposición puede ser controlado con una torunda de algodón impregnada con hipoclorito de sodio. Se mezcla entonces el polvo del MTA con agua estéril y se coloca la mezcla en la cavidad de acceso con un portamalgama grande. Con la ayuda de una torunda de algodón húmeda, mojada en hipoclorito sódico, se rellena con la mezcla el sitio de exposición. Se coloca una torunda de algodón sobre el MTA y se rellena el resto de la cavidad con un material temporal. En pacientes colaboradores, los autores opinan que se puede rellenar toda la cavidad con MTA, colocar una gasa húmeda entre el diente tratado y el diente antagonista, e indicar al paciente que evite masticar por ese lado durante 3 a 4 horas. Como el MTA tiene una fuerza compresiva baja y no puede ser usado como material de obturación permanente, una semana después se remueve de 3 a 4 mm del MTA y se coloca la restauración definitiva final sobre el MTA. A partir de ese momento, es conveniente hacer un seguimiento clínico y radiográfico de la vitalidad pulpar, aproximadamente cada 6 meses, según se considere necesario (68, 69).

En los casos en que la pulpa dental está vital, pero existe una afectación de la pulpa cameral, el tratamiento indicado es la pulpotomía, que puede ser parcial o total. La pulpotomía parcial consiste en eliminar solamente la parte de la pulpa inflamada adyacente a la exposición pulpar, dejando un pequeño recubrimiento sobre la cavidad de la lesión, la cual cicatrizará formando una barrera mineralizada que protegerá la pulpa y que hará que este tratamiento, en principio, sea definitivo, prescindiendo de un futuro tratamiento de

conductos. Los productos más empleados hasta la actualidad para la pulpotomía, tanto parcial como total, han sido el formocresol y el hidróxido de calcio (118).

En cuanto a los casos de pulpotomías, los autores citados consideran que el procedimiento es el mismo que para el recubrimiento pulpar directo con la diferencia de que la pulpa coronaria debe ser removida con una fresa larga de diamante montada en turbina con refrigeración continua, para rellenar a continuación la cámara pulpar con MTA (69).

Autores como Bakland en el año 2000 (76), describen la técnica de pulpotomía parcial: el diente a tratar se anestesia, aísla y desinfecta, y se lleva a cabo una pulpotomía parcial, eliminando aproximadamente 2 mm de la exposición pulpar cameral con fresa a alta velocidad e irrigación. Una vez que disminuye el sangrado por presión, se coloca el MTA directamente sobre el tejido pulpar y se ataca con un algodón húmedo. Este autor considera que el MTA tarda en fraguar entre 6 y 24 horas, y que se debe dejar, durante ese lapso de tiempo, el algodón húmedo sobre la cavidad, hasta la realización de la obturación definitiva. Una de las ventajas que ofrece este tratamiento es que no es necesario retratar como ocurre con el hidróxido de calcio, el cual hay que retirar una vez formado un puente dentinario. Además, es posible aplicar el MTA en presencia de sangrado abundante, pues esto no impide su fraguado, sino que al contrario, lo favorece (76).

### Apicoformación

El objetivo principal de una apicoformación es conseguir que el organismo del paciente tratado cierre el ápice del diente cuyo desarrollo ha quedado detenido por una necrosis del paquete vásculo-nervioso que ha destruido los odontoblastos y las células de la vaina radicular epitelial de Hertwig. Dado que se han destruido los odontoblastos no se va a producir ya formación de dentina y, por tanto, el grosor de la pared radicular del diente va a quedar en el estado de formación al que había llegado hasta el momento de la patología. Por otro lado, al haber ocurrido igualmente la destrucción de las células de la vaina radicular epitelial de Hertwig, de la misma manera la longitud de la raíz del diente va a quedar en la situación en la que se encontraba al producirse la infección de la pulpa radicular. Cuando no se logra la formación, por parte del organismo, de una barrera apical natural, sino que la

barrera es artificial, el tratamiento se denomina simplemente sellado, obturación, barrera o cierre apical por vía ortógrada o coronal. En todo caso, el fin de obtener una barrera apical es, no sólo favorecer el sellado biológico de la raíz, sino también obtener un tejido duro a nivel apical para evitar la extrusión del material de obturación del conducto pulpar. El material que más se ha empleado hasta la actualidad para el tratamiento de apicoformación es el hidróxido de calcio (68, 69, 118, 119, 120, 121).

Sin embargo, a pesar de su popularidad en el procedimiento de apexificación o apicoformación, la terapia del hidróxido de calcio tiene algunas desventajas, entre las que destacan la impredecibilidad del cierre apical y el tiempo del tratamiento (su variabilidad y su larga duración). Se estima que el tiempo necesario para la apexificación puede ser de 6 meses a varios años. Por todo ello, las investigaciones relacionadas con la búsqueda de un material más eficaz que induzca la formación de una barrera calcificada y que reduzca el tiempo del tratamiento, no han cesado durante los últimos años (69). En esta línea, se ha visto que es posible también la realización de una apicoformación en una sola sesión, creando un “stop” o barrera apical artificial, con un material biocompatible que permita realizar un tratamiento de conductos inmediatos. Para este procedimiento, se han empleado productos como el fosfato cálcico o tricálcico reabsorbible, la amalgama, la mezcla de hueso cortical con dentina, o el hidróxido de calcio puro en polvo. Actualmente se ha propuesto el empleo de MTA con el objetivo de crear una barrera apical e inducir además una barrera biológica (68, 69, 118, 119, 121).

Así, en base a la capacidad de sellado y la alta biocompatibilidad del Agregado Trióxido Mineral, este material se ha utilizado como barrera apical para permitir una inmediata obturación del conducto radicular, realizándose estudios clínicos tanto *in vitro* como en animales y en humanos.

En 1995, Torabinejad y cols. estudiaron la reacción del tejido perirradicular al MTA empleado como obturación apical en 46 dientes de perros beagle. Los autores concluyeron que el MTA es un material que puede ser usado como obturación apical, ya que provoca una inflamación ligera, significativamente menor que la producida por la amalgama de plata, y promueve la formación de cemento reparador en el ápice (108).

En un estudio realizado por Tittle y cols., se comparó la efectividad del Agregado Trióxido Mineral como barrera de obturación apical, con la habilidad para estimular el cierre apical de diversos factores de crecimiento óseo. Para ello, se estudiaron 56 premolares de perros en los que se realizó la obturación apical con los productos de estudio. Los resultados se analizaron radiográfica e histológicamente al cabo de 9 semanas. Los autores afirmaron que los factores de crecimiento óseo juegan un papel importante en la formación ósea, pero sus efectos en un área inflamada no son bien conocidos. En las muestras en las que se empleó MTA, las lesiones eran significativamente más pequeñas. Sin embargo, no hubo diferencias significativas en cuanto a la formación de tejidos duros. Los investigadores concluyeron que el MTA puede utilizarse como un material de obturación en una sola sesión, en un ápice abierto (122).

En la misma línea de investigación, Shabahang y col., realizaron un estudio comparativo de la eficacia para promover la formación de tejido duro, de la proteína osteogénica (Op-1), el Agregado Trióxido Mineral y el hidróxido de calcio, cuando son utilizados como sellado apical en raíces inmaduras de perros. Después de 12 semanas, se apreció que las raíces tratadas con MTA y Op-1 indujeron un promedio de 50% más de formación de tejido duro que el hidróxido de calcio, y se observó menos inflamación en las raíces tratadas con MTA (96).

Autores como Schwartz y cols. han publicado varios caso clínicos mostrando éxito en el tratamiento de apicoformación con MTA en un período de 6 meses de control, mostrando además el empleo de perno radicular después del tratamiento con MTA y gutapercha (72).

Uno de los problemas planteados a la hora de emplear el MTA como obturación apical por vía ortógrada, es la posibilidad de extrusión al periápice. En un caso publicado en el año 2000 por Rocamora y cols., se aprecia cómo se colocaron 3 mm de MTA en el ápice de un incisivo inmaduro traumatizado, pero parte del material se extruyó más allá de los límites dentarios. Tres meses después del tratamiento, no se vieron consecuencias patológicas de este fenómeno. En principio, se considera que el MTA es bien tolerado por

los tejidos perirradiculares pero, para evitar la extrusión del material, algunos autores como Torabinejad y Miñana (68, 94, 123) proponen el uso de una matriz colágena previa para limitar la difusión del MTA (94, 123).

Múltiples autores han publicado casos clínicos en los que se muestra el tratamiento de apicoformación con MTA de dientes con ápices abiertos y pulpas necróticas debido a traumatismo. En todos ellos se refiere un éxito del tratamiento en un lapso de tiempo de 6 meses a 1 año de control posterior (119, 123, 124, 125).

En cuanto al procedimiento clínico recomendado en la utilización del MTA en dientes permanentes con necrosis pulpar y ápices incompletamente formados, Torabinejad y Chivian (68, 69) indican que, tras anestésiar, se debe colocar un dique de goma y preparar la cavidad de acceso en el diente a tratar. Después, se limpian los conductos con instrumentos de endodoncia y se irriga con hipoclorito sódico (NaOCl). Para desinfectar el conducto radicular, los autores aconsejan colocar una pasta de hidróxido de calcio en el conducto radicular durante 1 semana. Transcurrido este tiempo, se limpia el hidróxido de calcio del conducto radicular con NaOCl y se seca con puntas de papel. Se mezcla entonces el polvo MTA con agua estéril y se lleva la mezcla con un transportador de amalgama grande al conducto. La condensación de la mezcla de MTA en el extremo apical de la raíz se lleva a cabo con atacadores o puntas de papel. Se debe preparar así un tapón apical de 3 a 4 mm de MTA, comprobando radiográficamente su extensión. Si en el primer intento no se puede crear un tapón ideal, se lava el MTA con agua estéril y se repite el proceso. Se coloca después una bolita de algodón húmeda en el conducto y se cierra la cavidad de acceso con una restauración temporal durante al menos 3 a 4 horas. Transcurrido este tiempo, se obtura el resto del conducto con gutapercha o una resina de composite en dientes con paredes finas, y se sella la cavidad de acceso con una restauración final. Por último, se debe valorar la curación perirradicular clínica y radiográficamente (68, 69).

La mayoría de los autores muestran en sus artículos el empleo de la misma técnica descrita por Torabinejad y cols. o con variaciones leves en el procedimiento (69, 72, 74, 123, 124, 125).

En los casos clínicos publicados, se muestra en general el empleo de hidróxido de calcio de forma convencional, previo a la adaptación de MTA como cierre apical, para proporcionar un efecto antiséptico en el conducto pulpar y el área perirradicular (68, 69, 72, 74, 123, 124, 125). Torabinejad y Chivian (68, 69) aconsejan el uso de hidróxido de calcio durante una semana, y autores como Miñana y cols. recomiendan también realizar en la primera cita de tratamiento la limpieza y conformación del conducto, así como la colocación de hidróxido de calcio durante 7 a 14 días, para ayudar a la desinfección y limpieza (74, 123).

En cuanto al método para evitar la extrusión del MTA, autores como Miñana M. describen la técnica de colocación de la barrera de esta forma: después de limpiar el hidróxido de calcio, colocado previamente mediante limas manuales e hipoclorito sódico, se seca el conducto con puntas de papel. Entonces, se introducen trozos pequeños de colágeno reabsorbible (CollaCote, Calcitek, Plainsboro, NJ, EE.UU.) para formar una matriz en el ápice abierto. Después de este procedimiento, se introduce el MTA de la forma descrita anteriormente (74, 123).

#### Obturación apical a retro

Debido a la complejidad del sistema de conductos radiculares, la eliminación de las bacterias y el subsecuente establecimiento de una barrera efectiva para prevenir nuevamente el paso de microorganismos o sus productos a los tejidos periapicales, no siempre se logra con el tratamiento de conductos convencional, o con la repetición del tratamiento de conductos. En estos casos, la cirugía periapical puede ser el tratamiento de elección (69). La realización de una apicectomía y la colocación de materiales de obturación apical en la cavidad *a retro* están indicadas para conseguir un buen sellado apical y evitar la penetración de irritantes desde el sistema de conductos radiculares hacia los tejidos perirradiculares y viceversa (68, 126). La cirugía apical se realiza en presencia de patología perirradicular persistente, cuando el tratamiento y retratamiento endodóntico convencional fracasan (69, 127).

El procedimiento de cirugía apical consiste básicamente en la exposición del ápice afectado y en la resección de éste y de la lesión. Se prepara después una cavidad apical y se inserta el material de obturación apical. Se debe destacar que un gran número de investigadores recomiendan la inserción de un material de obturación apical en dientes que requieren la resección del ápice (69, 121).

Se han empleado numerosas sustancias como material de obturación radicular. Gartner y Dorn (1992) sostienen que las características ideales en un material obturador de ápices son las mismas de un material obturador de conductos radiculares. Así, el material obturador de ápice ideal se debe adherir a las paredes de la preparación y sellar el sistema de conductos, no debe ser tóxico, debe ser bien tolerado por el tejido perirradicular (alta biocompatibilidad), y debe promover la cicatrización del tejido circundante. Además, no debe corroerse y no debe producir cambios de coloración en el tejido. Otra ventaja sería presentar una fácil manipulación y ser radiopaco. Además, se puede añadir el hecho de ser dimensionalmente estable, no absorbible, y no alterarse en presencia de la humedad. (69). Sin embargo, los materiales empleados hasta la fecha presentan una serie de desventajas entre las que destacan: su incapacidad para evitar la salida de irritantes del conducto radicular infectado a los tejidos perirradiculares, la ausencia de una biocompatibilidad completa con los tejidos vitales con los que entra en contacto y su incapacidad de producir regeneración de los tejidos perirradiculares, de modo que alcancen su estado normal previo a la enfermedad (68).

Uno de los materiales para obturación del ápice más empleados ha sido la amalgama. Sin embargo, entre sus desventajas se incluyen: filtración inicial, corrosión secundaria, contaminación con mercurio y estaño, sensibilidad a la humedad, necesidad de profundizar la preparación cavitaria, pigmentación de los tejidos duros y blandos y esparcimiento de partículas de amalgama (69).

Por tales desventajas, los cementos a base de óxido de cinc-eugenol tales como el IRM® y el Super-Eba®, han ido sustituyendo poco a poco a la amalgama de plata como material de obturación a retro apical. Sin embargo, estos cementos tienen igualmente

desventajas: sensibilidad a la humedad, irritación del tejido vital, solubilidad y dificultad en la manipulación clínica del material (69).

Recientemente se ha sugerido el MTA para sellar todas las vías de comunicación entre el sistema de conductos radiculares y la superficie externa del diente.

La utilización del MTA como material de obturación apical a retro fue estudiada por Pitt Ford y cols. En esta investigación se examinó la respuesta del tejido perirradicular en perros, utilizando MTA y amalgama como material de obturación a retro. Al realizarse el estudio histológico, a las 10 y 18 semanas, se evidenció una menor extensión y severidad de la inflamación perirradicular en los grupos tratados con MTA, en comparación con las muestras tratadas con amalgama. Se observó, además, una mayor aposición ósea adyacente al MTA, comparado con la amalgama y se halló la presencia de cemento sobre la superficie del MTA. Los autores concluyeron, basándose en estos resultados, que el MTA puede ser utilizado como material de obturación apical (128).

Posteriormente, Torabinejad y cols. realizaron un estudio para evaluar la respuesta del tejido perirradicular en perros al MTA y a la amalgama empleados como materiales de obturación a retro. La evaluación histológica evidenció que los tejidos perirradiculares de todas las raíces con amalgama presentaban inflamación, de moderada a severa. Sin embargo, sólo un tercio de las raíces obturadas con MTA mostraron inflamación moderada, la diferencia resultó ser estadísticamente significativa. También es importante destacar que se observó aposición de cemento sobre el MTA, en 1 de 11 muestras en un período de tiempo de 2 a 5 semanas; y en 10 de las 10 muestras en el período de 10 a 18 semanas. La formación de cemento no se observó sobre ninguna de las muestras de amalgama. La diferencia también fue estadísticamente significativa en el grupo de 10 a 18 semanas. La presencia de cemento sobre el MTA, de las obturaciones a retro, demostró, según las conclusiones de los autores, la capacidad de sellado del MTA y su biocompatibilidad con los tejidos perirradiculares (68, 69, 70).

Un año después en 1996, los mismos autores, Torabinejad y cols. analizaron también la reacción del tejido perirradicular de 10 incisivos de monos. Después de realizar

tratamientos de endodoncia en estos dientes, se llevó a cabo la obturación apical a retro mediante MTA en la mitad de las muestras, y mediante amalgama de plata en el resto de los especímenes. Los resultados después de 5 meses mostraron que existía inflamación sólo en 1 de las 6 muestras tratadas con MTA y en todas las tratadas con amalgama. Por otro lado, se observó la formación de una capa completa de cemento sobre la obturación de MTA en la totalidad de los dientes obturados con este producto. Sin embargo, en los dientes tratados con amalgama no se observó la formación de este tejido en ninguno de los casos. Los autores concluyeron que el MTA ofrece muy buenas propiedades para poder ser usado como material de obturación apical (109).

En otro estudio realizado también por Torabinejad y cols., con la finalidad de examinar la respuesta del MTA y la amalgama en el tejido perirradicular, se observaron resultados muy similares: ausencia de inflamación perirradicular adyacente en 5 de los 6 ápices obturados con MTA, formación de una capa completa de cemento sobre el material de obturación en 5 de los 6 ápices obturados con MTA. Sin embargo, existió inflamación perirradicular en todos los dientes obturados con amalgama y ausencia de formación de cemento sobre la este material. La diferencia entre las respuestas de los tejidos ante los dos materiales de obturación fue, según los autores, significativa. En cuanto a la capa de cemento observada sobre el MTA, resultó continuarse con la formada sobre la dentina seccionada. Además, alguna de las superficies de cemento presentó unas inserciones fibrosas, imitando, según los autores, las fibras de Sharpey (68, 69). Otro estudio similar de Torabinejad y cols. en 1997 demostró, comparando la formación de cemento sobre MTA y sobre amalgama empleados como materiales de obturación apical, que para el uso de MTA no es necesario emplear sistemas complementarios previos, como el uso de grabado ácido, para conseguir la cementogénesis deseada (110).

Artículos recientes de aplicación clínica del MTA en cirugía periapical, como los de Flores-Legasa y Fabra H. (126, 127) en el año 2002, confirman las ventajas de la aplicación de este material mostradas por otros investigadores. Así, estos autores considera que el MTA tiene una serie de cualidades, desde el punto de vista clínico, que hacen de él un material útil y cada vez más empleado en cirugía periapical: es fácil de mezclar y de introducir en la cavidad apical; dada su naturaleza hidrofílica, no es indispensable su empleo

en un campo totalmente seco; resulta sencillo eliminar restos de material en la cavidad quirúrgica con una cucharilla, o instrumentos similares, y un aspirador quirúrgico y una vez terminada la condensación, basta con pasar un algodón húmedo por la superficie tratada para observar el sellado.

El protocolo recomendado para la realización clínica de obturaciones apicales a retro es el siguiente (68, 69):

En primer lugar se levanta un colgajo de tejido blando, se hace una ostectomía, una apicectomía y una preparación a retro. Torabinejad y Pitt Ford postulan que, para sellar el ápice radicular, el operador debe eliminar de 2 a 3 mm del ápice radicular, preparar una cavidad apical clase I y colocar el material de obturación apical, en este caso el MTA. Por otro lado, es esencial controlar la hemorragia perirradicular. Una falta de control de humedad y la presencia de un exceso de sangrado durante la colocación del MTA en la cavidad a retro, hace que el MTA sea muy blando e inmanejable. Con el uso de un pequeño portador o portamalgama, se coloca una mezcla de MTA en la cavidad a retro y se condensa con un pequeño atacador. Tras el relleno completo de la cavidad a retro, se limpia la superficie de la apicectomía y la mezcla de MTA con un trozo húmedo de gasa. Como el MTA fragua en presencia de humedad, se debe crear una ligera hemorragia del ligamento periodontal y el hueso, y llevar la sangre sobre la apicectomía y el MTA. No se recomienda lavar el campo quirúrgico tras colocar MTA en la cavidad a retro. Posteriormente, se sutura el colgajo de tejido blando y se valora la cicatrización en revisiones periódicas.

#### Reparación de perforaciones radiculares

Las perforaciones radiculares pueden producirse durante el tratamiento de conductos radiculares en la colocación de postes o pernos, o también como resultado de la extensión de una reabsorción interna a los tejidos perirradiculares. El fracaso de un diente con una perforación ocurre por la afectación del tejido óseo (reabsorción ósea) y por la inflamación periodontal crónica (formación de tejido de granulación inflamatorio). La reparación de la perforación tras un accidente o como consecuencia de una reabsorción interna puede realizarse intracoronariamente y/o mediante un abordaje quirúrgico externo (68, 75, 129). Se

considera que el sellado de perforaciones radiculares debe realizarse inmediatamente tras su detección, incluso en algunos casos, antes de hacer el tratamiento de conductos. El pronóstico de las perforaciones mejora en general cuanto más pronto se sellen, pues se evita así la filtración bacteriana, y cuanto más biocompatible sea el material de obturación empleado en la lesión (75, 129).

El acceso no quirúrgico o intracoronal usualmente precede a la reparación quirúrgica. El factor importante en ambos accesos es lograr un buen sellado entre el diente y el material de reparación (69, 75, 129). El objetivo del tratamiento de las perforaciones es mantener los tejidos saludables, sin inflamación o pérdida de la adhesión periodontal. En caso de ya existir lesiones, el objetivo es restablecer la salud periodontal en torno al diente perforado. El pronóstico de estos tratamientos depende del tamaño de la perforación, el daño al hueso y ligamento, el tiempo entre la perforación y la reparación, la localización de la lesión, pudiendo ser infraósea o supraósea (69, 74, 129, 130).

El éxito en la reparación de perforaciones radiculares puede verse afectado por la ubicación, el tiempo que tarde en repararse la perforación, la habilidad del operador y por las características físicas y químicas del material de reparación. La extrusión del material de relleno es un problema potencial en la reparación de perforaciones radiculares. Esto ocurre usualmente durante la condensación del material de relleno en el sitio de la perforación. La extrusión del material de relleno causa una lesión traumática al ligamento periodontal, resultando en inflamación y retardo en la reparación. El control de la hemorragia es otro factor que afecta la habilidad de sellado del material de reparación. Actualmente, los materiales de reparación disponibles se utilizan únicamente en campos secos (69, 129). Materiales como el Cavit, el óxido de cinc-eugenol, el hidróxido de calcio, la amalgama, la gutapercha, el fosfato tricálcico y la hidroxiapatita, se han empleado para reparar perforaciones radiculares (68, 69, 129).

Estudios en dientes extraídos han mostrado que el MTA tiene la capacidad de lograr un buen sellado. Los hallazgos histológicos de estudios en dientes de perros confirman que estimula la cicatrización del tejido (69).

Lee y cols. (1993) compararon *in vitro* la capacidad selladora del MTA con la de la amalgama y el IRM® para la reparación de perforaciones radiculares laterales, inducidas experimentalmente en dientes extraídos. Los resultados mostraron que el MTA presenta significativamente menos filtración que el IRM® o la amalgama, incluso en casos de sobreobturación y de subobturación, pues en este estudio presentó siempre el menor grado de penetración de colorante. Además, el MTA mostró tener la menor tendencia a la sobreobturación, mientras que el IRM® tenía la menor tendencia a la subobturación. Por otro lado, considerando que las perforaciones están usualmente contaminadas con sangre o fluido tisular, los materiales convencionales no resultan ideales para la reparación de perforaciones, mientras que el MTA, al tener características hidrofílicas, se ve favorecido por la humedad, que se comporta como un activador en la reacción química con el tejido (68, 69).

Hong y cols. (1994), llevaron a cabo un análisis radiográfico e histológico de la respuesta tisular de las perforaciones de la furca, comparando las reparaciones con amalgama y las de Agregado Trióxido Mineral. Para ello, se perforaron y trataron 32 premolares de perros beagle de experimentación. El análisis histológico se realizó 4 meses después de la intervención. El análisis estadístico de las radiografías, hechas antes y después del tratamiento, mostró que las perforaciones tratadas con MTA se repararon significativamente mejor que las obturadas con amalgama. El análisis histológico demostró que las lesiones tratadas con amalgama presentaban significativamente más inflamación y reabsorción ósea que las reparadas con MTA. Los resultados indicaron, pues, que el MTA se puede utilizar para reparar las perforaciones de las furcas, como un material alternativo a la amalgama (131).

Por otro lado, existen estudios que, a pesar de no incluir el MTA como material de investigación, sí analizan productos que presenta el MTA en su composición. Así por ejemplo, Brown y cols. en 1994, estudiaron la reacción del fosfato cálcico mezclado con hidroxiapatita y empleado como matriz en la reparación de lesiones de furca, previo a la colocación de amalgama. Los resultados mostraron que el empleo de esta matriz permitía la producción de una menor lesión ósea y un menor daño periodontal en las muestras que la técnica de empleo de amalgama sin matriz cálcica (132).

Pitt Ford y cols. analizaron también la respuesta histológica de la amalgama y el MTA, cuando se utiliza como material de obturación de las perforaciones. Examinaron la respuesta histológica de perforaciones intencionales en las furcas de premolares mandibulares de perro, tratadas con MTA o con amalgama. En el grupo reparado inmediatamente, todos los especímenes de amalgama estaban asociados a inflamación, de moderada a severa, mientras que sólo 1 de las 6 muestras tratadas con MTA presentó inflamación. Además, los cinco especímenes de MTA no inflamados tenían algo de cemento neoforado sobre el material de reparación. Por otro lado, se retrasó en un grupo la reparación de la lesión, permitiendo el contacto de ésta con la contaminación salivar. En este grupo, todas las muestras de amalgama estaban asociadas a inflamación, mientras que sólo 4 de 7 rellenas con MTA estaban inflamadas. Basándose en los resultados de este estudio, los autores concluyeron que el MTA es un material adecuado para la reparación de perforaciones, permitiendo mejores resultados que la amalgama. Además, se mostró cómo el pronóstico de la reparación de lesión de furca mejora cuanto antes sea tratada y con la eliminación de bacterias provocadas por contaminación con antisépticos como hipoclorito o peróxido de hidrógeno (68, 69, 15).

En otro estudio reciente, Nakata y cols. (1997) compararon también la eficacia del MTA y la amalgama en la reparación de las perforaciones de furca. Tras la realización, *in vitro*, de perforaciones en molares humanos y su posterior reparación, emplearon un modelo de filtración bacteriana anaeróbica con cámara dual. Observaron así que el MTA era superior a la amalgama para evitar la filtración de *Fusobacterium nucleatum* a través de la perforación furcal. Los resultados mostraron además una diferencia estadísticamente significativa entre los dos materiales estudiados (68, 88).

Recientemente, en el año 2001, Holland y cols. publicaron otro estudio en el que se analizó la respuesta tisular a la aplicación de MTA en la reparación de lesiones laterales de raíz provocadas intencionadamente en 48 dientes de perros de experimentación. El análisis histológico realizado 180 días después del tratamiento, mostró que las reparaciones llevadas a cabo con MTA no presentaban inflamación, pero sí la superposición de cemento sobre el producto estudiado en la mayoría de los casos. Sin embargo, en el grupo control tratado con

Sealapex® se observaron signos de inflamación crónica en todas las muestras, y sólo en 3 casos, aposición de cemento. Los autores concluyeron que el MTA ofrece, según este estudio y en concordancia con otros anteriores, mejores resultados como material de reparación de lesiones radiculares que otros productos anteriormente usados para este fin (97).

Autores como Schwartz y cols. (1999), Azabal y cols. (2000), Miñana y cols. (2002), han mostrado el éxito de tratamientos clínicos a corto y medio plazo, empleando MTA en reparaciones de perforaciones radiculares (72, 74, 75). Schwartz y cols. recomiendan además, para lograr una mayor precisión clínica, el uso del microscopio clínico para estos procedimientos (72).

Autores como Torabinejad y Chivian en 1999 (68, 69), Azabal (75) en 2000, Miñana en 2002 (74), describen el procedimiento clínico de las reparaciones de perforaciones radiculares como se detalla a continuación.

En cuanto a la reparación intracoronal o intraconducto, se debe, tras anestesiar y colocar el dique de goma, localizar la zona de la perforación, y limpiar ésta cuidadosamente con hipoclorito sódico diluido o con clorhexidina. Autores como Azabal y cols. consideran que, si bien esta limpieza con productos antisépticos no es imprescindible, sí mejora las condiciones de asepsia, evitando la contaminación bacteriana y mejorando así el pronóstico. Así mismo, Torabinejad y Chivian consideran que en casos de perforaciones de larga evolución o en presencia de contaminación, debe dejarse hipoclorito sódico en el sistema de conductos radiculares durante unos pocos minutos y desinfectar la zona de la perforación. En todo caso, tras una instrumentación y obturación completa de los conductos con gutapercha y un sellador de conductos radiculares apical a las zonas de la perforación, se mezcla el MTA con agua estéril y se coloca en la zona de la perforación con un transportador de amalgama. El MTA debe tener una consistencia de pasta blanda que permita un correcto manejo. La condensación se realiza con un atacador o una bolita de algodón, empujando la mezcla contra la zona dañada. Se coloca entonces una bolita de algodón mojada sobre el MTA y se sella la cavidad de acceso con material de obturación temporal. Este material se mantiene un mínimo de 3 a 4 horas. Transcurrido este tiempo, se

retira el provisional y la bolita húmeda de algodón y se coloca un material de obturación permanente en la raíz y/o en la preparación de la cavidad de acceso. Al colocar MTA en perforaciones con un alto grado de inflamación, el material continúa blando cuando se comprueba en la segunda cita. Esto se debe a la presencia de un pH bajo, lo que evita un fraguado correcto del MTA. En estos casos, se debe lavar el MTA y repetir el proceso. Por otro lado, se considera que la extrusión de parte del MTA hacia periodonto en el lugar de la perforación, no impide la reparación ni el cierre del defecto, pues permite la unión al nuevo cemento formado. El control de los resultados se revisa en controles posteriores (68, 69, 74, 75).

Para perforaciones apicales, los autores aconsejan colocar el MTA mezclado en la porción apical del conducto, con una pistola de medición o con un pequeño atacador de amalgama. Debe atacarse con atacadores pequeños o puntas de papel. Se necesita un tapón apical de 3 a 5 mm para evitar la filtración coronal y la extrusión del material de obturación a los tejidos periapicales. Tras inducir un tapón apical, se coloca una bolita de algodón mojada y se cierra la cavidad de acceso con un material de obturación temporal. Se retira la bolita de algodón al menos 3 a 4 horas más tarde y se obtura el resto del conducto con gutapercha y sellador de conductos radiculares. En casos con una perforación apical grande y mucha humedad, la colocación del tapón apical y la obturación del conducto radicular puede conseguirse en una visita (68, 69).

En cuanto al procedimiento clínico para la reparación de perforaciones provocadas por una reabsorción interna, los autores consideran que, tras anestesiarse y preparar la cavidad de acceso, el conducto radicular se debe limpiar y modelar completamente. En la mayoría de los casos, debido a la presencia de tejido de granulación y la presencia de comunicación entre el conducto radicular y el periodonto, se produce una hemorragia importante durante la instrumentación de estos casos. Para reducir este exceso de sangrado, es adecuado el uso de hipoclorito sódico (NaOCl) durante la limpieza y configuración y la colocación de pasta de hidróxido cálcico entre citas. Así, se lava el hidróxido de calcio del conducto radicular con NaOCl en la siguiente cita y se obtura la porción apical del conducto con una técnica de obturación seccional con gutapercha y sellador de conductos radiculares. Se coloca entonces la mezcla de MTA en el defecto, condensándola con la ayuda de atacadores y bolitas de

algodón. Es necesario dejar después una bolita de algodón húmeda sobre el MTA, y se cierra la cavidad de acceso con un material de obturación temporal. Se elimina el provisional y la bolita de algodón al menos 3 ó 4 horas más tarde, y se coloca una obturación permanente en la cavidad de acceso. La cicatrización se valora en las revisiones posteriores, cada 3 ó 6 meses (68, 69, 74).

En los casos en que la reparación de perforaciones falla, tras un abordaje intracanal, o si las perforaciones no son accesibles a través de la cavidad de acceso, está indicada la reparación quirúrgica de estos accidentes (68, 69).

En estas situaciones, el procedimiento clínico se inicia con el levantamiento de un colgajo y la localización de la zona de la perforación. El defecto debe modificarse con una fresa pequeña si está indicado. Es necesario controlar totalmente la hemorragia al intentar reparar la zona perforada, pues la presencia de un exceso de humedad en el campo operatorio provoca que el material se vuelva blando e inmanejable. Tras mezclar el polvo de MTA con agua estéril, se adapta la mezcla en la cavidad preparada y se condensa bien con un atacador. Se remueve después el exceso con un excavador y/o con un trozo de gasa húmeda o telfa (Kendall Health Care Co., Mansfield, MA). Los autores no recomiendan lavar el área tras colocar MTA en la perforación. Finalmente, se sutura el colgajo de tejido blando y se valora la cicatrización en las revisiones posteriores (68, 69).

Algunos autores como Miñana (2002) recomiendan el empleo de una matriz interna, en los casos necesarios, antes de la adaptación del MTA en el defecto a tratar, con el fin de evitar la sobreobtención. Se pueden usar para ello materiales como: colágeno absorbible (Colla-cote®, Calcitek®, Plainsboro, NJ, EE.UU), hidroxiapatita o polvo de hidróxido de calcio. Los autores recomiendan utilizar este tipo de matrices en perforaciones mayores de un milímetro (74).

#### Reparación de fracturas verticales

Para la reparación de fracturas verticales, Torabinejad propone el siguiente método de trabajo: en primer lugar, se debe eliminar el material de obturación de conductos

radiculares del diente tratado y unir las piezas internamente con resina de composite. Después, se levanta un colgajo (o se extrae el diente para un reimplante intencionado) y se hace un surco en toda la fractura vertical del composite con una fresa redonda pequeña, bajo irrigación constante con agua. Se adapta entonces el MTA en el surco, recubriéndolo con una membrana reabsorbible y se sutura el colgajo de tejido blando. Para mejorar el pronóstico de estos casos, el autor recomienda instruir a los pacientes para seguir una higiene oral meticulosa y no sondear el diente tratado durante un mínimo de 12 semanas. A pesar de su éxito, en muchos casos, en la reparación de fracturas verticales con MTA en situaciones en las que este producto entra en contacto directo con la cavidad oral durante un período prolongado de tiempo, es impredecible el resultado. Esto se debe al hecho de que el MTA se disuelve en un pH ácido como el producido por un ambiente de inflamación, perdiendo sus propiedades (68).

#### Barrera en blanqueamientos internos

Se considera que el blanqueamiento interno de los dientes puede causar, en algunos casos, reabsorción externa o interna radicular. Por ello, es recomendable utilizar algún material como tapón coronario después de una obturación completa del sistema de conductos radiculares y antes del blanqueamiento interno de los dientes teñidos. Según autores como Cummings y Torabinejad (1995), ningún material es capaz de prevenir correctamente la filtración de los agentes blanqueadores. Debido a que el MTA provee un sellado efectivo en contra de la penetración de colorantes y bacterias y de sus metabolitos como endotoxinas, se ha propuesto su uso como material de barrera coronaria, después de la obturación del conducto y antes del blanqueamiento interno (68, 69).

Autores como Miñana y cols. (2002) consideran también que el MTA puede ser empleado correctamente como barrera de blanqueamientos pero evitando utilizar el material por encima del margen gingival, porque se puede provocar la decoloración del diente. Muy

recientemente, ha aparecido una fórmula de MTA de color blanco, para evitar este tipo de situaciones (74).

Torabinejad y Chivian (1999) proponen para el uso de MTA en barreras para blanqueamiento la introducción de la mezcla del MTA de 3 a 4 mm de espesor en la cavidad preparada. Después, según estos autores, se coloca una torunda de algodón húmeda sobre la mezcla y se rellena el resto de la cavidad con un material de obturación temporal. Una vez transcurridas 3 ó 4 horas como mínimo, se puede remover el material de obturación temporal y obturar permanentemente el diente tratado (68, 69).

Cummings y Torabinejad (1995), realizaron un estudio con la finalidad de comparar la efectividad del MTA, IRM®, y fosfato de cinc como barreras de aislamiento para prevenir la filtración de los agentes blanqueadores. Los resultados muestran que el fosfato de cinc presentó significativamente mayor filtración que el IRM® o el MTA. El MTA tuvo la menor filtración entre los materiales estudiados (69).

#### Cemento sellador en endodoncias

Se considera que las propiedades ideales de todo cemento sellador en endodoncia consisten principalmente en ser bien tolerado por los tejidos, no contraer al fraguar, ser adhesivo, ser radiopaco, no pigmentar el diente, ser soluble en un solvente común (para facilitar su remoción en caso necesario), ser insoluble en el medio bucal y tisular, ser bacteriostático (o por lo menos no provocar el crecimiento bacteriano) y crear un buen sellado (98).

Según autores como Chiva y cols. (2002), actualmente ninguno de los selladores existentes en el mercado cumplen exactamente todos los requisitos ideales, ni físicos, ni clínicos ni biológicos (98).

En 1999, Holland y cols. (95) analizaron histológicamente la reacción de los tejidos apicales en dientes con ápices abiertos de perros de experimentación. Se realizaron 15 endodoncias con gutapercha y MTA y 15 con gutapercha y Ketac-Endo® (Espe Co.

Seefeld, Oberbay, Germany), y se hizo el estudio histológico después de 6 meses de la intervención. Los resultados mostraron que no existía reacción inflamatoria en los tejidos periapicales en ninguno de los dientes tratados con MTA. Además, se observó el sellado apical mediante la aposición de cemento neoforado, no sólo en el foramen apical, sino también en los conductos accesorios. Sin embargo, el uso de Ketac-Endo® sólo estimuló el sellado apical en 2 de los 15 molares tratados, y en todos los especímenes se detectó algún grado de inflamación (95).

Los autores concluyeron que el MTA ofrece buenas propiedades biológicas para ser empleado como cemento sellador en tratamientos de conductos, pero que, sin embargo, sería necesaria la mejora de sus condiciones físicas para facilitar su uso en esta indicación. Por otro lado, esta investigación se realizó en dientes sin infección de sujetos sanos y, como especifican los autores, no es segura la extrapolación a una situación de infección dentaria (95).

Autores como Chiva y cols. (2002), consideran que existen pocos estudios publicados acerca del empleo del MTA como cemento sellador en endodoncia, si bien parecería ser un buen material, dada sus cualidades demostradas como producto de obturación apical y de reparación de perforaciones radiculares (98).

#### Aplicaciones en dientes temporales

En la literatura científica nacional e internacional, sólo se han hallado, hasta la fecha, dos artículos clínicos publicados referidos al uso de MTA en dientes temporales humanos. Únicamente uno de ellos se refiere al empleo de este producto como material de pulpotomía en dientes temporales.

En este estudio, realizado por Eidelman y cols. en el año 2001, se analizaron clínica y radiográficamente los efectos del MTA como agente terapéutico en pulpotomías de molares temporales, comparándolos con los del formocresol en estos tratamientos. Se escogieron 32 molares de 26 niños y se dividieron en dos grupos: 17 casos fueron tratados con MTA y 15 con formocresol. Las revisiones se llevaron a cabo cada 6 meses. Se

mostraron los resultados de los tratamientos con MTA de 9 molares estudiados durante 6 a 12 meses, de 3 molares estudiados durante 13 a 18 meses, de 4 estudiados durante 19 a 24 meses y de uno de ellos estudiado durante 25 meses. En cuanto a los resultados clínicos y radiográficos, ninguno de los dientes tratados con MTA mostró signos de patología, mientras que uno de los molares en los que se realizó la técnica de pulpotomía convencional con Formocresol fracasó por reabsorción interna a los 17 meses de estudio. Los datos radiográficos mostraron además la obliteración de los conductos pulpares en un 41% del grupo obturado con MTA y en un 13% del grupo control, observándose estos hallazgos en un tiempo medio de estudio de 12 meses. También se detectaron, según los investigadores, puentes dentinarios a nivel del lugar de amputación de la pulpa cameral. Los autores consideraron estos hallazgos positivos, pues aceptan que, tanto la obliteración de los conductos como la formación de puentes dentinarios, muestran la vitalidad de la pulpa radicular, y la capacidad del MTA, ya demostrada en otros estudios anteriores, de estimular la formación de tejidos duros. Los investigadores concluyeron que, según los datos obtenidos, el MTA podría ser un sustituto aceptable del formocresol para pulpotomías de dientes temporales. Sin embargo, consideraron también que son necesarios más estudios a más largo plazo para confirmar los resultados obtenidos (133).

Posteriormente, a finales del año 2001, se publicó otro artículo referente al estudio clínico del uso de MTA en dientes temporales. En éste, O'Sullivan y cols. presentaron un caso clínico en el que se obturaron, tras el tratamiento de pulpectomía, la cámara pulpar y los conductos pulpares de un segundo molar inferior temporal anquilosado, que presentaba signos clínicos y radiológicos de patología pulpar radicular. El objetivo de este tratamiento fue mantener asintomático, durante el mayor tiempo posible, este molar, que no presentaba sucesor permanente por agenesia. La revisión a los 4 meses después del tratamiento mostró una disminución de la imagen de lesión periapical radiológica, y una ausencia de síntomas y signos clínicos de patología. Los autores concluyeron que el MTA, por sus propiedades físicas y químicas, así como por sus características de manipulación, permite la obturación definitiva de dientes temporales sin sucesor que quieran ser mantenidos en boca para cumplir sus funciones en la arcada dentaria (134).

## **II OBJETIVOS DEL ESTUDIO**

## II. OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Desde mediados del siglo XX, el medicamento más empleado para la realización del tratamiento de pulpotomía en dientes temporales ha sido, y sigue siendo, el formocresol. Sin embargo, este producto presenta una serie de efectos adversos, demostrados en múltiples estudios. Debido a éstos, ha existido, en los últimos años, una creciente investigación de nuevos productos capaces de representar una alternativa eficaz a este medicamento en el tratamiento de pulpotomía.

Dentro de esta línea de investigación, se podría incluir el Agregado Trióxido Mineral. Este nuevo producto ha demostrado su eficacia en diferentes tratamientos pulpares de dientes permanentes, y se ha visto que posee una serie de propiedades que podrían ser útiles para su empleo en pulpotomías de dientes temporales.

Por tanto, se diseñó un estudio con la siguiente hipótesis: El Agregado Trióxido Mineral tendrá una respuesta clínica similar al formocresol en pulpotomías en molares temporales,

Se establecieron los siguientes objetivos:

- 1.- Evaluar si el MTA produce algún signo de patología clínica en los molares temporales cuando es aplicado en el tratamiento de pulpotomía.
- 2.- Estudiar radiográficamente los indicadores de respuesta pulpar desfavorable en la utilización de MTA.
- 3.- Evaluar la formación de dentina reparativa por parte de la pulpa remanente, tanto en el conducto radicular como en la zona de la amputación.
- 4.- Evaluar si la técnica de utilización del MTA en pulpotomías en molares temporales es una alternativa a la utilización del formocresol.

### **III. MATERIAL Y MÉTODO**

### **III. MATERIAL Y MÉTODO**

#### **III. 1 MUESTRA**

La muestra procedía del banco de pacientes del *Programa de Atención Odontológica a Pacientes en Edad Infantil*, de la Facultad de Odontología de la Universidad Complutense de Madrid.

La selección de la muestra para el estudio, se llevó a cabo de acuerdo a los criterios de inclusión y exclusión que se describen a continuación.

#### **Criterios de inclusión**

Para el estudio se seleccionaron primeros y segundos molares temporales con caries extensas y afectación irreversible de la pulpa cameral y que:

- no hubieran recibido tratamiento previamente
- no tuvieran signos de degeneración de la pulpa radicular
- no presentaran imagen radiológica de lesión en la furca ni de reabsorción radicular patológica interna o externa
- no presentaran imagen de ensanchamiento patológico del ligamento periodontal
- presentaran la mitad o más de la longitud radicular
- no existiera una historia de patología sistémica asociada que interfiriera en el tratamiento.

#### **Criterios de exclusión**

Del trabajo, se excluyeron aquellos molares temporales:

- con signos y síntomas clínicos y/o radiológicos de afectación irreversible de la pulpa de los conductos radiculares
- con destrucción coronaria que no permitiera un correcto sellado en la restauración
- pertenecientes a niños con historia de alergia al látex, fármacos anestésicos o a los componentes del MTA
- de pacientes que estuvieran recibiendo tratamiento farmacológico.

#### **Muestra seleccionada**

La muestra estaba formada por 67 molares, 29 superiores y 38 inferiores, siendo 32 de ellos primeros molares y 35 segundos molares. De ellos, 10 molares correspondieron a pacientes que no volvieron a las revisiones y, por tanto, fueron excluidos del estudio y 5 molares fueron tratados recientemente, por lo que todavía no hemos incluido estos molares en el estudio.

Finalmente, los datos utilizados para nuestros resultados correspondían a: 52 molares, 21 superiores y 31 inferiores, siendo 27 de ellos primeros molares y 25 segundos molares. La distribución de los molares según la hemiarcada y molar seleccionado se muestra en la *Tabla 1*.

	<b>Primeros Molares</b>	<b>Segundos Molares</b>	<b>TOTAL</b>

	<b>Derechos</b>	<b>Izquierdos</b>	<b>Derechos</b>	<b>Izquierdos</b>	
<b>Maxilares</b>	6	6	5	4	21
<b>Mandibulares</b>	6	9	6	10	31
<b>TOTAL</b>	12	15	11	14	52

*Tabla 1. Distribución de la muestra.*

### **III.2. MÉTODO**

La selección de los casos era realizada por el mismo investigador en base a los datos procedentes de la anamnesis, la exploración clínica y radiográfica y tomando en cuenta los criterios de inclusión y exclusión.

En los molares seleccionados se realizó la pulpotomía con MTA según el siguiente procedimiento:

1. Anestesia y aislamiento con dique de goma.
2. Preparación del molar temporal para la adaptación de una corona metálica preformada.
3. Selección y adaptación de la corona metálica.
4. Eliminación del tejido cariado mediante instrumentos rotatorios de alta y baja velocidad y fresas 330 y redondas.
5. Remoción del techo de la cámara pulpar con fresa 330 a alta velocidad.

6. Extirpación del tejido pulpar cameral con fresa redonda grande a baja velocidad.
7. Limpieza, secado y control de la hemorragia pulpar mediante presión leve con bolita de algodón estéril.
8. Exploración de la integridad del suelo de la cámara pulpar.
9. Mezcla del preparado de MTA (\*) con agua estéril en loseta de vidrio con espátula metálica, según instrucciones del fabricante.
10. Colocación y adaptación del material a las paredes y suelo de la cámara pulpar por presión con una bolita de algodón humedecida en agua destilada.
11. Sellado de la cámara pulpar con cemento de ionómero de vidrio fotopolimerizable.
12. Obtención de una radiografía periapical de control.
13. Cementado de la corona con cemento de ionómero de vidrio autopolimerizable.

(\*) Material MTA ProRoot® cedido por Carlos García, de la casa Simesp-Maillefer.

### **Seguimiento postoperatorio**

Las revisiones periódicas se realizaron a intervalos de tres meses, llevándose a cabo una evaluación clínica y radiográfica.

Dado que existían muy pocas experiencias clínicas previas conocidas con esta técnica de pulpotomía con Agregado Trióxido Mineral, se llevó a cabo un control clínico y radiográfico de cada molar una semana después de la intervención, para detectar posibles problemas postoperatorios inmediatos.

El seguimiento postoperatorio fue hecho por el mismo investigador. En cada revisión se realizó una evaluación clínica mediante anamnesis, exploración, percusión de los molares y exploración visual y palpación de los tejidos blandos del área periodontal correspondiente a cada molar, valorando la existencia de:

- signos de inflamación, cambio de color, absceso o fístula en los tejidos blandos
- movilidad no fisiológica del molar tratado
- dolor espontáneo o a la percusión.

Las radiografías fueron analizadas con ayuda de una lupa sobre un negatoscopio, con el fin de determinar la existencia de:

- reabsorción radicular patológica externa o interna
- lesión de la furca radicular
- ensanchamiento patológico del ligamento periodontal
- signos de desplazamiento o desaparición del material de relleno pulpar MTA
- estenosis del conducto radicular
- puentes dentinarios.

En lo que respecta a las imágenes radiológicas de estenosis de los conductos radiculares y de puentes dentinarios, se decidió, para el análisis estadístico de estos

fenómenos, utilizar el recuento de imágenes de estenosis y de puente dentinario, únicamente de los conductos radiculares inferiores. Esta decisión fue tomada en base a que, en la arcada superior, las imágenes radiográficas muestran superposiciones de las estructuras, en particular superposiciones de las imágenes radiográficas de las raíces de los molares y por tanto puede resultar imprecisa la observación de los conductos radiculares superiores. Por ello, para no inducir a error en los resultados de la observación radiológica, los resultados de la observación radiográfica de los fenómenos de estenosis pulpar y de formación de puente dentinario se refieren únicamente a los molares inferiores.

### **Análisis estadístico**

El análisis estadístico se realizó empleando el software estadístico SPSS 11.0 para Windows Microsoft. Se realizó con este sistema el análisis de las tablas de contingencia, incluyendo las tablas de recuentos y porcentajes de los resultados obtenidos y las pruebas de chi-cuadrado de Pearson de estos mismos datos.

## **IV. RESULTADOS**

#### IV. RESULTADOS

El método diseñado para la obtención de la muestra y el seguimiento, hace que no todos los molares presenten el mismo tiempo de evolución.

La distribución de la muestra, según arcada y tiempo, se expresa en la *tabla 2*. Algunas de las imágenes del tratamiento se representan en las *figuras 1 y 2*.

<b>TIEMPO</b>	<b>Molares maxilares</b>	<b>Molares mandibulares</b>	<b>TOTAL</b>
<b>3 meses</b>	21	30	51
<b>6 meses</b>	21	31	52
<b>9 meses</b>	16	20	36
<b>12 meses</b>	13	20	33
<b>15 meses</b>	12	18	30
<b>18 meses</b>	7	10	17
<b>21 meses</b>	2	4	6
<b>24 meses</b>	2	4	6
<b>27 meses</b>	2	4	6

*Tabla 2. Distribución de la muestra*

#### **IV.1. EVALUACIÓN CLÍNICA**

En el control clínico realizado a la semana, no se encontraron signos de problemas postoperatorios inmediatos en ninguno de los molares tratados.

En los controles realizados a intervalos de 3 meses no se obtuvieron resultados positivos en ninguno de los signos evaluados. Los molares no presentaron movilidad patológica, ni dolor a la presión o a la percusión. En la mucosa, no se presentaron signos de inflamación, cambio de color, abscesos, ni fístulas.

Ninguno de los pacientes refirió haber padecido o padecer dolor, ya sea espontáneamente o con la masticación u otros estímulos.

#### **IV.2. EVALUACIÓN RADIOLÓGICA**

En ninguno de los casos estudiados se encontraron hallazgos radiológicos de interés en el control realizado una semana después de haber aplicado el material.

En los controles secuenciados, no se hallaron imágenes radiológicas de respuesta pulpar desfavorable. En ninguno de los molares se detectó la presencia de imágenes radiográficas de reabsorción radicular externa ni interna patológica, de lesión de la furca radicular, ni de ensanchamiento patológico del ligamento periodontal (*figuras 3 a 6*).

En el estudio radiográfico periódico se obtuvieron dos tipos de hallazgos radiológicos de interés, en algunos de los conductos radiculares de los molares estudiados:

- 1) Detección de una imagen radiológica de estenosis parcial, o reducción del diámetro interno, a lo largo de los conductos pulpares radiculares.

- 2) Detección de una imagen de formación de un puente de material radiopaco, presumiblemente dentinario, en el área inmediatamente apical al MTA adaptado en la cámara pulpar, es decir en la entrada del conducto radicular.

Estas imágenes radiológicas fueron detectadas, tanto en molares superiores como en molares inferiores (*figura 6*).

Como ya se ha explicado, para el análisis estadístico de estos fenómenos, se decidió utilizar el recuento de imágenes de estenosis y de puente dentinario, únicamente de los conductos radiculares inferiores. Para llevar a cabo el recuento total de estas imágenes radiográficas, se consideró individualmente cada conducto pulpar de cada molar, es decir que para cada molar se valoró independientemente la raíz mesial por un lado, y la raíz distal por otro. En algunos casos, se detectaron imágenes de estenosis y de puente dentinario en el mismo conducto radicular.

El número total de conductos pulpares estudiados en esta investigación es de 62, siendo 31 conductos mesiales y 31 conductos distales (*Tabla 3*).

<b>Tiempo</b>	<b>Número total de molares inferiores</b>	<b>Número total de conductos inferiores</b>
<b>3 meses</b>	30	60
<b>6 meses</b>	31	62
<b>9 meses</b>	20	40
<b>12 meses</b>	20	40
<b>15 meses</b>	18	36
<b>18 meses</b>	10	20
<b>21 meses</b>	4	8
<b>24 meses</b>	4	8
<b>27 meses</b>	4	8

**Tabla 3. Recuento de los molares y conductos estudiados radiológicamente para analizar los fenómenos de estenosis pulpar y puente dentinario.**

### **Estenosis de los conductos pulpares**

En los conductos estudiados, se detectó una elevada presencia de estenosis pulpar. Así, se observó este fenómeno en 35 de los 62 conductos pulpares inferiores analizados 6 meses después del tratamiento de pulpotomía, y en 37 de los 40 conductos analizados 1 año después de la intervención (*Tabla 4 y Gráficas 1 y 2*). En ninguno de los casos se detectó una imagen de estenosis u obliteración completa del conducto radicular.

Por otro lado, se ha observado que el número de conductos radiculares que presentan radiográficamente estenosis pulpar, aumentó a lo largo del tiempo. Para analizar la influencia del tiempo en la aparición de estenosis pulpar en los conductos pulpares, se realizó el análisis de las tablas de contingencia que incluyen las tablas de recuentos y porcentajes y las pruebas de chi-cuadrado de Pearson (*Tablas 4 y 5*).

Tras el análisis estadístico realizado, se concluyó que, con un nivel de confianza del 95%, el tiempo influye de forma estadísticamente significativa en la presencia de estenosis pulpar en los conductos radiculares de los molares temporales tratados mediante pulpotomía con MTA y, por tanto, que cuanto mayor es el intervalo de tiempo transcurrido tras el tratamiento, mayor es la posibilidad de aparición de estenosis pulpar.

Dado que se vio que el tiempo influye significativamente en la aparición de estenosis pulpar, se analizó estadísticamente la evolución entre los 6 y los 12 meses por un lado, y entre los 12 y los 18 meses por otro. Para ello, se realizó el análisis de las tablas de contingencia (*Tablas 6, 7, 8 y 9*). Los resultados mostraron que existe una diferencia significativa en la presencia de estenosis entre los 6 meses y los 12 meses de evolución. Sin embargo, no existe diferencia estadísticamente significativa en la evolución de 12 a 18 meses. Así pues, la aparición de estenosis en los conductos pulpares es más probable en el intervalo de tiempo de 6 a 12 meses después del tratamiento. Estos resultados se muestran gráficamente en las *gráficas 3 y 4*.

Por otro lado, se analizó estadísticamente, si existía una relación entre el tipo de molar, primer molar o segundo molar, y la aparición de estenosis en los conductos radiculares. Se realizó para ello el análisis de las tablas de contingencia (*Tablas 10 y 11*). Los resultados mostraron que no hay una relación estadísticamente significativa entre el tipo de molar y la presencia de estenosis pulpar, con un nivel de confianza del 95%. Estos resultados se muestran gráficamente en la *gráfica 5*.

Por último, se analizó estadísticamente la posible relación entre la presencia de estenosis y la situación de molar en la arcada inferior, molar derecho o molar izquierdo. Se realizó para ello el análisis de las tablas de contingencia (*Tablas 12 y 13*). Los resultados mostraron que no existe una relación estadísticamente significativa entre el hecho de que el molar sea izquierdo o derecho y la presencia de estenosis, excepto en la evaluación realizada tres meses después del tratamiento. Estos resultados se muestran gráficamente en la *gráfica 6*.

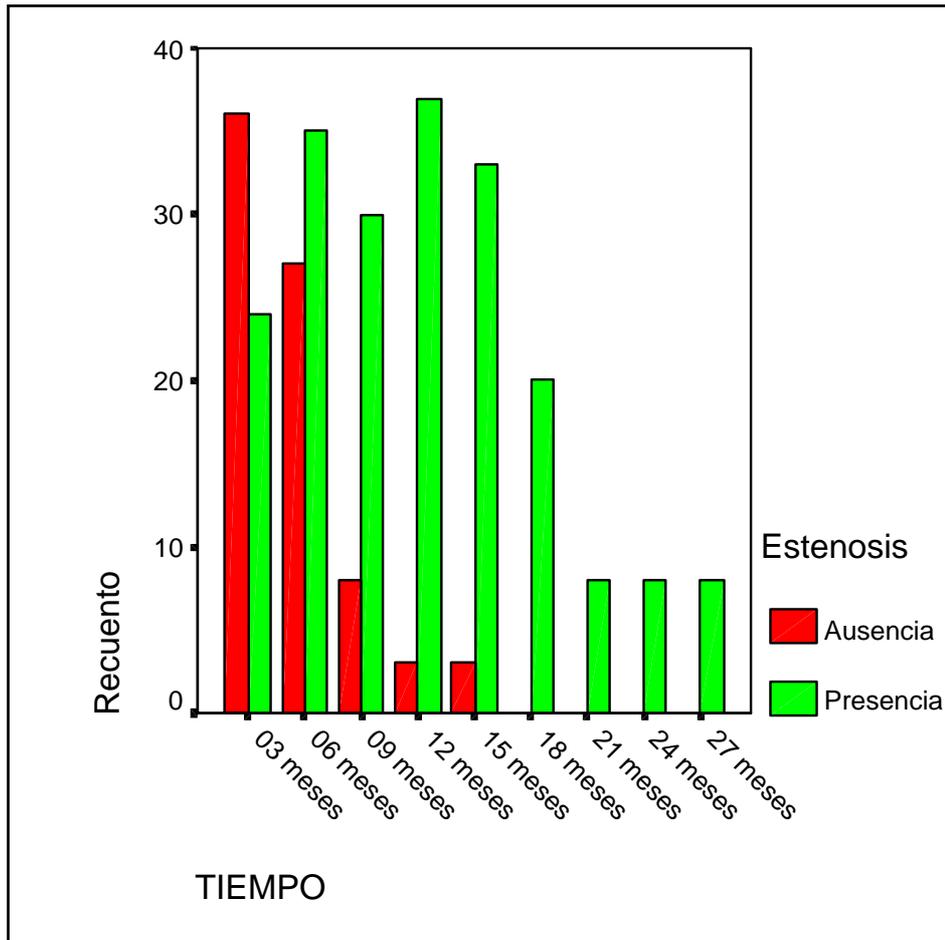
Tabla de contingencia TIEMPO \* Estenosis

			Estenosis		Total
			Ausencia	Presencia	
TIEMPO	03 meses	Recuento	36	24	60
		% de TIEMPO	60,0%	40,0%	100,0%
	06 meses	Recuento	27	35	62
		% de TIEMPO	43,5%	56,5%	100,0%
	09 meses	Recuento	8	30	38
		% de TIEMPO	21,1%	78,9%	100,0%
	12 meses	Recuento	3	37	40
		% de TIEMPO	7,5%	92,5%	100,0%
	15 meses	Recuento	3	33	36
		% de TIEMPO	8,3%	91,7%	100,0%
	18 meses	Recuento		20	20
		% de TIEMPO		100,0%	100,0%
	21 meses	Recuento		8	8
		% de TIEMPO		100,0%	100,0%
	24 meses	Recuento		8	8
		% de TIEMPO		100,0%	100,0%
	27 meses	Recuento		8	8
		% de TIEMPO		100,0%	100,0%
Total		Recuento	77	203	280
		% de TIEMPO	27,5%	72,5%	100,0%

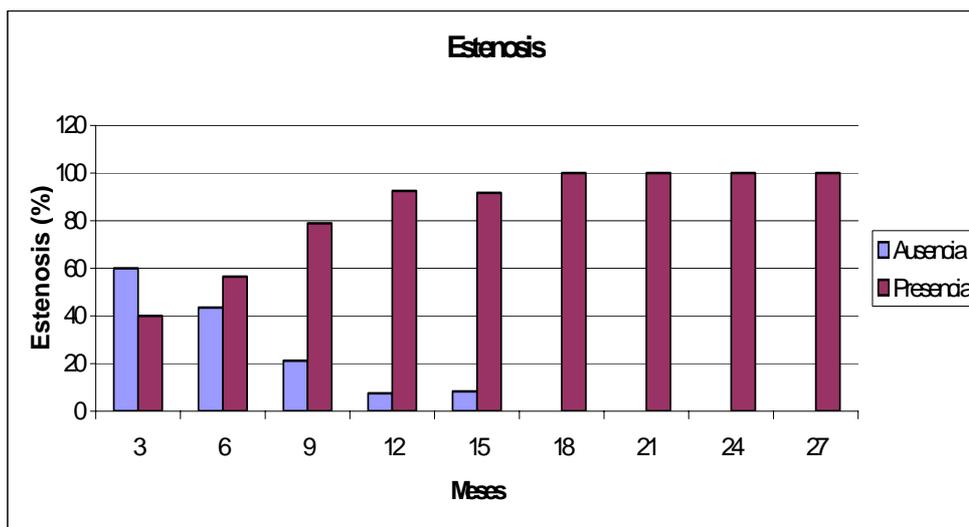
Tabla 4. Relación presencia/ausencia de estenosis con el tiempo de evolución.

	Sig. Asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	0,000

Tabla 5. Pruebas de chi-cuadrado de Pearson.



**Gráfica 1.** Representación gráfica de la ausencia/presencia de estenosis pulpar en función del tiempo y del número de molares.



**Gráfica 2.** Representación gráfica de la ausencia/presencia de estenosis pulpar en función del tiempo y del porcentaje de molares.

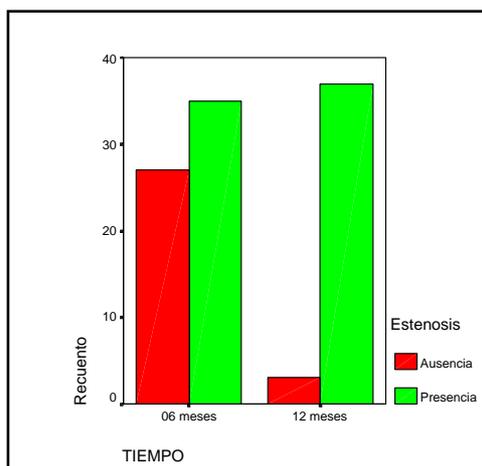
Tabla de contingencia TIEMPO \* Estenosis

			Estenosis		Total
			Ausencia	Presencia	
TIEMPO	06 meses	Recuento	27	35	62
		% de TIEMPO	43,5%	56,5%	100,0%
	12 meses	Recuento	3	37	40
		% de TIEMPO	7,5%	92,5%	100,0%
Total		Recuento	30	72	102
		% de TIEMPO	29,4%	70,6%	100,0%

**Tabla 6. Relación presencia/ausencia de estenosis con la variación en el tiempo de 6 a 12 meses.**

	Sig. Asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	0,000

**Tabla 7. Pruebas de chi-cuadrado de Pearson.**



**Gráfica 3. Representación gráfica de la relación presencia/ausencia de estenosis con la variación en el tiempo de 6 a 12 meses.**

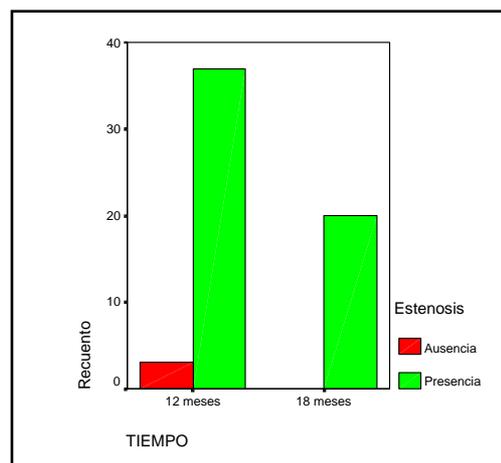
Tabla de contingencia TIEMPO \* Estenosis

			Estenosis		Total
			Ausencia	Presencia	
TIEMPO	12 meses	Recuento	3	37	40
		% de TIEMPO	7,5%	92,5%	100,0%
	18 meses	Recuento		20	20
		% de TIEMPO		100,0%	100,0%
Total		Recuento	3	57	60
		% de TIEMPO	5,0%	95,0%	100,0%

**Tabla 8. Relación presencia/ausencia de estenosis con la variación en el tiempo de 12 a 18 meses.**

	Sig. Asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	0,209

**Tabla 9. Pruebas de chi-cuadrado de Pearson.**



**Gráfica 4. Representación gráfica de la relación presencia/ausencia de estenosis con la variación en el tiempo de 12 a 18 meses.**

Tabla de contingencia MOLAR \* Estenosis \* TIEMPO

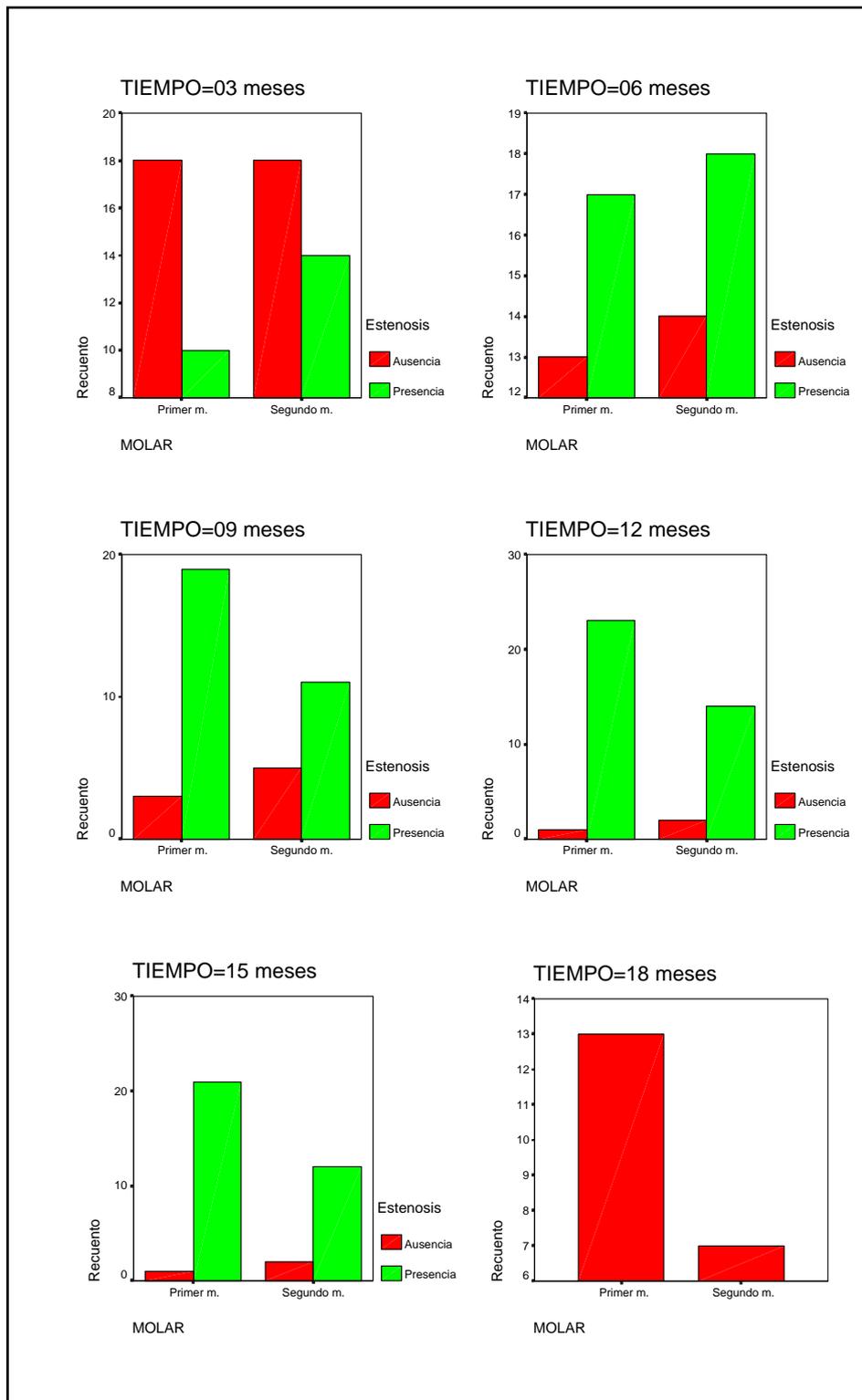
TIEMPO				Estenosis		Total
				Ausencia	Presencia	
03 meses	MOLAR	Primer m.	Recuento	18	10	28
			% de MOLAR	64,3%	35,7%	100,0%
		Segundo m.	Recuento	18	14	32
			% de MOLAR	56,3%	43,8%	100,0%
	Total		Recuento	36	24	60
			% de MOLAR	60,0%	40,0%	100,0%
06 meses	MOLAR	Primer m.	Recuento	13	17	30
			% de MOLAR	43,3%	56,7%	100,0%
		Segundo m.	Recuento	14	18	32
			% de MOLAR	43,8%	56,3%	100,0%
	Total		Recuento	27	35	62
			% de MOLAR	43,5%	56,5%	100,0%
09 meses	MOLAR	Primer m.	Recuento	3	19	22
			% de MOLAR	13,6%	86,4%	100,0%
		Segundo m.	Recuento	5	11	16
			% de MOLAR	31,3%	68,8%	100,0%
	Total		Recuento	8	30	38
			% de MOLAR	21,1%	78,9%	100,0%
12 meses	MOLAR	Primer m.	Recuento	1	23	24
			% de MOLAR	4,2%	95,8%	100,0%
		Segundo m.	Recuento	2	14	16
			% de MOLAR	12,5%	87,5%	100,0%
	Total		Recuento	3	37	40
			% de MOLAR	7,5%	92,5%	100,0%
15 meses	MOLAR	Primer m.	Recuento	1	21	22
			% de MOLAR	4,5%	95,5%	100,0%
		Segundo m.	Recuento	2	12	14
			% de MOLAR	14,3%	85,7%	100,0%
	Total		Recuento	3	33	36
			% de MOLAR	8,3%	91,7%	100,0%
18 meses	MOLAR	Primer m.	Recuento		13	13
			% de MOLAR		100,0%	100,0%
		Segundo m.	Recuento		7	7
			% de MOLAR		100,0%	100,0%
	Total		Recuento		20	20
			% de MOLAR		100,0%	100,0%
21 meses	MOLAR	Primer m.	Recuento		5	5
			% de MOLAR		100,0%	100,0%
		Segundo m.	Recuento		3	3
			% de MOLAR		100,0%	100,0%
	Total		Recuento		8	8
			% de MOLAR		100,0%	100,0%
24 meses	MOLAR	Primer m.	Recuento		5	5
			% de MOLAR		100,0%	100,0%
		Segundo m.	Recuento		3	3
			% de MOLAR		100,0%	100,0%
	Total		Recuento		8	8
			% de MOLAR		100,0%	100,0%
27 meses	MOLAR	Primer m.	Recuento		5	5
			% de MOLAR		100,0%	100,0%
		Segundo m.	Recuento		3	3
			% de MOLAR		100,0%	100,0%
	Total		Recuento		8	8
			% de MOLAR		100,0%	100,0%

**Tabla 10 . Relación ausencia/presencia de estenosis con la variación en el tiempo y el tipo de molar.**

Tiempo		Sig. Asintótica (bilateral)
3 meses	Chi-cuadrado de Pearson	0,526
6 meses	Chi-cuadrado de Pearson	0,974
9 meses	Chi-cuadrado de Pearson	0,189
12 meses	Chi-cuadrado de Pearson	0,327
15 meses	Chi-cuadrado de Pearson	0,303
18 meses*	Chi-cuadrado de Pearson	
21 meses*	Chi-cuadrado de Pearson	
24 meses*	Chi-cuadrado de Pearson	
27 meses*	Chi-cuadrado de Pearson	

\* no se calcula estadístico porque estenosis es una constante

**Tabla 11. Pruebas de chi-cuadrado de Pearson.**



**Gráfica 5. Representación gráfica de la relación presencia/ausencia de estenosis con la variación en el tiempo de 3 a 18 meses y con el tipo de molar.**

Tabla de contingencia LADO \* Estenosis \* TIEMPO

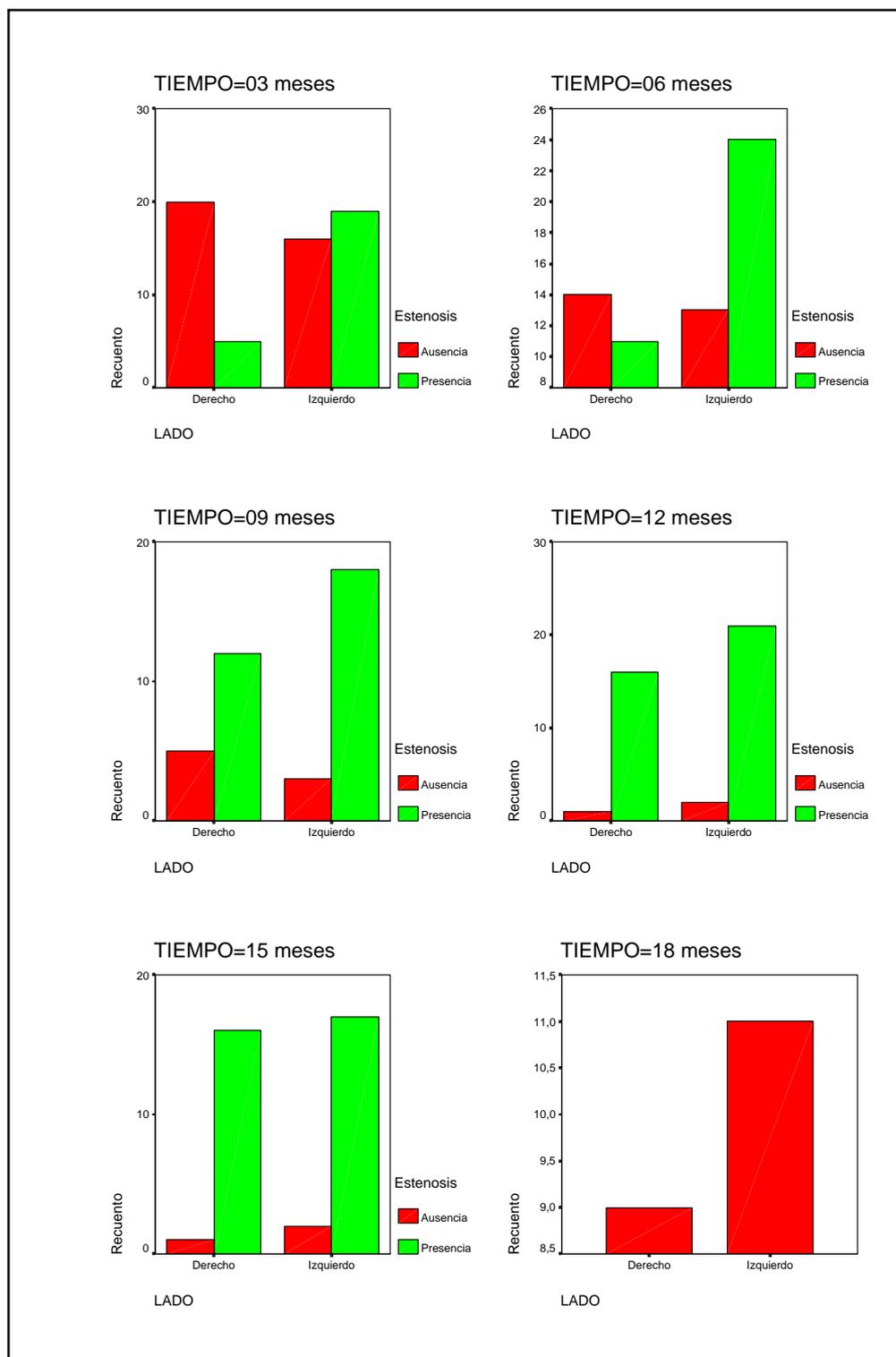
TIEMPO	LADO	Derecho	Recuento	Estenosis		Total
				Ausencia	Presencia	
03 meses	LADO	Derecho	Recuento	20	5	25
		% de LADO		80,0%	20,0%	100,0%
	Izquierdo	Recuento	16	19	35	
		% de LADO	45,7%	54,3%	100,0%	
	Total	Recuento	36	24	60	
		% de LADO	60,0%	40,0%	100,0%	
06 meses	LADO	Derecho	Recuento	14	11	25
		% de LADO		56,0%	44,0%	100,0%
	Izquierdo	Recuento	13	24	37	
		% de LADO	35,1%	64,9%	100,0%	
	Total	Recuento	27	35	62	
		% de LADO	43,5%	56,5%	100,0%	
09 meses	LADO	Derecho	Recuento	5	12	17
		% de LADO		29,4%	70,6%	100,0%
	Izquierdo	Recuento	3	18	21	
		% de LADO	14,3%	85,7%	100,0%	
	Total	Recuento	8	30	38	
		% de LADO	21,1%	78,9%	100,0%	
12 meses	LADO	Derecho	Recuento	1	16	17
		% de LADO		5,9%	94,1%	100,0%
	Izquierdo	Recuento	2	21	23	
		% de LADO	8,7%	91,3%	100,0%	
	Total	Recuento	3	37	40	
		% de LADO	7,5%	92,5%	100,0%	
15 meses	LADO	Derecho	Recuento	1	16	17
		% de LADO		5,9%	94,1%	100,0%
	Izquierdo	Recuento	2	17	19	
		% de LADO	10,5%	89,5%	100,0%	
	Total	Recuento	3	33	36	
		% de LADO	8,3%	91,7%	100,0%	
18 meses	LADO	Derecho	Recuento		9	9
		% de LADO		100,0%	100,0%	
	Izquierdo	Recuento		11	11	
		% de LADO		100,0%	100,0%	
	Total	Recuento		20	20	
		% de LADO		100,0%	100,0%	
21 meses	LADO	Derecho	Recuento		4	4
		% de LADO		100,0%	100,0%	
	Izquierdo	Recuento		4	4	
		% de LADO		100,0%	100,0%	
	Total	Recuento		8	8	
		% de LADO		100,0%	100,0%	
24 meses	LADO	Derecho	Recuento		4	4
		% de LADO		100,0%	100,0%	
	Izquierdo	Recuento		4	4	
		% de LADO		100,0%	100,0%	
	Total	Recuento		8	8	
		% de LADO		100,0%	100,0%	
27 meses	LADO	Derecho	Recuento		4	4
		% de LADO		100,0%	100,0%	
	Izquierdo	Recuento		4	4	
		% de LADO		100,0%	100,0%	
	Total	Recuento		8	8	
		% de LADO		100,0%	100,0%	

**Tabla 12. Relación ausencia/presencia de estenosis con la variación en el tiempo y la localización del molar en la arcada inferior.**

		Sig. Asintótica (bilateral)
3 meses	Chi-cuadrado de Pearson	0,008
6 meses	Chi-cuadrado de Pearson	0,104
9 meses	Chi-cuadrado de Pearson	0,255
12 meses	Chi-cuadrado de Pearson	0,738
15 meses	Chi-cuadrado de Pearson	0,615
18 meses*	Chi-cuadrado de Pearson	
21 meses*	Chi-cuadrado de Pearson	
24 meses*	Chi-cuadrado de Pearson	
27 meses*	Chi-cuadrado de Pearson	

\* no se calcula estadístico porque estenosis es una constante

***Tabla 13. Pruebas de chi-cuadrado de Pearson.***



**Gráfica 6. Representación gráfica de la relación presencia/ausencia de estenosis con la variación en el tiempo de 3 a 18 meses y con la localización del molar en la arcada inferior.**

### **Puente dentinario**

En la observación radiológica se detectó la presencia de formaciones radiopacas en el conducto pulpar en el área de contacto con el MTA. Estos puentes, presumiblemente formados por dentina reparativa, se detectaron en 19 de los 62 conductos pulpares inferiores analizados 6 meses después del tratamiento de pulpotomía, y en 29 de los 40 conductos analizados 1 año después de la intervención (*Tabla 14 y gráficas 7 y 8*).

Se observó, además, que el número de puentes dentinarios detectados en las radiografías aumentó con el transcurso del tiempo. Para analizar esta relación, se estudió estadísticamente la influencia del factor tiempo en la formación de estas estructuras dentinarias. Al igual que en el caso del estudio de la aparición de estenosis pulpar, se realizó el análisis de las tablas de contingencia (*Tabla 14*) incluyendo las pruebas de chi-cuadrado de Pearson (*Tabla 15*).

Tras el análisis estadístico realizado, se concluyó que, con un nivel de confianza del 95%, el tiempo influye de forma estadísticamente significativa en la aparición de puentes dentinarios en los conductos radiculares de los molares temporales tratados mediante pulpotomía con MTA, y que, a mayor tiempo transcurrido tras el tratamiento, mayor es la posibilidad de aparición de puentes dentinarios pulpares.

En cuanto a la relación del tiempo con la aparición de puentes dentinarios, también se analizó estadísticamente la evolución entre los 6 y los 12 meses por un lado, y entre los 12 y los 18 meses por otro. Para ello, se realizó el análisis de las tablas de contingencia (*Tablas 16, 17, 18, y 19*). Los resultados mostraron que existe una diferencia significativa al 95% en la presencia de puentes dentinarios entre los 6 meses y los 12 meses de evolución. Sin embargo, no existe diferencia estadísticamente significativa en la evolución de 12 a 18 meses. Así pues, la aparición de puentes dentinarios en los conductos pulpares es más probable en el intervalo de tiempo de 6 a 12 meses después del tratamiento. Estos resultados se muestran gráficamente en las *gráficas 9 y 10*.

Por otro lado, se analizó estadísticamente, la relación entre el tipo de molar, primer molar o segundo molar, y la aparición de puentes dentinarios en los conductos radiculares inferiores. Para la realización de este análisis, se llevó a cabo el análisis de las tablas de contingencia (*Tablas 20 y 21*). Los resultados mostraron que no hay una relación estadísticamente significativa entre el tipo de molar y la presencia de puentes dentinarios, con un nivel de confianza del 95%. Estos resultados se muestran gráficamente en la *gráfica 11*.

Por otra parte, se analizó estadísticamente la relación entre la presencia de puentes dentinarios y la situación de molar en la arcada inferior, molar derecho o molar izquierdo. Se realizó para ello el análisis de las tablas de contingencia (*Tablas 22 y 23*).

Los resultados mostraron que no existe una relación estadísticamente significativa entre el hecho de que el molar sea izquierdo o derecho y la presencia de puentes dentinarios, excepto en las evaluaciones realizadas 12 meses y 18 meses después del tratamiento. En estas revisiones se detecta la presencia de un mayor número de puentes dentinarios en el lado derecho con respecto al lado izquierdo, mostrándose una diferencia estadísticamente significativa entre ellos.

Efectivamente, en los datos recogidos se observa que, 12 meses después del tratamiento, hay presencia de puentes dentinarios en el 94,1% de los conductos pulpaes de los molares derechos, mientras que la presencia es del 56,5% en los molares izquierdos, con una diferencia estadísticamente significativa al 95%. En la revisión realizada 18 meses después del tratamiento, los datos recogidos indican que existe presencia de puentes dentinarios en el 100% de los conductos inferiores derechos y en el 63,6% en el lado izquierdo, presentado una diferencia estadísticamente significativa al 95%. Estos resultados se muestran de forma gráfica en la *gráfica 12*.

Por último, en cuanto al análisis de los resultados radiográficos, se observó que el material de relleno de la cámara pulpar, el Agregado Trióxido Mineral, permaneció en

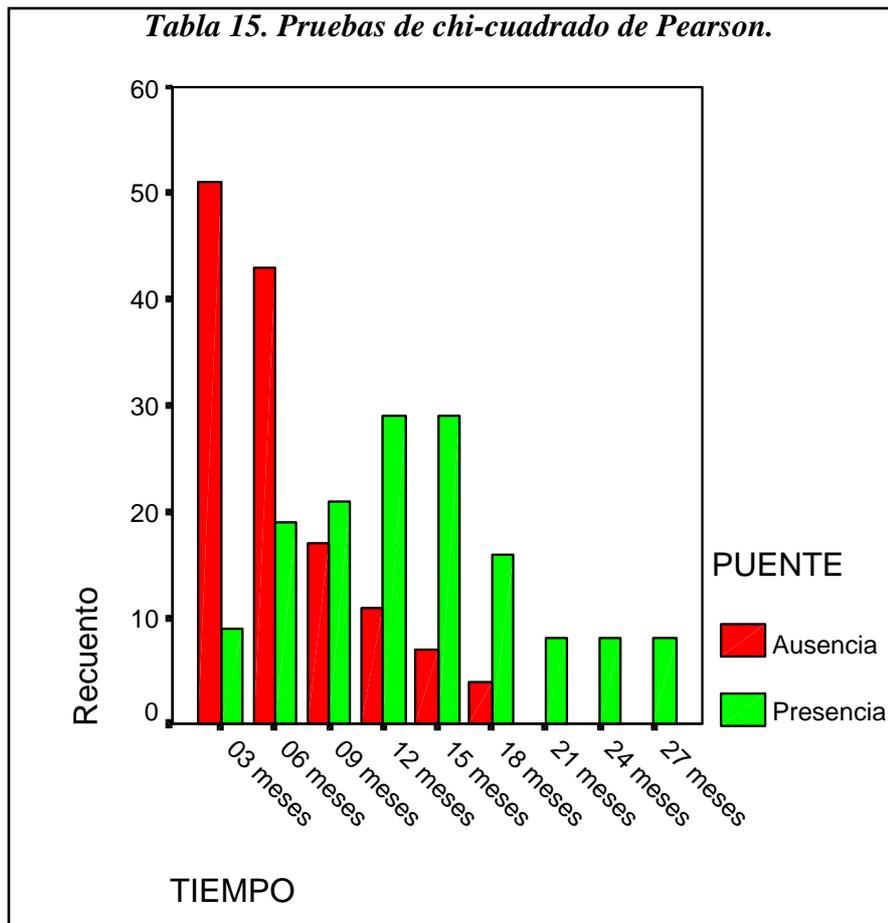
todos los casos en el lugar de su colocación, sin mostrar signos de reabsorción o desplazamiento a lo largo del tiempo.

**Tabla de contingencia TIEMPO \* PUENTE**

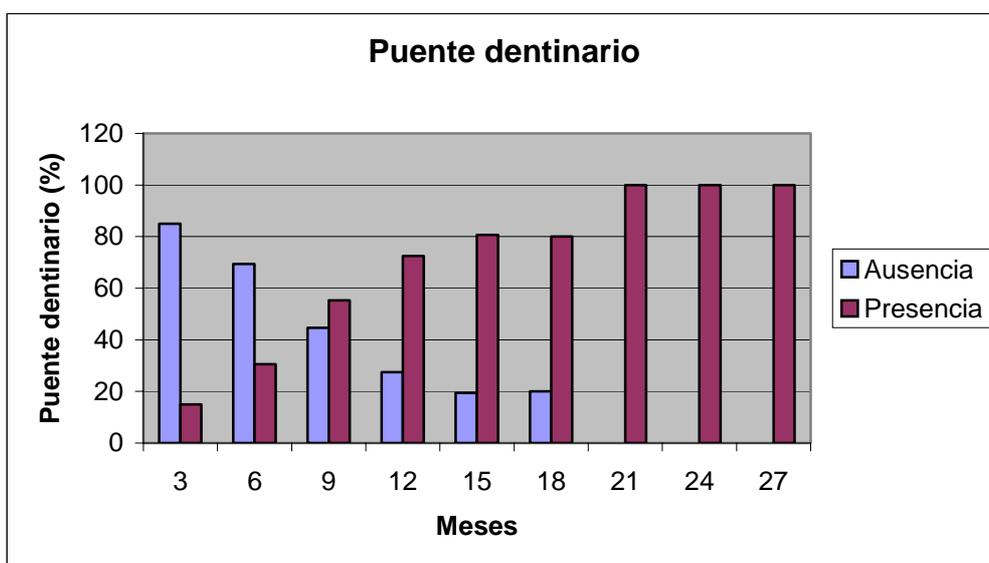
			PUENTE		Total
			Ausencia	Presencia	
TIEMPO	03 meses	Recuento	51	9	60
		% de TIEMPO	85,0%	15,0%	100,0%
	06 meses	Recuento	43	19	62
		% de TIEMPO	69,4%	30,6%	100,0%
	09 meses	Recuento	17	21	38
		% de TIEMPO	44,7%	55,3%	100,0%
	12 meses	Recuento	11	29	40
		% de TIEMPO	27,5%	72,5%	100,0%
	15 meses	Recuento	7	29	36
		% de TIEMPO	19,4%	80,6%	100,0%
	18 meses	Recuento	4	16	20
		% de TIEMPO	20,0%	80,0%	100,0%
	21 meses	Recuento		8	8
		% de TIEMPO		100,0%	100,0%
	24 meses	Recuento		8	8
		% de TIEMPO		100,0%	100,0%
	27 meses	Recuento		8	8
		% de TIEMPO		100,0%	100,0%
Total		Recuento	133	147	280
		% de TIEMPO	47,5%	52,5%	100,0%

**Tabla 14. Relación presencia/ausencia de puentes dentinarios con la variación en el tiempo de evolución**

	Sig. Asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	0,000



**Gráfica 7. Representación gráfica de la ausencia/presencia de puente dentinario en función del tiempo y del número de molares.**



**Gráfica 8. Representación gráfica de la ausencia/presencia de puente dentinario en función del tiempo y del porcentaje de molares.**

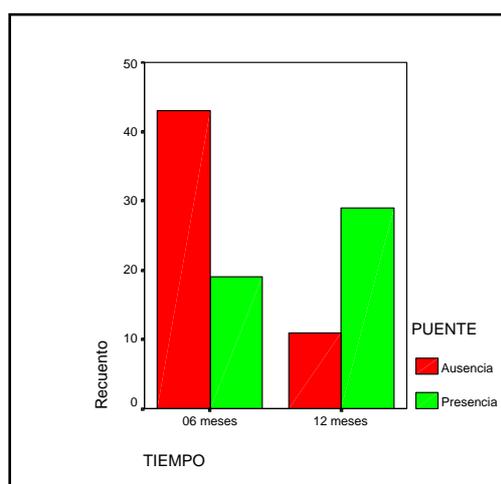
**Tabla de contingencia TIEMPO \* PUENTE**

			PUENTE		Total
			Ausencia	Presencia	
TIEMPO	06 meses	Recuento	43	19	62
		% de TIEMPO	69,4%	30,6%	100,0%
	12 meses	Recuento	11	29	40
		% de TIEMPO	27,5%	72,5%	100,0%
Total		Recuento	54	48	102
		% de TIEMPO	52,9%	47,1%	100,0%

**Tabla 16. Relación presencia/ausencia de puente dentinario con la variación en el tiempo de 6 a 12 meses.**

	Sig. Asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	0,000

**Tabla 17. Pruebas de chi-cuadrado de Pearson.**



**Gráfica 9. Representación gráfica de la relación presencia/ausencia de puente dentinario con el tiempo de evolución de 6 a 12 meses.**

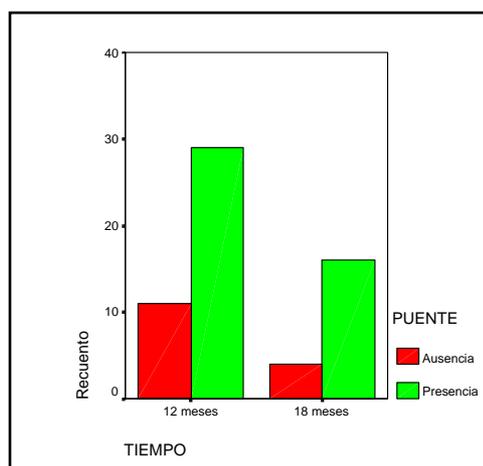
Tabla de contingencia TIEMPO \* PUENTE

			PUENTE		Total
			Ausencia	Presencia	
TIEMPO	12 meses	Recuento	11	29	40
		% de TIEMPO	27,5%	72,5%	100,0%
	18 meses	Recuento	4	16	20
		% de TIEMPO	20,0%	80,0%	100,0%
Total		Recuento	15	45	60
		% de TIEMPO	25,0%	75,0%	100,0%

**Tabla 18. Relación presencia/ausencia de puente dentinario con la variación en el tiempo de 12 a 18 meses.**

	Sig. Asintótica (bilateral)
Chi-cuadrado de Pearson	0,527

**Tabla 19. Pruebas de chi-cuadrado de Pearson.**



**Gráfica 10. Representación gráfica de la relación presencia/ausencia de puente dentinario con el tiempo de evolución de 12 a 18 meses.**

Tabla de contingencia MOLAR \* PUENTE \* TIEMPO

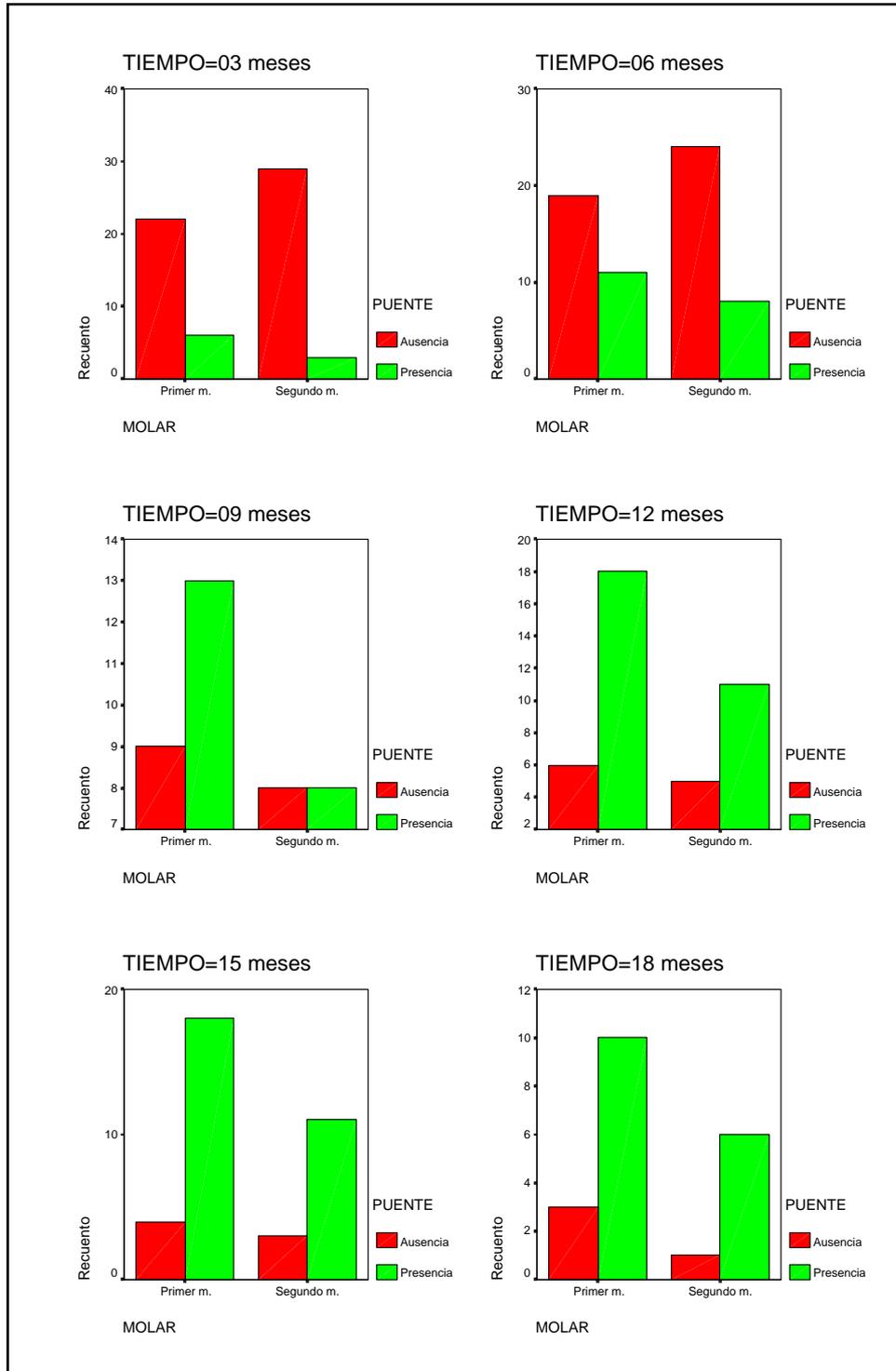
TIEMPO				PUENTE		Total
				Ausencia	Presencia	
03 meses	MOLAR	Primer m.	Recuento	22	6	28
			% de MOLAR	78,6%	21,4%	100,0%
		Segundo m.	Recuento	29	3	32
			% de MOLAR	90,6%	9,4%	100,0%
	Total		Recuento	51	9	60
			% de MOLAR	85,0%	15,0%	100,0%
06 meses	MOLAR	Primer m.	Recuento	19	11	30
			% de MOLAR	63,3%	36,7%	100,0%
		Segundo m.	Recuento	24	8	32
			% de MOLAR	75,0%	25,0%	100,0%
	Total		Recuento	43	19	62
			% de MOLAR	69,4%	30,6%	100,0%
09 meses	MOLAR	Primer m.	Recuento	9	13	22
			% de MOLAR	40,9%	59,1%	100,0%
		Segundo m.	Recuento	8	8	16
			% de MOLAR	50,0%	50,0%	100,0%
	Total		Recuento	17	21	38
			% de MOLAR	44,7%	55,3%	100,0%
12 meses	MOLAR	Primer m.	Recuento	6	18	24
			% de MOLAR	25,0%	75,0%	100,0%
		Segundo m.	Recuento	5	11	16
			% de MOLAR	31,3%	68,8%	100,0%
	Total		Recuento	11	29	40
			% de MOLAR	27,5%	72,5%	100,0%
15 meses	MOLAR	Primer m.	Recuento	4	18	22
			% de MOLAR	18,2%	81,8%	100,0%
		Segundo m.	Recuento	3	11	14
			% de MOLAR	21,4%	78,6%	100,0%
	Total		Recuento	7	29	36
			% de MOLAR	19,4%	80,6%	100,0%
18 meses	MOLAR	Primer m.	Recuento	3	10	13
			% de MOLAR	23,1%	76,9%	100,0%
		Segundo m.	Recuento	1	6	7
			% de MOLAR	14,3%	85,7%	100,0%
	Total		Recuento	4	16	20
			% de MOLAR	20,0%	80,0%	100,0%
21 meses	MOLAR	Primer m.	Recuento		5	5
			% de MOLAR		100,0%	100,0%
		Segundo m.	Recuento		3	3
			% de MOLAR		100,0%	100,0%
	Total		Recuento		8	8
			% de MOLAR		100,0%	100,0%
24 meses	MOLAR	Primer m.	Recuento		5	5
			% de MOLAR		100,0%	100,0%
		Segundo m.	Recuento		3	3
			% de MOLAR		100,0%	100,0%
	Total		Recuento		8	8
			% de MOLAR		100,0%	100,0%
27 meses	MOLAR	Primer m.	Recuento		5	5
			% de MOLAR		100,0%	100,0%
		Segundo m.	Recuento		3	3
			% de MOLAR		100,0%	100,0%
	Total		Recuento		8	8
			% de MOLAR		100,0%	100,0%

**Tabla 20 . Relación ausencia/presencia de puente dentinario con la variación en el tiempo y el tipo de molar.**

Tiempo		Sig. Asintótica (bilateral)
3 meses	Chi-cuadrado de Pearson	0,192
6 meses	Chi-cuadrado de Pearson	0,319
9 meses	Chi-cuadrado de Pearson	0,578
12 meses	Chi-cuadrado de Pearson	0,665
15 meses	Chi-cuadrado de Pearson	0,810
18 meses	Chi-cuadrado de Pearson	0,639
21 meses*	Chi-cuadrado de Pearson	
24 meses*	Chi-cuadrado de Pearson	
27 meses	Chi-cuadrado de Pearson	

\* no se calcula estadístico porque puente dentinario es una constante

**Tabla 21. Pruebas de chi-cuadrado de Pearson**



**Gráfica 11. Representación gráfica de la relación presencia/ausencia de puente dentinario con la variación en el tiempo de 3 a 18 meses y con el tipo de molar.**

Tabla de contingencia LADO \* PUENTE \* TIEMPO

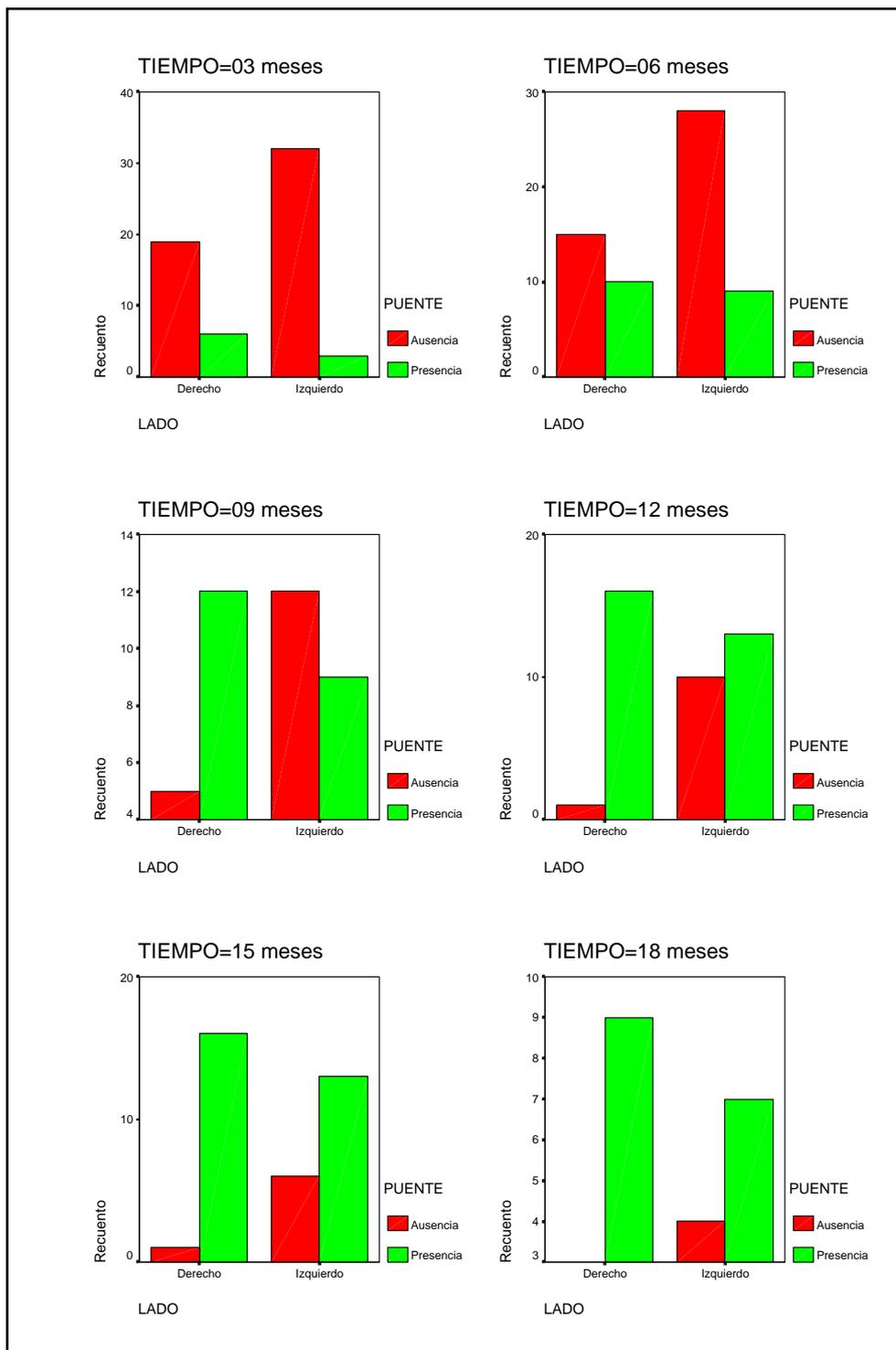
TIEMPO	LADO	Derecho	Recuento	PUENTE		Total
				Ausencia	Presencia	
03 meses	LADO	Derecho	Recuento	19	6	25
			% de LADO	76,0%	24,0%	100,0%
		Izquierdo	Recuento	32	3	35
	Total	Derecho	% de LADO	91,4%	8,6%	100,0%
			Recuento	51	9	60
		% de LADO	85,0%	15,0%	100,0%	
06 meses	LADO	Derecho	Recuento	15	10	25
			% de LADO	60,0%	40,0%	100,0%
		Izquierdo	Recuento	28	9	37
	Total	Derecho	% de LADO	75,7%	24,3%	100,0%
			Recuento	43	19	62
		% de LADO	69,4%	30,6%	100,0%	
09 meses	LADO	Derecho	Recuento	5	12	17
			% de LADO	29,4%	70,6%	100,0%
		Izquierdo	Recuento	12	9	21
	Total	Derecho	% de LADO	57,1%	42,9%	100,0%
			Recuento	17	21	38
		% de LADO	44,7%	55,3%	100,0%	
12 meses	LADO	Derecho	Recuento	1	16	17
			% de LADO	5,9%	94,1%	100,0%
		Izquierdo	Recuento	10	13	23
	Total	Derecho	% de LADO	43,5%	56,5%	100,0%
			Recuento	11	29	40
		% de LADO	27,5%	72,5%	100,0%	
15 meses	LADO	Derecho	Recuento	1	16	17
			% de LADO	5,9%	94,1%	100,0%
		Izquierdo	Recuento	6	13	19
	Total	Derecho	% de LADO	31,6%	68,4%	100,0%
			Recuento	7	29	36
		% de LADO	19,4%	80,6%	100,0%	
18 meses	LADO	Derecho	Recuento		9	9
			% de LADO		100,0%	100,0%
		Izquierdo	Recuento	4	7	11
	Total	Derecho	% de LADO	36,4%	63,6%	100,0%
			Recuento	4	16	20
		% de LADO	20,0%	80,0%	100,0%	
21 meses	LADO	Derecho	Recuento		4	4
			% de LADO		100,0%	100,0%
		Izquierdo	Recuento		4	4
	Total	Derecho	% de LADO		100,0%	100,0%
			Recuento		8	8
		% de LADO		100,0%	100,0%	
24 meses	LADO	Derecho	Recuento		4	4
			% de LADO		100,0%	100,0%
		Izquierdo	Recuento		4	4
	Total	Derecho	% de LADO		100,0%	100,0%
			Recuento		8	8
		% de LADO		100,0%	100,0%	
27 meses	LADO	Derecho	Recuento		4	4
			% de LADO		100,0%	100,0%
		Izquierdo	Recuento		4	4
	Total	Derecho	% de LADO		100,0%	100,0%
			Recuento		8	8
		% de LADO		100,0%	100,0%	

**Tabla 22. Relación ausencia/presencia de puente dentinario con la variación en el tiempo y la localización del molar en la arcada inferior.**

Tiempo		Sig. Asintótica (bilateral)
3 meses	Chi-cuadrado de Pearson	0,099
6 meses	Chi-cuadrado de Pearson	0,189
9 meses	Chi-cuadrado de Pearson	0,087
12 meses	Chi-cuadrado de Pearson	0,008
15 meses	Chi-cuadrado de Pearson	0,052
18 meses	Chi-cuadrado de Pearson	0,043
21 meses*	Chi-cuadrado de Pearson	
24 meses*	Chi-cuadrado de Pearson	
27 meses*	Chi-cuadrado de Pearson	

\* no se calcula estadístico porque puente dentinario es una constante

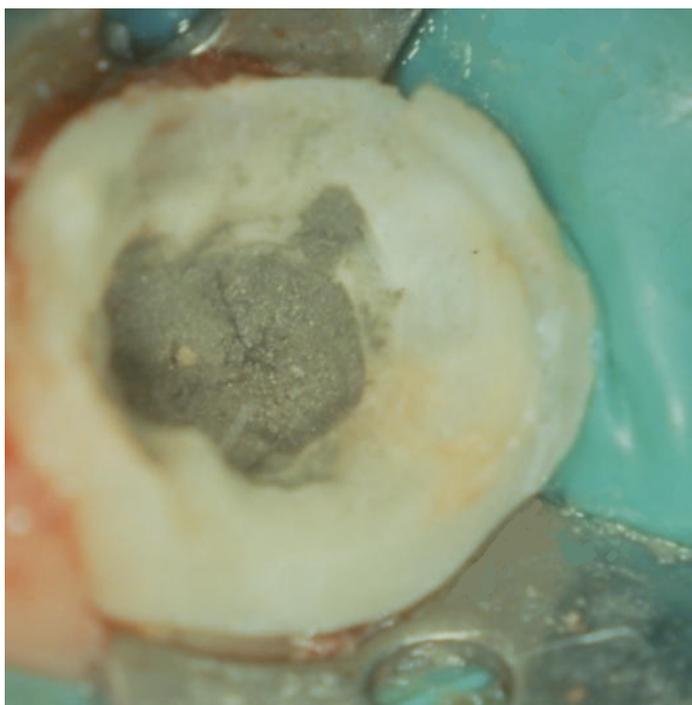
***Tabla 23. Pruebas de chi-cuadrado de Pearson***



**Gráfica 12. Representación gráfica de la relación presencia/ausencia de puente dentinario con la variación en el tiempo de 3 a 18 meses y con la localización del molar en la arcada inferior.**



*Figura 1. Material MTA ProRoot® e instrumentos de mezclado*



*Figura 2. Cámara pulpar rellena con MTA.*



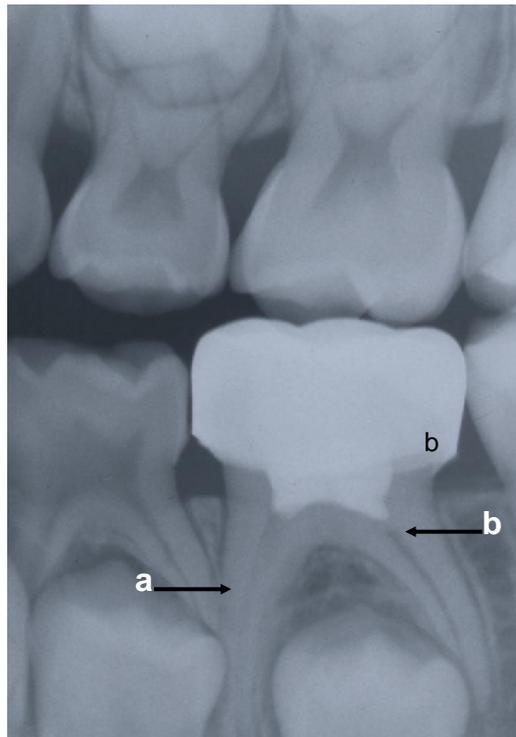
*Figura 3. Caso número 12. Imagen radiológica previa al tratamiento de pulpotomía.*



*Figura 4. Caso número 12. Imagen radiológica tras el relleno de la cámara pulpar con MTA.*



*Figura 5. Caso anterior, imagen radiológica de la revisión 3 meses después del tratamiento.*



*Figura 6. Imagen radiográfica obtenida 6 meses después del tratamiento.  
Se indican con flechas las imágenes de: a) estenosis pulpar y b) puente dentinario.*

## **V. DISCUSIÓN**

## V. DISCUSIÓN

Uno de los tratamientos más controvertidos en odontopediatría es, según muchos autores, el tratamiento pulpar en dientes temporales. En particular, el procedimiento de la pulpotomía es un tema de debate desde hace décadas y, de hecho, se considera que el agente de pulpotomía “ideal” aún no ha sido identificado (5, 8, 10, 15).

El formocresol ha sido, y sigue siendo hasta la actualidad, el medicamento más empleado en el tratamiento de pulpotomía en dientes temporales. Sin embargo, se ha demostrado que este producto posee características tóxicas para los tejidos con los que entra en contacto y que es potencialmente cancerígeno (2, 3, 5, 7, 9, 10).

Por ello, se han investigado otros productos y otras técnicas que pudieran ofrecer una alternativa al uso del formocresol en el tratamiento de pulpotomía en dientes temporales, como el glutaraldehído, el óxido de cinc-eugenol, el sulfato férrico, el hidróxido de calcio, el hueso liofilizado, las proteínas óseas morfogenéticas, la electrocirugía y el láser.

Existe, en la literatura científica, un gran número de estudios clínicos acerca de estos materiales. Estas investigaciones se han realizado desde mediados de los años cincuenta pero, para el presente estudio, se decidió hacer una revisión bibliográfica de aquéllos trabajos llevados a cabo desde principio de los años noventa hasta la actualidad, para comprobar los últimos avances y las conclusiones más actuales con respecto a los tratamientos de pulpotomía en dientes temporales. Así, en ese intervalo de tiempo, se ha podido comprobar que los estudios que son más numerosos son los referidos al glutaraldehído y al sulfato férrico, mientras que los menos abundantes, pero mucho más recientes, son aquéllos que investigan materiales denominados biológicos, como el hueso liofilizado y las proteínas osteogénicas.

Sin embargo, los estudios acerca del empleo del formocresol siguen siendo, hasta la fecha, mucho más numerosos y realizados con muestras mucho más amplias y a mucho

mayor tiempo de evolución que ninguna de las alternativas propuestas. La mayoría de los autores han concluido, tras sus investigaciones, muchas comparativas con el uso de formocresol, que ninguno de los productos ni de las técnicas que se han propuesto como alternativa al formocresol han mostrado, hasta la fecha, proporcionar un rango de éxito en las pulpotomías que iguale a largo término el que presenta el formocresol (5, 10, 11, 15).

Por otro lado, si bien parece haber un acuerdo generalizado en cuanto a los objetivos ideales que debe cumplir un tratamiento de pulpotomía en dientes temporales, se puede apreciar, en la literatura científica, que no existe un acuerdo generalizado, ni una descripción exacta, de cuáles deberían ser las características ideales de un material para el tratamiento de pulpotomía en dientes temporales. De hecho, los materiales que se han propuesto tienen acciones muy diferentes, como momificar la pulpa, cauterizarla, preservarla, o estimularla para la formación de dentina. Ciertos autores citan algunas de las posibles características ideales de un material de pulpotomía en dientes temporales como, por ejemplo, que no sea nocivo para los tejidos con los que entra en contacto y circundantes, que sea bactericida, que fomente la cicatrización de la pulpa radicular, que no interfiera en los procesos fisiológicos de resorción radicular y que sea capaz de dejar la pulpa radicular vital y sana (5, 8, 15, 22). Algunos autores consideran también que la pulpa radicular debería permanecer rodeada de dentina (22). Por otro lado, se considera que para mantener una pulpa sana vital, es imprescindible un correcto sellado de la misma (22, 68, 69, 76, 106).

Siguiendo estos criterios, se ha valorado la posibilidad de emplear, en tratamientos de pulpotomías de dientes temporales, un material que se está usando con resultados favorables, desde principios de los años 1990, en diferentes tipos de tratamientos pulpares en dientes permanentes. Este producto es el Agregado Trióxido Mineral (MTA).

Este material posee varias características que hacen que podría ser útil en el tratamiento de pulpotomía en dientes temporales. En primer lugar, se ha demostrado en tests *in vitro* e *in vivo*, en pruebas de implantación y en estudios clínicos, que es un material biocompatible (69, 93, 95, 98, 99-101, 104, 106). Además, presenta un pH básico de 12,5 de media, característica que favorece, según se ha demostrado, la curación pulpar y

la reducción de infección bacteriana (69, 70, 74) . Por otro lado, se ha visto que tiene una gran capacidad de sellado, lo que también favorece el proceso de curación pulpar y la formación de dentina reparativa (67, 69, 78-83, 85, 86, 88, 90-92). Múltiples estudios han demostrado también que el MTA no es un material inerte, sino que es capaz de estimular la formación de tejido dentinario por parte de la pulpa (97, 105, 112-115), lo que, según numerosos autores, sería otra de las características ideales de un material de pulpotomía. Por último, el MTA posee otras propiedades tales como su radiopacidad, que permite su control radiográfico (68-70, 77), un nivel de resistencia a la compresión suficiente para ser material de relleno de la cámara pulpar, siempre que ésta sea sellada además con otro material (68-70, 73, 74) y una baja solubilidad (69, 70), lo que permitiría su permanencia en el tiempo de forma estable en la cámara pulpar.

Hasta la fecha de finalización de este estudio, sólo existe un artículo referente al estudio clínico de la aplicación de MTA en pulpotomías de dientes temporales. En este estudio, publicado por Eidelman E, Holan G y Fucks AB en 2001, se comparó el resultado clínico y radiológico de la aplicación de MTA en pulpotomías de dientes temporales (133).

## **V.1. CONSIDERACIONES ACERCA DEL MATERIAL Y MÉTODO DEL ESTUDIO**

La muestra elegida para esta investigación constó de 67 molares. Dado que 10 molares correspondían a pacientes que no acudieron a las citas de revisión y que 5 de ellos habían sido tratados muy recientemente, no se incluyeron en el estudio. Finalmente, la muestra del estudio fue de 52 molares, que se evaluaron periódicamente durante un tiempo máximo de 27 meses después del tratamiento de pulpotomía con Agregado Trióxido Mineral.

Estos datos son muy similares a los hallados en la mayoría de los estudios publicados acerca de la investigación clínica de otros materiales de pulpotomía en dientes temporales en humanos. Así por ejemplo, autores como Fei y cols. (20) estudiaron la respuesta de 56 molares pulpotomizados durante 12 meses, Sasaki H y cols. (46) revisaron 33 molares durante un tiempo medio de 12 meses, siendo el máximo de 24 meses y Rusmah M y cols. (14) 42 molares durante 3 meses. En los estudios comparativos en los

que se analizó la respuesta clínica de dos materiales diferentes de pulpotomía, los tiempos de evaluación son aproximadamente los mismos, si bien algunos estudios presentan muestras ligeramente más amplias, pero divididas en dos grupos, como por ejemplo 96 molares estudiados por Fucks AB (21), 79 por Watherhouse PJ (16) ó 70 por Ibricevich H (22). Otros estudios comparativos, sin embargo, presentan muestras que oscilan entre los 30 y los 60 molares (12, 28, 65).

Cabe destacar que en el estudio realizado por Eidelman y cols. (133), la muestra de molares temporales en los que se realizó el tratamiento de pulpotomía fue de 32 molares, siendo 15 de ellos tratados con la técnica de formocresol y 17 con MTA. El tiempo máximo de seguimiento fue de 25 meses, mostrándose los resultados de los tratamientos con MTA de 9 molares estudiados durante un máximo de 6 a 12 meses, de 3 molares estudiados durante un máximo 13 a 18 meses, de 4 estudiados durante un máximo 19 a 24 meses y de uno de ellos estudiado durante 25 meses. Por tanto, el tamaño muestral de nuestro estudio es ligeramente más amplio que el de este artículo, con unos tiempos de estudio muy similares, lo que nos permite comparar los resultados de la investigación.

Por otro lado, en cuanto al tiempo de evaluación de la muestra, es habitual que, para la publicación de artículos acerca de investigaciones clínicas, se pida como requisito un tiempo de evaluación de 12 meses. En nuestro caso, el tiempo de evaluación es mucho más largo por lo que, aunque está previsto el seguimiento de la muestra, consideramos que es tiempo suficiente para la exposición de resultados.

En cuanto a los criterios de selección, se eligieron todos aquellos molares, tanto primeros como segundos, y tanto superiores como inferiores, en los cuales existiera la necesidad de un tratamiento de pulpotomía. Para establecer esta necesidad, se siguieron los criterios propuestos por la mayoría de los autores: molares con presencia de caries que provoque afectación pulpar sin signos ni síntomas de degeneración de la pulpa radicular, es decir sin historia de dolor espontáneo o a la percusión, sin absceso ni trayectos fistulosos asociados, sin movilidad patológica, sin imagen radiológica de reabsorción radicular externa o interna no fisiológica (10-12, 16, 17, 21, 28, 47, 59). A estos criterios, se añadió también el hecho de elegir pacientes que no presentaran patologías o tratamientos

farmacológicos que pudieran interferir en el estudio, para evitar sesgos en los resultados. Esto último fue considerado también en investigaciones similares como las realizadas por Shumayrick NM (28) y Fucks AB (21).

En lo referente a la técnica de pulpotomía, se decidió emplear la técnica más frecuentemente descrita por la mayoría de los autores de pulpotomía al formocresol, pero con la diferencia de que se empleó MTA en lugar de formocresol. Así, las etapas de anestesia, aislamiento, tallado, remoción de caries, apertura cameral y control de la hemorragia, se realizaron del mismo modo y con el mismo instrumental que el descrito para la técnica convencional (8, 10, 11). De hecho, en la mayoría de los estudios clínicos en los que, en lugar de formocresol, se han empleado otros materiales o sistemas para la pulpotomía, también se ha empleado esta técnica de un modo muy parecido (12, 14, 16, 20-22, 28, 46, 47, 65, 22).

En cuanto a la aplicación del MTA en la cavidad pulpar, se realizó como indican los investigadores para tratamientos de recubrimiento pulpar y pulpotomías en dientes permanentes (68, 69, 76, 106, 118). La técnica coincide además con el estudio de Eidelman y cols. de pulpotomías con MTA en dientes temporales (133).

Para evitar sesgos en los resultados, se decidió estudiar únicamente el tratamiento en molares temporales y no en incisivos ni caninos. Esto se debe a que, en primer lugar, las características de estructura y función son diferentes entre estos grupos dentarios y, por tanto, podrían introducir variables en los resultados, y a que el método de restauración habría sido diferente, puesto que en el grupo anterior las restauraciones suelen realizarse mediante materiales estéticos como la resina compuesta, mientras que, en los molares, se recomienda el uso de coronas metálicas preformadas. Efectivamente, se decidió obtener todos los molares mediante corona metálica preformada, dado que la mayoría de los autores consideran que es el método más adecuado para lograr un buen sellado y una larga durabilidad del molar tratado (8, 10, 11). De hecho, en la gran mayoría de las investigaciones clínicas en humanos acerca del tratamiento de pulpotomía con diferentes materiales, el análisis se llevó a cabo únicamente en molares y no en dientes del grupo

anterior y la obturación final se realizó con corona metálica preformada (8, 14, 16, 17, 20-22, 28, 46, 47, 65).

## **V. 2. CONSIDERACIONES ACERCA DE LOS RESULTADOS DEL ESTUDIO**

La elección de los criterios de éxito y fracaso de las pulpotomías elegidos para valorar los resultados de este estudio, se basó en los parámetros establecidos por la mayoría de los autores en estudios clínicos previos. En general, muchos investigadores clasifican los criterios de valoración de los resultados en tres grupos: criterios de éxito clínico, criterios de éxito radiológico y criterios de éxito histológico.

Así, según la mayoría de los autores, se considera que un tratamiento de pulpotomía representa un éxito clínico si no se observan, en las revisiones, síntomas de dolor espontáneo o a la percusión, ni presencia de absceso o tumoración, ni presencia de movilidad no fisiológica (12, 16, 19, 21). El criterio de éxito radiológico estaría determinado por la ausencia de imágenes radiolúcidas de reabsorción externa acelerada o interna, de reabsorción en el área de la furca y de alteración del espacio periodontal (12, 16, 21, 22). En cuanto a las imágenes radiológicas de reabsorción interna, algunos autores como Strange DM y cols. (17) consideran que puede establecerse éxito radiológico aunque exista imagen de reabsorción interna radicular, dado que, según ellos, este fenómeno no indica forzosamente que el molar pulpotomizado fracase clínicamente, y puede perdurar en el tiempo cumpliendo sus funciones en la cavidad oral. Estos autores establecen en su estudio retrospectivo en el que se analizaron pulpotomías en 196 molares temporales, dos rangos de éxito en sus resultados: uno de 99% si se incluye en los criterios de éxito la presencia de reabsorciones internas radiculares, y otro de 79% si este criterio es excluido. Por otro lado, Smith NL y cols. (47) realizaron también un amplio estudio retrospectivo de pulpotomías en 242 molares temporales con sulfato férrico, en el que se detectaron reabsorciones internas en el 18% de la muestra. Los autores comentaron, a este respecto, que estos datos podrían no considerarse como determinantes de fracaso de la técnica puesto que, según ellos, mientras que el proceso de reabsorción no afecte al hueso adyacente al molar tratado, éste no da problemas a nivel clínico. A pesar de estos datos, preferimos, en nuestro estudio, considerar

las reabsorciones internas como fracasos del tratamiento pulpar, de acuerdo con la gran mayoría de los autores.

### **Resultados clínicos**

En nuestro estudio, obtuvimos un nivel de éxito de 100%, puesto que en ninguno de los molares tratados con MTA se detectaron, durante las revisiones sucesivas, signos clínicos considerados como fracaso del tratamiento. Estos resultados parecen ser superiores a muchos de los obtenidos con el empleo del formocresol empleados en pulpotomías de dientes temporales en los que los rangos de éxito oscilan entre el 80% y el 99% (2, 3, 5, 12, 15, 16, 21, 51). Sin embargo, hemos hallado algunos estudios clínicos de pulpotomías en humanos, comparables en cuanto a muestra y tiempo de evolución, en los que se ha obtenido un resultado de 100% de éxito clínico con el empleo de formocresol (22), sulfato férrico (22) y glutaraldehído (12).

Por otro lado, nuestros resultados coinciden con los obtenidos en el único estudio clínico publicado hasta la fecha acerca de pulpotomías en dientes temporales con MTA, puesto que, en éste, también se muestra un nivel de éxito clínico establecido en el 100%. (133)

### **Resultados radiográficos**

El análisis de los resultados de la exploración radiográfica realizado en este estudio ha mostrado una ausencia de imágenes radiológicas consideradas patológicas. Las diferencias en estos resultados con otros estudios son mayores que las obtenidas en cuanto a los resultados clínicos. Efectivamente, en diversos estudios clínicos de pulpotomías realizadas con otros productos, se han obtenido resultados radiológicos con porcentajes de éxito que oscilan entre 73% y 97% (5, 15-17, 21, 22, 28, 59), excepto en el estudio llevado a cabo con glutaraldehído por Hernández y cols. en el año 2000, en el que, tras 12 meses de evolución, se obtuvo un resultado de éxito radiológico del 100% (12).

De nuevo, nuestros resultados coinciden con los obtenidos en el estudio clínico de Eidelman y cols. (133) acerca de pulpotomías en dientes temporales con MTA, puesto que en éste también se determinó un nivel de éxito radiológico del 100%.

Así mismo, se ha detectado en las radiografías analizadas, signos de formación de dentina reparativa en los conductos radiculares de los molares estudiados. Se ha observado un fenómeno de estrechamiento progresivo de los conductos radiculares pulpares, así como la formación de puentes dentinarios en el límite de la amputación pulpar.

Estos fenómenos se han observado también en estudios clínicos de pulpotomía realizados con anterioridad. Según múltiples autores, esta formación de tejido reparativo no se considera un fracaso del tratamiento sino que, al contrario, representa una reacción de una pulpa sana y vital para separar y reparar la zona herida (17, 22, 25, 39, 44, 51, 55). Se sabe que la pulpa dental tiene un gran potencial de recuperación de una agresión bajo condiciones favorables, y la formación de un puente de dentina terciaria reparativa sobre la pulpa expuesta o herida es señal de reparación y señal de que la pulpa mantiene, pues, su vitalidad y sus funciones a lo largo del tiempo (51, 25, 17, 22). De hecho, algunos autores estiman que un material considerado ideal para el tratamiento de pulpotomía debería ser capaz de dejar la pulpa remanente vital, sana y sellada por paredes de dentina (22).

En cuanto al fenómeno de estrechamiento o estenosis de los conductos pulpares radiculares tras el tratamiento de la pulpotomía, se halla también descrito en la literatura con otras denominaciones, como obliteración pulpar o metamorfosis cálcica de los conductos (17, 25, 47, 133).

Este fenómeno se ha detectado en pulpotomías realizadas con diversos materiales, como el formocresol y el sulfato férrico. Strange DM (17) publicó un estudio retrospectivo en el que se estudiaron 196 molares temporales en los que se habían realizado pulpotomías con óxido de cinc-eugenol combinado con una gota de formocresol. El autor narra la detección radiográfica de metamorfosis cálcica en el 54% de los molares tratados, analizados entre 4 y 5 años después del tratamiento, y describe estas imágenes como un aumento de la calcificación de las paredes radiculares, llegando a veces a la obliteración

completa de los conductos. En otro estudio retrospectivo de pulpotomías realizadas en 242 molares temporales con sulfato férrico, los autores (47) detectaron, como uno de los hallazgos radiológicos más frecuente, la metamorfosis cálcica, encontrada en un 33% de los molares analizados. Eidelman y cols. detectaron esta imagen en 13% de los molares tratados con formocresol (133). Sin embargo, existen resultados controvertidos en este tema pues, en otras investigaciones clínicas (22, 58), se concluyó que ni el sulfato férrico ni el formocresol tienen la capacidad de inducir la formación de tejido dentinario en los conductos pulpares de molares humanos.

En la investigación realizada por Eidelman y cols. (133), en la que se realizaron pulpotomías en molares temporales con MTA, los autores describen, tras el análisis radiográfico, la aparición de obliteraciones pulpares en el 41% de los 15 molares estudiados, durante un tiempo medio de 13 meses. Este hallazgo fue mayor que el obtenido con el uso de formocresol, pues la estenosis fue detectada en 13% de los molares con este material. Estos resultados fueron considerados también como un signo de vitalidad pulpar y, por tanto, de éxito del tratamiento de pulpotomía con MTA.

En el presente trabajo, se ha detectado el fenómeno de estenosis pulpar en un elevado número de radiografías. Se consideró la presencia de estenosis en los casos en los que se observó la disminución del diámetro de los conductos radiculares en comparación con las radiografías iniciales de control, realizadas en el momento de finalización del tratamiento de pupotomía con MTA. En ningún caso se detectó la presencia de obliteración completa de los conductos.

Cabe destacar, como ya se dijo previamente, que los fenómenos de formación dentinaria fueron detectados radiológicamente, tanto en molares superiores como en inferiores. Sin embargo, para el análisis estadístico, se realizó el recuento de dichos signos únicamente en los conductos radiculares inferiores, para evitar resultados erróneos debidos a la superposición de imágenes radiológicas en la arcada superior. A este respecto, autores como Strange DM (17), en su estudio retrospectivo de pulpotomías, realizaron un análisis radiológico de molares, tanto superiores como inferiores. Encontraron que las cifras obtenidas como resultados acerca de la detección de estenosis pulpar eran superiores en los

molares inferiores en comparación con los superiores. El autor consideró que esta diferencia pudo ser debida a que existe una mayor dificultad en la lectura de los resultados en las radiografías de la arcada superior, debido a la superposición de imágenes.

Los resultados de nuestro estudio muestran que se hallaron, 6 meses después del tratamiento, signos de estenosis pulpar en el 62% de los conductos radiculares inferiores, y en el 92,5% de éstos, 12 meses después del tratamiento.

En cuanto a las imágenes de puentes dentinarios, han sido también descritas en múltiples estudios de pulpotomías realizadas con diferentes materiales. A pesar de que parece existir cierta controversia en los resultados, en general, se ha observado la formación de puentes dentinarios, principalmente con materiales que clásicamente han sido destinados a la estimulación de formación de dentina, como el hidróxido de calcio y a otros materiales biológicos más novedosos, como el hueso liofilizado y las proteínas óseas morfogenéticas.

Sasaki H (46) realizó un estudio clínico en molares temporales en los que detectó radiológicamente la presencia de puentes dentinarios, después de haber realizado pulpotomías mediante hidróxido de calcio. Así mismo, Fadavi (39) estudió los resultados histológicos de pulpotomías realizadas en 36 molares de animales de experimentación, durante un tiempo de seguimiento de 6 meses. Con el empleo de hidróxido de calcio, se formaron puentes dentinarios en un 50% de la muestras estudiadas y, empleando hueso liofilizado, se hallaron puentes dentinarios en el 100% de los molares. Sin embargo, Cortés Lillo y cols. (51) no hallaron, en animales de experimentación, más que leves signos de formación de puentes dentinarios tras el empleo de hueso liofilizado.

Por otro lado, las proteínas óseas morfogenéticas parecen también producir puentes dentinarios cuando son aplicadas en pulpotomías, según estudios de Nakashima (54). Así mismo, Rutherford RB (53) describió que en tan sólo 6 semanas, se apreció histológicamente la formación de puentes dentinarios en 12 de las 12 muestras, es decir en el 100%, tratadas con proteína ósea morfogenética.

Se describe también en la literatura la formación de puentes dentinarios con otros materiales. Así, Fucks AB (52) observó mediante análisis histológico de molares de monos, tras 6 meses de evolución, la formación de puentes dentinarios con glutaraldehído. Sin embargo, existen varios estudios realizados en animales de experimentación en los que, tras el análisis histológico, se concluyó que productos como el formocresol (58, 19, 60), el glutaraldehído (14, 19) o sistemas como la electrocirugía (58, 60) o el laser (66), no estimulan la formación de puentes dentinarios.

En nuestro estudio, se detectó un elevado número de imágenes radiológicas de puentes dentinarios. Se hallaron en un 30,6% de los conductos inferiores, transcurridos 6 meses después del tratamiento y en un 72,5%, un año después de la realización de las pulpotomías. Por tanto, la formación de tejido dentinario, tanto creando estenosis de los conductos pulpares como formando puentes dentinarios sería, según este estudio, más frecuente con la aplicación del MTA que con otros productos.

Sin embargo, cabe destacar que existen ciertas variables en el método de estudio, que hacen que no se pueda hacer una comparación exacta de los resultados con otras investigaciones. En efecto, en nuestro estudio, el recuento de imágenes de estenosis y de puentes dentinarios se realizó en cada conducto radicular por separado y no en cada molar, como ocurre en otras investigaciones. Además, únicamente se evaluaron estadísticamente los conductos radiculares inferiores y no los superiores. Por otro lado, no se realizó una medición milimétrica con ningún instrumento de medición de la disminución de los conductos radiculares, sino que fue llevada a cabo por exploración visual directa de las radiografías, por lo que los resultados podrían variar con respecto a otras investigaciones. Por otro lado, los resultados de muchas de las investigaciones publicadas hasta la fecha, muestran datos de análisis histológicos, principalmente en animales de experimentación. En nuestro estudio, los molares tratados no fueron en ningún caso extraídos, por lo que el análisis de estos fenómenos ocurridos en el interior de los conductos pulpares sólo pudo ser realizado en base a las imágenes radiográficas.

No obstante, no resulta sorprendente detectar una elevada frecuencia en la formación de dentina reparativa con la aplicación del Agregado Trióxido Mineral, ni que

ésta sea mayor que la producida por otros materiales. Efectivamente, se ha demostrado que este material es capaz de estimular la formación de tejidos duros como hueso, cemento y dentina (71, 72, 96, 108-110, 135). En particular, se ha visto que cuando permanece en contacto con pulpa dental vital, estimula la formación de dentina. En principio, se considera que esta capacidad del MTA se basa principalmente en tres características, que permiten que la pulpa tenga las condiciones favorables para reparar la lesión mediante la formación de dentina reparativa. Estas características serían: su biocompatibilidad, su pH básico y su elevada capacidad de sellado (67-71, 108-110). Pero además, aunque el mecanismo no está todavía completamente demostrado, existen investigaciones que han mostrado que el MTA no sería un material inerte, sino biológicamente activo. Así pues, este material sería capaz de estimular la activación del sistema inmune que participaría en la diferenciación celular de los dentinoblastos para la producción de dentina (69, 71, 97, 102). El MTA se ha empleado en dientes permanentes jóvenes para tratamientos de recubrimiento pulpar y de pulpotomía (68, 69, 76, 105, 106, 115). En estas investigaciones, se han obtenido resultados favorables y se ha observado la formación de puentes dentinarios a nivel de la amputación pulpar. Se ha visto además, en muchos casos, que la formación de dentina ha sido mayor con el empleo de MTA que con el hidróxido de calcio (68, 69, 105, 115). En cuanto al estudio de Eidelman y cols. acerca de las pulpotomías con MTA en molares temporales, los autores describen que se detectó la presencia de puentes dentinarios en los conductos radiculares, pero no especificaron en qué porcentaje (133). Estos resultados fueron considerados también como un signo de vitalidad pulpar.

Por otro lado, los resultados de nuestro estudio han demostrado que el tiempo influye significativamente en la formación de dentina reparativa, viéndose así que existe una mayor probabilidad de detectar estenosis y puentes dentinarios cuanto más largo sea el tiempo de evolución, tras la realización de pulpotomía con MTA. Estos datos indicarían, pues, una formación progresiva de dentina reparativa. Los resultados coinciden con otros estudios, como el de Strange DM (17) en el que se realizaron pulpotomías con formocresol, y se describe cómo el fenómeno de estenosis pulpar aumenta con el tiempo, siendo de 16,6% a los 12 meses de estudio, de 34,5% a los 24 meses y de 44,5% a los 36 meses de estudio.

Esta formación dentinaria comenzaría tempranamente, pues en 6 meses ya detectamos el 56,5 % de los conductos con estenosis y el 30,6 % con puentes dentinarios. Además, los resultados muestran diferencias significativas en los cambios producidos entre los 6 y los 12 meses, pero no entre los 12 y los 18 meses y, por tanto, es más probable la producción de dentina reparativa entre 6 y 12 meses de evolución que entre 12 y 18 meses. En la investigación de pulpotomías con MTA de Eidelman y cols. (133) se consideró que el tiempo medio de aparición de estos fenómenos fue de 12 meses. También se ha descrito, con otros materiales, la aparición temprana de estos fenómenos, en muchos casos a los 6 meses después del tratamiento, e incluso 6 semanas después de la intervención (25, 39, 44, 46, 51, 52, 53).

Por otro lado, decidimos analizar, en nuestro estudio, si existían diferencias significativas en la detección de formación de dentina reparativa en función del molar, primero o segundo, y en función de la hemiarcada. No se hallaron diferencias significativas en este aspecto, excepto de forma puntual en la evolución de los 3 meses, en el caso de la estenosis pulpar y, de los 12 y de los 18 meses, en el caso de la detección de puentes dentinarios. Consideramos que, dado que estas diferencias sólo se han producido en una de las 9 revisiones periódicas en el caso de la estenosis pulpar y en 2 de las 9 revisiones en el caso de los puentes dentinarios, no representan un significado clínico destacable, y podrían ser causa únicamente del azar. En general, en los estudios clínicos de pulpotomías realizados previamente, no se describen análisis de estas posibles diferencias. Sólo algunos autores, como Strange DM (17), sí indican también la ausencia de diferencias significativas entre los resultados de las pulpotomías con formocresol, entre primeros y segundos molares.

Por otro lado, se decidió realizar el tratamiento de pulpotomía con MTA y el sellado final con corona preformada en una sola sesión, ya que consideramos que un material para el cual se debieran emplear dos sesiones clínicas para completar un tratamiento completo de pulpotomía en dientes temporales no sería útil, puesto que, en odontopediatría, un requisito importante es el control del tiempo operatorio en clínica. Efectivamente, es aconsejable que sea el menor posible y que el número de citas clínicas

sea el más reducido posible, para lograr un correcto manejo de la conducta del paciente (10, 11).

Se ha concluido, en los estudios realizados con MTA, que el fraguado de este material es completo cuando transcurre una media de cuatro horas después de su aplicación, necesitando, para que esto ocurra, un ambiente húmedo (68-70, 72, 76). Por ello, múltiples autores recomiendan el empleo de una torunda de algodón o una gasa húmeda en contacto con el MTA durante un mínimo de 4 horas antes de la restauración final (68-70, 72, 76). Sin embargo, autores como Sluyk y cols. (68, 69) estudiaron la aplicación de MTA en perforaciones de la furca y evaluaron las diversas condiciones de sellado coronario, colocando una torunda de algodón húmeda en algunas muestras y seca en otras. Los resultados no mostraron diferencias significativas entre los dos grupos. Una posible explicación, según los autores, es que la humedad de la zona es adecuada para mantener la necesidad hidrofílica del polvo de MTA y la colocación de una torunda húmeda en la cámara pulpar, sólo originaría una pequeña diferencia no estadísticamente significativa. En nuestro estudio, consideramos que, dado que el MTA fue adaptado a la entrada de los conductos pulpares, pudo fraguar completamente aunque se realizara la obturación definitiva con corona preformada en el mismo acto operatorio. Además, consideramos que la capa de MTA colocada en la cámara pulpar de cada molar fue aproximadamente de 2 a 4 milímetros de espesor, es decir no muy gruesa y que, por tanto, todo el material adaptado pudo estar con contacto con un ambiente húmedo. Ciertamente, en nuestro estudio, no se ha realizado un análisis histológico de los molares tratados, puesto que éste no era uno de los objetivos del trabajo. No se puede, pues, determinar con exactitud si el MTA empleado en todos los molares pudo llegar a su capacidad máxima de fraguado, pero en todo caso, no se observaron alteraciones del material en las radiografías, ni parece que este fenómeno pudiera haber intervenido desfavorablemente en los resultados clínicos, dado el elevado porcentaje de éxitos.

Por otro lado, consideramos que la utilización de MTA en el tratamiento de pulpotomía no alarga el tiempo de trabajo clínico. De hecho, éste es muy similar al que se emplearía para realizar la pulpotomía con una de las técnicas más empleadas, como es la que consiste en aplicar óxido de cinc-eugenol en el que se añade una gota de formocresol,

puesto que las fases del tratamiento son las mismas. De hecho, consideramos que para llevar a cabo la técnica de pulpotomía con MTA, se emplea menos tiempo que el requerido para la técnica de pulpotomía en la cual se deja un algodón de formocresol en la cámara pulpar durante tres minutos.

Por otra parte, en las revisiones realizadas una semana después del tratamiento, se detectó que no existían alteraciones clínicas. Así pues, el empleo de MTA no produjo lesiones en los tejidos blandos orales. Cabe destacar que se ha averiguado que el formocresol es un producto cáustico (4, 5, 6, 8, 23) que puede causar lesiones tisulares, si su empleo no es realizado de forma cuidadosa y en los casos en que no se pueda realizar un aislamiento completamente correcto del campo de trabajo. A diferencia de este producto, se considera que el MTA es un material biocompatible, no tóxico (68, 68, 93, 99, 115), que no posee, por consiguiente, las mismas características tóxicas del formocresol.

El empleo de MTA en pulpotomías de molares temporales permite evitar el uso de óxido de cinc-eugenol. Este producto se usa, según la mayoría de los autores, como material de relleno de la cámara pulpar en las técnicas de pulpotomía con fármacos como el formocresol, el glutaraldehído o el sulfato férrico. Sin embargo, se ha demostrado que el óxido de cinc-eugenol posee un efecto tóxico celular, pues puede provocar inflamación crónica y necrosis del tejido pulpar y del tejido perirradicular (29, 31, 38-40). Esta característica podría ser una de las causas por las que se han hallado signos de reabsorciones internas en molares tratados con este material, y podría explicar también la ausencia de imágenes de reabsorción en los molares tratados en este trabajo, en los que la cámara pulpar fue rellena con MTA, material biocompatible del cual no se han evidenciado características tóxicas.

Sin embargo, el Agregado Trióxido Mineral presenta algunas desventajas. Una de las más descritas por múltiples autores, es el hecho de que el MTA presenta un color grisáceo que, según se ha observado, puede provocar tinciones dentales (119, 123-125). En nuestro estudio no hemos podido valorar este fenómeno, ya que todos los molares fueron obturados con coronas metálicas. Consideramos que esto no sería un problema para la aplicación de MTA en pulpotomías de dientes temporales, siempre que éstos sean

restaurados con corona. En cualquier caso, ha aparecido recientemente en el mercado un nuevo tipo de MTA, comercializado también como MTA Proroot®, que presenta un color blanco y que no debería provocar problemas de tinciones. Dada su reciente comercialización, esta variación del material no ha sido estudiada en el presente trabajo.

Otra ventaja que presenta el Agregado Trióxido Mineral y que, en nuestra opinión, puede dificultar su uso en la clínica diaria, es su elevado precio. En nuestro estudio, calculamos aproximadamente que, con los precios actuales, el coste del relleno de cada pulpotomía con MTA podría llegar a ser hasta 10 veces mayor que el coste del óxido de cinc-eugenol con formocresol.

Por último, cabe destacar que, durante la realización de esta investigación, uno de los molares del estudio se exfolió fisiológicamente 20 meses después del tratamiento. Este molar correspondía a un primer molar inferior izquierdo. El premolar subyacente erupcionó sin presentar alteraciones clínicas detectables. Dado que estos datos son todavía escasos, no se han incluido en los resultados de este trabajo. Sin embargo, el estudio continuará realizándose, por lo que está previsto seguir con la evaluación en el futuro de los efectos del Agregado Trióxido Mineral, no sólo en los molares temporales en los que se han realizado las pulpotomías, sino también de los posibles efectos en los premolares subyacentes.

## **VI. CONCLUSIONES**

## VI. CONCLUSIONES

1. En el presente estudio no se han observado signos de patología clínica en el tratamiento de pulpotomías de dientes temporales con Agregado Trióxido Mineral.
2. En las condiciones de este estudio, no se han detectado imágenes radiológicas de respuesta pulpar desfavorable en los molares en los que se ha realizado tratamiento de pulpotomía con Agregado Trióxido Mineral.
3. La evaluación de formación de dentina reparativa en los conductos radiculares ha sido positiva, con manifestaciones radiológicas de estenosis de los conductos.
4. En la zona de la pulpa amputada se ha producido, en un elevado porcentaje de casos, una respuesta cicatricial detectable radiográficamente como puente dentinario.
5. La técnica de realización de pulpotomías con MTA en sesión única, se ha demostrado oportuna, salvo en la relación de costos formocresol/MTA.
6. De todo lo anterior podemos concluir que, por los resultados obtenidos en el presente estudio, la respuesta clínica de las pulpotomías en molares temporales con MTA ha sido superior a la obtenida en estudios anteriores referentes al formocresol.

## **VII. CITAS BIBLIOGRÁFICAS**

## VII. CITAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Nunn JH, Smeaton I, Gilroy J. The development of formocresol as a medicament for primary molar pulpotomy procedures. *Journal of dentistry for children* 1996;63(1):51-3.
2. Roberts JF. Treatment of vital and non-vital primary molar teeth by one-stage formocresol pulpotomy: clinical success and effect upon age of exfoliation. *International Journal of Paediatric Dentistry* 1996;6:111-5.
3. Lewis B. Formaldehyde in dentistry: a review for the millennium. *Journal of clinical pediatric dentistry* 1998; 22(2):167-77.
4. Méndez Blanco VM, Alvarez Congost C, Alvarez Brasa C. Pulpotomías en la dentición decidua: buscando alternativas. *Odontología Pediátrica* 1995;4(3):145-9.
5. Fuks AB. Terapia pulpar para dientes temporales y permanentes jóvenes y conceptos actuales en odontopediatría restauradora. 2001 [citado: 7 junio 2001]. Disponible en: dirección: <http://www.coeb.com>
6. Segura JJ, Jiménez Rubio A, Guerrero JM, Calvo JR, Feito JJ. Effect *in vitro* of Tiffel (formocresol-eugenol) on macrophage adhesion. *International Endodontic Journal* 1998;31:112-6.
7. Ketley CE, Goodman JR. Formocresol toxicity: is there a suitable alternative for pulpotomy of primary molars? *International Journal of Paediatric dentistry* 1991;2:67-72.
8. Camp JH, Barrett EJ, Pulver F. Endodoncia Pediátrica: tratamiento endodóncico en la dentición temporal y permanente joven. En: Cohen S, Burns RC. *Vías de la pulpa*. 8ªed. Madrid: Mosby Elsevier; 2002. p.797-847.

9. Fuks AB, Eidelman E, Cleaton-Jones P. Pulp response to ferric sulfate, diluted formocresol and IRM in pulpotomized primary baboon teeth. *Journal of dentistry for children* 1997 Jul;25:4-9.
10. Fuks AB. Tratamiento pulpar para la dentición primaria. En: Pinkham JR, Casamassimo PS, Fields HW, McTigue DJ, Nowak A. *Odontología pediátrica*. 2ªed. México: Interamericana.McGraw-Hill; 1996. p. 334-47.
11. Barbería E. Terapéutica pulpar. En: Barbería E, Boj JR, Catalá M, García C, Mendoza A. *Odontopediatría*. 2ªed. Barcelona: Masson; 1995. 253-66.
12. Fernández Domínguez H, Mendoza Mendoza A, Solano Reina E. Pulpotomía: estudio comparativo entre glutaraldehído al 4% y formocresol al 20% en dientes temporales vitales. *Odontología Pediátrica* 2000; 8(1):19-25.
13. Saad AY. Pulp: part 1 nerves and nerve endings, part 2 blood vessels and lymphatics. *Journal of pedodontics* 1989;13:89-107.
14. Rusmah M. Pulpal tissue reaction to buffered glutaraldehyde. *Journal of Clinical Pediatric dentistry* 1992;16(2):101-6.
15. Ranly DM. Pulpotomy therapy in primary teeth:new modalities for old rationales. *Pediatric Dentistry* 1994;16(6):403-9.
16. Waterhouse PJ, Nunn JH, Withworth JM. An investigation of the relative efficacy of Buckley's Formocresol and calcium hydroxide in primary molar vital pulp therapy. *British Dental Journal* 2000;188:32-6.
17. Strange DM, Seale NS, Nunn ME, Strange M. Outcome of formocresol/ZOE sub-base pulpotomies utilizing alternative radiographic success criteria. *Pediatric Dentistry* 2001;23(3):331-6.

18. Barreiro A. A conservative approach to the pulpotomy in primary teeth. *Journal of clinical pediatric dentistry* 1998;28(2):103-5.
19. Alacam A. Pulpal tissue changes following pulpotomies with formocresol, glutaraldehyde-calcium hydroxide, glutaraldehyde-zinc oxide eugenol pastes in primary teeth. *Journal of pedodontics* 1989;13:123-32.
20. Fei AL, Udin RD, Johnson R. A clinical study of ferric sulfate as a pulpotomy agent in primary teeth. *Journal of pediatric dentistry* 1991;13:327-32.
21. Fucks AB, Holan G, Davis JM, Eidelman E. Ferric Sulfate versus dilute formocresol in pulpotomized primary molars: long-term follow up. *Pediatric Dentistry* 1997;19(5):327-30.
22. Ibricevic H, Al-Jame Q. Ferric sulfate as pulpotomy agent in primary teeth: twenty month clinical follow-up. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry* 2000;24(4):269-72.
23. Hill S, Berry CW, Seale NS, Kaga M. Comparison of antimicrobial and cytotoxic effects of glutaraldehyde and formocresol. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology* 1991;71:89-95.
24. Fernández FD, López JM. Alternativas a la pulpotomía con formocresol en odontopediatría. *Quintessence (ed. esp)* 2001;14(6):385-92.
25. Fadavi S, Anderson AW, Punwani IC. Freeze-dried bone in pulpotomy procedures in monkey. *Journal of paedodontics* 1989;13:108-21.
26. Rusmah M, Rahim ZHA. Diffusion of buffered glutaraldehyde and formocresol from pulpotomized primary teeth. *Journal of dentistry for children* 1992:108-10.
27. Ranly DM, García Godoy F. Current and potencial pulp therapies for primary and young permanent teeth. *Journal of Dentistry* 2000;28:153-61.

28. Shumayrikh NM, Adenubi JO. Clinical evaluation of glutaraldehyde with calcium hydroxyde and glutaraldehyde with cinc oxide eugenol in pulpotomy of primary molars. *Endodontic and dental traumatology* 1999;15:259-64.
29. Mani SA, Chawla HS, Tewari A, Goyal A. Evaluation of calcium hydroxide and cinc oxide eugenol as root canal filling materials in primary teeth. *Journal of dentistry for children* 2000:142-7.
30. Rosendahl R, Weinert-Grodd A. Root canal treatment of primary molars with infected pulps using calcium hydroxide as a root canal filling. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry* 1995;19(4):255-8.
31. García-Godoy F. Evaluation of a iodoform paste in root canal therapy for infected primary teeth. *Journal of dentistry for children* 1987;54(1):30-4.
32. Sorbe R, García-Flores JA. *Conceptos básicos en Odontología Pediátrica*. Venezuela: Disinlimed CA;1996.
33. Fucks AB. Tratamiento de la pulpa para las denticiones primaria y permanente juvenil. *Dent Clin North Am* 2000;3:625-51.
34. Tchaou W, Turng BF, Minah GE, Coll JA. *In vitro* inhibition of bacteria from root canals of primary teeth by various dental material. *Pediatric Dentistry* 1995;17(5):351-5.
35. King SRA, Mcwhorter AG, Seale NS. Concentration of formocresol used by pediatric dentists in primary tooth pulpotomy. *Pediatric Dentistry* 2002;24(2):157-9.
36. Ranly DM, García Godoy F. Reviewing pulp treatment for primary teeth. *Journal of American Dental Association* 1991;122:83-5.

37. Yacobi R. Evolving pulp therapy techniques. *Journal of American Dental Association* 1991;122(2):83-5.
38. Watts A, Paterson RC. Pulpal response to a zinc oxide-eugenol cement. *International Endodontic Journal* 1987;20:82-6.
39. Fadavi S, Anderson AW. A comparison of the pulpar response to freeze-dried bone, calcium hydroxide, and zinc-oxide eugenol in primary teeth in two cynomolgus monkeys. *Pediatric Dentistry* 1996;18(1):52-6.
40. Nobuke H. The effects of calcium hydroxide eugenol agents on pulp of primary teeth of young dogs. *Japanese journal of pedodontics* 1989;27:915-21.
41. Verde S. Aplicaciones del hidróxido de calcio en la terapia endodóntica. 1997 [citado 1997] Disponible en: dirección: <http://www.endodontal.ucv.com>
42. Boj JR, Cortés O, Canalda C. Tratamiento de un molar permanente inmaduro necrótico mediante pulpotomía. *Endodoncia* 1995;13(3):148-52.
43. Holland R, González AC, Souza V, Nery MJ, Bernabé PFE, Obotoni JA. Recambio del hidróxido de calcio después de la pulpotomía y su influencia en la reparación. Estudio histológico en dientes de monos. *Endodoncia* 1999;17(1):35-45.
44. Cardenas-Duque LM, Yoshida M, Goto G. Pulpal response to different pulp capping after pulp exposure by air abrasion. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry* 2002; 3:269-73.
45. Fucks AB. Tratamiento de la pulpa para las denticiones primaria y permanente juvenil. *Dent Clin North Am* 2000;3:625-51.

46. Sasaki H, Ogawa T, Koreeda M, Ozaki T, Sobue S, Ooshima T. Electrocoagulation extends the indication of calcium hydroxide pulpotomy in the primary dentition. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry* 2002;26(3):275-8.
47. Smith NL, Seale NS, Nunn M. Ferric Sulfate pulpotomy in primary molars: a retrospective study. *Pediatric Dentistry* 2000;22(3):192-8.
48. Cortés O, Boj JR, Canalda C, Carreras M. Pulpal tissue reaction to formocresol vs. Ferric sulfate in pulpotomized teeth. *Journal of clinical pediatric dentistry* 1997;21(3):247-54.
49. Nurko C, García-Godoy F. Evaluation of a calcium hydroxide/iodoform paste (Vitapex) in root canal therapy for primary teeth. *Journal of Clinica Pediatric Dentistry* 1999;23(4):289-94.
50. Nurko C, Ranly DM, García-Godoy F. Resorption of a calcium hydroxide/iodoform paste (Vitapex) in root canal therapy for primary teeth: a case report. *Pediatric Dentistry* 2000;22:517-20.
51. Cortés O, Boj JR, Canalda C, García C. Metodología para estudios histológicos pulpares en ratas. *Endodoncia* 2001;19(1):31-9.
52. Fuks AB, Jones PC, Michaeli Y, Bimstein E. Pulp response to collagen and glutaraldehyde in pulpotomized primary teeth of baboons. *Pediatric Dentistry* 1991;13(3):142-50.
53. Rutherford RB, Whale J, Rueger D, Charette M. Induction of reparative dentine formation in monkeys by recombinant human osteogenic protein-1. *Archives of Oral Biology* 1993;38(7):571-6.
54. Nakashima M. The induction of reparative dentine in the amputated dental pulp of the dog by bone morphogenetic protein. *Archives of oral biology* 1990;35:493-7.

55. Maruo K. Histopathologic study on the application of synthetic hidroxyapatite and alpha-tricalcium phosphate for vital pulpotomy. *Gifu Shika Gakkai Zasshi* 1990;17:223-45.
56. Mack RB, Dean JA. Electrosurgical pulpotomy: a retrospective human study. *Journal of dentistry for children* 1993;60:107-14.
57. Shaw DW, Sheller B, Barrus BD. Electrosurgical pulpotomy. A 6 months study in primates. *Journal of Endodontics* 1987;13(10):500-5.
58. El-Meligy O, Abdalla M, El-Baraway S, El-Tekya M, Dean JA. Histological evaluation of electrosurgery and formocresol pulpotomy techniques in primary teeth. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry* 2001;26(1):81-5.
59. Sasaki H, Ogawa T, Koreeda M, Ozaki T, Sobue S, Ooshima T. Electrocoagulation extends the indication of calcium hydroxide pulpotomy in the primary dentition. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry* 2002;26(3):275-8.
60. Oztas N, Ulusu T, Pygur T, Cokpeikin F. Comparison of electro surgery and formocresol as pulpotomy techniques in dog primary teeth. *Pediatric Dentistry* 1994;18(4):285-9.
61. Dean JA, Mack RB, Fulkerson BT, Sanders BJ. Comparison of electrosurgical and formocresol pulpotomy procedures in children. *International Journal of Pediatric Dentistry* 2002;12:177-82.
62. Parking F. Láseres en odontología pediátrica y del adolescente. *Clínicas Odontológicas de Norteamérica* 2000;4:887-99.
63. Geodental. Láser en odontología moderna 2000. [Citado 2000] Disponible en: dirección: <http://www.webodontológica.com>

64. Liu J, Chen L, Chao S. Laser pulpotomy of primary teeth. *Pediatric dentistry* 1999;21(2):128-9.
65. Elliot RD, Roberts MW, Burks J, Phillips C. Evaluation of the carbon dioxide laser on vital human primary pulp tissue. *Pediatric Dentistry* 1999;21(6):327-31.
66. Jukic S, Anic I, Koba K, Najsar D, Matsumoto K. The effect of pulpotomy using CO<sub>2</sub> and Nd:Yag lasers on dental pulp tissue. *International Endodontic Journal* 1997;30:175-80.
67. Lee S, Monsef M, Torabinejad M. Sealing ability of a Mineral Trioxide Aggregate for repair of lateral root perforations. *Journal of Endodontics* 1993;19(11):541-4.
68. Torabinejad M, Chivian N. Aplicaciones clínicas del agregado trióxido mineral. *Endodoncia* 1999, 17(3):159-71.
69. Carlos Boveda. El odontólogo invitado. Aplicación clínica del Agregado Trióxido Mineral (MTA) en endodoncia. [Citado 2001 ] Disponible en: dirección: <http://www.carlosboveda.com/Odontologosfolder/odontoinvitadoold/odontoinvitado7.ht>
70. Torabinejad M, Hong CU, McDonald F, Pitt Ford TR. Physical and Chemical Properties of a new root-end filling material. *Journal of Endodontics* 1995;21(7):349-53.
71. Torabinejad M, Pitt Ford TR, McKendry J, Abedi HR, Miller DA, Kariyawassam SP. Histologic assessment of Mineral Trioxide Aggregate as a root-end filling in monkeys. *Journal of Endodontics* 1997, 23(4):225-8.
72. Schwartz RS, Mauger M, Clement D, Walker WA. Mineral Trioxide Aggregate: a new material for endodontics. *Journal of the American Dental Association* 1999;130:967-75.

73. García Barbero E, Vera González V, Velázquez Cano J. Nuevas posibilidades terapéuticas en endodoncia. *Revista Europea de Odonto-Estomatología* 2000, 12(6):325-30.
74. Miñana-Gómez M. El Agregado Trióxido Mineral (MTA) en Endodoncia. *RCOE* 2002;7(3):283-9.
75. Azabal M, Hidalgo JJ. Tratamiento de las perforaciones de furca. Caso clínico. *Profesión Dental* 2000;3(8):499-502.
76. Bakland LK. Management of traumatically injured pulps in immature teeth using MTA. *Californian Dental Association Journal* 2000;28:855-8.
77. Laghios OD, Benson BW, Gutmann JL, Cutler CW. Comparative radiopacity of tetracalcium phosphate and other root-end filling materials. *International Endodontic Journal* 2000;33:311-15.
78. Torabinejad M, Higa RK, McKendry DJ, Pitt Ford TR. Dye leakage of four root end-filling materials; effects of blood contamination. *Journal of Endodontics* 1994;20(4):159-63.
79. Torabinejad M, Watson TF, Pitt Ford TR. Sealing ability of Mineral Trioxide Aggregate when used as a root-end filling material. *Journal of Endodontics* 1993;19(12):591-5.
80. Bates CF, Carnes DL, del Rio CE. Longitudinal sealing ability of Mineral Trioxide Aggregate as root-end filling material. *Journal of Endodontics* 1996;22(11):575-78.
81. Torabinejad M, Rastegar AF, Kettering JD, Pitt Ford TR. Bacterial leakage of Mineral Trioxide Aggregate as a root-end filling material. *Journal of Endodontics* 1995;21(3):109-12.

- 
82. Yatsuhiro JD, Baumgartner JC, Tinkle JS. Longitudinal fluid conductance study of two root-end filling materials. *Journal of Endodontics* 1997;(abstract)23(4):258.
83. Wu MK, Kontakiotis EG, Wessenlink PR. Long-term seal provided by some root-end filling materials. *Journal of Endodontics* 1998;24(8):557-60.
84. Aqrabawi JA. Sealing ability of amalgam, Super-Eba cement, and MTA when used as root-end filling materials. *British Dental Journal* 2000;188(5):266-8.
85. Adamo HL, Buruiana R, Rosemberg PA, Schertzer L, Kahn FH, Boylan RJ. Bacterial assay of coronal microleakage: MTA, Super-Eba, Composite, Amalgam retrofillings. *Journal of Endodontics* 1996;(abstract)22(4):196.
86. Tziafas O, Pantelidou O, Alvanou A, Belibasakis G, Papadimitriou S. The dentinogenic effect of mineral trioxide aggregate (MTA) in short-term capping experiments. *International Endodontic Journal* 2002;35:245-54.
87. Fischer EJ, Arens DE, Miller CH. Bacterial leakage of Mineral Trioxide Aggregate as compared with zinc-free amalgam, Intermediate restorative material, and Super-Eba as a root-end filling material. *Journal of Endodontics* 1998;2(3):176-9.
88. Nakata TT, Bae KS, Baumgartner JC. Perforation repair comparing Mineral Trioxide Aggregate and Amalgam using an anaerobic bacterial leakage model. *Journal of Endodontics* 1998;(abstract)24(3):184-6.
89. Adamo HL, Buruiana R, Schetzer L, Boylan RJ. A comparison of MTA, Super-Eba, composite and amalgam as root-end filling materials using a bacterial microleakage model. *International Endodontic Journal* 1999;32:197-203.
90. Scheerer SQ, Steiman R, Cohen J. A comparative evaluation of three root-end filling materials: an *in vitro* leakage study using *Prevotella nigrescens*. *Journal of Endodontics* 2001;27(1):41-2.

91. Tang HM, Torabinejad M, Kettering JD. Leakage evaluation of root-end filling materials using endotoxin. *Journal of Endodontics* 2002;28:5-7.
92. Torabinejad M, Smith PW, Kettering JD, Pitt Ford TR. Comparative investigation of marginal adaptation of Mineral Trioxide Aggregate and other commonly used root-end filling materials. *Journal of Endodontics* 1995;21(6):295-9.
93. Keiser K, Johnson CC, Tipton DA. Citotoxicidad del agregado de trióxido mineral empleando fibroblastos del ligamento periodontal humano. *Endodoncia* 2000;18(4):215-20.
94. Rocamora M, Teixidó M, Roig M. Obturación apical por vía ortógrada con MTA en un diente con ápice abierto. *Endodoncia* 2001;19(1):17-20.
95. Holland R, Souza V, Juvenal M, Otoboni JA, Bernabé PF, Dezan E. Reaction of dog's teeth to root canal filling with mineral trioxide aggregate or a glass ionomer sealer. *Journal of Endodontics* 1999;22(2):728-30.
96. Shabahang S, Torabinejad M, Boyne P, Abedi H, McMillan P. A comparative study of root-end induction using Osteogenic Protein-1, Calcium Hydroxide, and Mineral Trioxide Aggregate in dogs. *Journal of Endodontics* 1999;25(1):1-5.
97. Holland R, Otoboni JA, Souza V, Nery MJ, Bernabé PF, Dezan E. Mineral trioxide aggregate repair of lateral root perforations. *Journal of Endodontics* 2001;27(4):281-4.
98. Chiva F, Cózar A, Carrascosa J. Una metodología para el estudio de la biocompatibilidad intraósea de los cementos selladores. *Revista Europea de Odontología Estomatología* 2002;14(4):209-16.

99. Torabinejad M, Hong C, Pitt Ford TR, Kariyawasan SP. Tissue reaction to implanted Super-Eba and Mineral trioxide aggregate in the mandible of Guinea pigs: a preliminary report. *Journal of Endodontics* 1995;21(11):569-71.
100. Zhu Q, Safavi KE, Spangberg LSW. Cytotoxic evaluation of root-end filling materials in cultures of human osteoblast-like cells and periodontal ligament cells. *Journal of Endodontics* 1999;25(6):410-2.
101. Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, Kettering JD. Cytotoxicity of four root end-filling materials. *Journal of Endodontics* 1995;21(10):489-92.
102. Koh ET, McDonald F, Pitt Ford TR, Torabinejad M. Cellular Response to Mineral Trioxide Aggregate. *Journal of Endodontics* 1998;24(8):543-7.
103. Kettering JD, Torabinejad M. Investigation of mutagenicity of mineral trioxide aggregate and other commonly used root-end filling materials. *Journal of Endodontics* 1995;21(11):537-9.
104. Torabinejad M, Pitt Ford TR, Abedi HR, Kariyawasan SP, Tang HM. Tissue reaction to implanted root-end filling materials in the tibia and mandible of Guinea pigs. *Journal of Endodontics* 1998;24(7):468-71.
105. Pitt Ford TR, Torabinejad M, Abedi HR, Bakland LK, Kariyawasan SP. Using Mineral Trioxide Aggregate as a pulp-capping material. *Journal of the American Dental Association* 1996;127:1491-6.
106. Myers K, Kaminski E, Lautenschlager E, Miller D. The effects of Mineral trioxide aggregate on the dog pulp. *Journal of Endodontics* 1996;22(4):198.
107. Sousa CJA, Versiani MA, Pascon EA, Langeland K. Biocompatibility of endodontic materials: Guinea-pig bony tissue response to retrograde obturation materials. *Journal of Dental Research* 2001;(AADR abstracts)80:144.

108. Torabinejad M, Hong CU, Lee SJ, Monsef M, Pitt Ford TR. Journal of Endodontics 1995;21(12):603-8.
109. Torabinejad M, Pitt Ford TR, McKendry DJ, Abedi HR, Miller DA, Kariyawasan SP. Periradicular tissue response to mineral trioxide aggregate. Journal of Endodontics 1996;22(4):189.
110. Abedi HR, Torabinejad M, McMillan P. The effect of demineralization of resected root ends on cementogenesis. Journal of Endodontics 1997;(abstract)23(4):258.
111. Andreasen JO, Munksgaard EC, Fredebol L, Rud J. Periodontal tissue regeneration including cementogenesis adjacent to dentin-bonded retrogrado composite fillings in humans. Journal of Endodontics 1993;19:151-3.
112. Holland R, Souza V, Nery MJ, Otoboni JA, Bernabé PF, Dezan E. Reaction of rat connective tissue to implanted dentin tubes filled with mineral trioxide aggregate or calcium hydroxide. Journal of Endodontics 1999;25(3):161-6.
113. Miñana M, Carnes DL, Walker WA. PH changes at the surface of root dentin after intracanal dressing with calcium oxide and calcium hydroxide. Journal of Endodontics 2001;27(1):43-5.
114. Pitt Ford TR, Roberts GJ. Immediate and delayed direct pulp capping with the use of a new visible light-cured calcium hydroxide preparation. 1991;71:338-42.
115. Abedi HR, Torabinejad M, Pitt Ford TR, Bakland LK. The use of Mineral Trioxide Aggregate cement (MTA) as a direct pulp capping agent. Journal of Endodontics 1996;22(4):199.
116. Torabinejad M, Hong CU, Pitt Ford TR, Kettering JD. Antibacterial effects of some root-end filling materials. Journal of Endodontics 1995;21(8):403-6.

117. Holland R, González AC, Nery MJ, Souza V, Obotoni Filho JA, Bernabé PFE. Efecto de los medicamentos colocados en el interior del conducto, hidrosolubles y no hidrosolubles en el proceso de reparación de dientes de perro con lesión periapical. *Endodoncia* 1999;17(2):90-100.
118. Alventosa JA. Manejo del diente inmaduro. *Endodoncia* 1999;17(4):199-215.
119. Fabra H, Rodríguez J. Apicoformación: otra forma de entender el problema (1ª parte). *Ideas y trabajos odontoestomatológicos* 2001;2(1):7-14.
120. Itoh A, Higuchi N, Minami G, Yassue T, Yoshida T, Maseki T, Nakamura H. A survey of filling methods, intracanal medications, and instrument breakage. *Journal of Endodontics* 1999;25(12):823-4.
121. Torabinejad M, Pitt Ford TR. Root end filling materials: a review. *Endodontics and Dental Traumatology* 1996;12:161-78.
122. Tittle K, Farley J, Linkhardt T, Torabinejad M. Apical closure induction using Bone Growth Factors and Mineral Trioxide Aggregate. *Journal of Endodontics* 1996;22(4):189.
123. Miñana M. Utilización del Agregado trióxido mineral (MTA) como barrera apical en dientes con el ápice abierto. *Endodoncia* 2000;18(3):131-9.
124. Calvo C, Vallés M, Roig M. Apicoformación en diente con ápice abierto. Caso clínico con MTA. [Citado 2001] Disponible en: dirección: <http://www.geodental.com/materiales/casos>
125. Khoury M. Apicoformación con MTA. [Citado 2002] Disponible en: dirección: <http://www.geodental.com/materiales/casos>

126. Flores-Legasa L. Uso del Material Trióxido Agregado (MTA) en cirugía periapical. *Revista del Ilustre Consejo General de Colegios de Odontólogos y Estomatólogos de España* 2002;7(3):291-7.
127. Fabra H, Aranguren J. El agretado de mineral trióxido (MTA) como posible tratamiento en los fracasos de origen endo-periodontal. *Endodoncia* 2001;19(1):40-50.
128. Pitt Ford TR, Hong CU, Torabinejad M. Minera trioxid aggregate as a root-end filling material. *AAE Abstracts of Papers submitted to the American Association of Endodontics* 1994;22(4):188.
129. Fuss Z, Trope M. Root perforations: classification and treatment choices based on prognostic factors. *Edodontics and dental traumatology* 1996;12:255-64.
130. Pitt Ford T, Torabinejad M, McKendry D, Hong C, Kariyawasan SP. Use of mineral trioxide aggregate for repair of furcal perforations. *Oral Surgery, Oral Medicine Oral Pathology* 1995;79:756-62.
131. Hong CU, McKendry DJ, Pitt Ford TR, Torabinejad M. Healing of furcal lesions repaired by amalgam or mineral trioxide aggregate. *AAE Abstracts of Papers submitted to the American Association of Endodontics* 1994;20(4):197.
132. Brown RJ, BG Jeansonne, Lemon RR. The evaluation of two matrix materials used in perforation repair. *AAE Abstracts of Papers submitted to the American Association of Endodontics* 1994;20(4):195.
133. Eidelman E, Holan G, Fucks AB. Mineral Trioxide Aggregate vs. Formocresol in pulpotomized primary molars: a preliminary report. *Pediatric Dentistry* 2001;23(1):15-8.

134. O'Sullivan SM, Hartwell GR. Obturation of a retained primary mandibular second molar using Mineral Trioxide Aggregate: a case report. *Journal of Endodontics* 2001;27(11):703-5.
135. Poy I, Mendoza A, Fernández H. Propiedades del hidróxido cálcico y del agregado trióxido mineral en el cierre apical. *Odontología Pediátrica* 2002;10(2):50-95.
136. Segura JJ, Jiménez A. Bases moleculares y celulares de la dentinogénesis terciaria reactiva y reparativa. *Archivos de Odontoestomatología* 1999;15(9):381-90.