

# ESTUDIO INVITRO MEDIANTE MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO DE LAS MICROFRACTURAS PRODUCIDAS EN LA PREPARACIÓN DE LA RESECCIÓN RADICULAR Y LA CAVIDAD RETRÓGRADA

GUILLERMO DORIA JAUREGUIZAR

**ADVERTIMENT.** La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX ([www.tesisenxarxa.net](http://www.tesisenxarxa.net)) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

**ADVERTENCIA.** La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR ([www.tesisenred.net](http://www.tesisenred.net)) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

**WARNING.** On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX ([www.tesisenxarxa.net](http://www.tesisenxarxa.net)) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.



TESIS DOCTORAL

---

ESTUDIO *IN VITRO* MEDIANTE MICROSCOPIO  
ELECTRÓNICO DE BARRIDO DE LAS  
MICROFRACTURAS PRODUCIDAS EN LA  
PREPARACIÓN DE LA RESECCIÓN RADICULAR Y LA  
CAVIDAD RETRÓGRADA

GUILLERMO DORIA JAUREGUIZAR

DIRECTORES:  
DR. FRANCESC ABELLA SANS  
DR. JOSE RUFINO BUENO MARTINEZ

BARCELONA 2017



# **AGRADECIMIENTOS**

A mi director, el Dr. Francesc Abella Sans. Desde que lo conocí ya en el año 2008 ha sabido guiarme y orientarme en mi carrera profesional. Su ayuda ha sido imprescindible para tirar adelante este y muchos otros proyectos. Gracias por la confianza transmitida Fran.

A la Dra. Montserrat Mercadé, directora con la que inicié este proyecto de investigación y que me ayudó a desarrollar todo el protocolo y las ayudas que consiguió para hacer posible que se llevara a cabo.

Al Dr. Rufino Bueno, Dr. Fernando Durán-Sindreu y al Dr. Miguel Roig por su confianza desde mis inicios en el Máster de Endodoncia. Es un orgullo poder estar a vuestro lado en el departamento de Endodoncia y aprender cada día de vosotros tanto a nivel profesional como a nivel personal.

A todos los profesores y alumnos del departamento de Endodoncia y Restauradora dental. Sus consejos y ánimos han sido esenciales.

Mención a parte para las ex alumnas de esta Universidad, Alba Torrejón y Laura Rubianes por la ayuda recibida en la realización de los estudios piloto. Sin ellas esta tesis no hubiera salido adelante.

Gracias a mi amiga y Dra. Montserrat Girabent por ayudarme a realizar el estudio estadístico de los resultados obtenidos en esta investigación. Sabía que podía contar con ella.

A la casa comercial Mectron e Incotrading por ceder parte del material y financiar los análisis en el Microscopio Electrónico de Barrido (MEB) realizados en la UPC, a cargo del mismísimo Isaac López, sin ellos hubiese sido imposible.

Por último a mi familia, pilar angular de mi formación y educación sin ninguna duda. Gracias por mi apuesta de futuro desde mis inicios en mis estudios de Odontología.

Y en especial a mi mujer, Alexandra. Gracias por entender lo importante que ha sido para mí este proyecto. Gracias por el apoyo y ayuda en todo los retos que me propongo.

<b>1. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>11</b>
<b>2. ESTADO DE LA CUESTIÓN .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Fracaso endodóntico .....</b>	<b>16</b>
2.1.1 Infección extraradicular .....	17
2.1.2 Quistes periapicales .....	18
2.1.3 Reacción a cuerpo extraño .....	18
2.1.4 Infección intraradicular.....	19
<b>2.2 Cirugía endodóntica .....</b>	<b>20</b>
2.2.1 Indicaciones de la cirugía .....	20
2.2.2. Pronóstico de la cirugía .....	21
2.2.3 De la cirugía endodóntica a la microcirugía apical.....	22
2.2.4. Microfracturas radiculares .....	24
<b>2.3 Dispositivo piezoeléctrico .....</b>	<b>25</b>
2.3.1 Indicaciones piezoeléctrico .....	26
2.3.2 Microcirugía apical y sistema piezoeléctrico .....	27
<b>2.4 Microscopio electrónico de barrido (MEB) .....</b>	<b>27</b>
2.4.1. Análisis de microfracturas mediante MEB.....	28
<b>3. HIPÓTESIS DE TRABAJO .....</b>	<b>31</b>
<b>3.1 HIPÓTESIS PARA EL ESTUDIO 1.....</b>	<b>32</b>
3.1.1 Hipótesis nula:.....	32
3.1.2 Hipótesis alternativa.....	32
<b>3.2 HIPÓTESIS PARA EL ESTUDIO 2.....</b>	<b>32</b>
3.2.1 Hipótesis nula:.....	32
3.2.2 Hipótesis alternativa.....	32
<b>4.OBJETIVOS.....</b>	<b>33</b>
<b>4.1 Objetivo principal: .....</b>	<b>34</b>
<b>4.2 Objetivos secundarios: .....</b>	<b>34</b>
<b>5. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>35</b>
<b>5.1 Estudio piloto 1 .....</b>	<b>36</b>
5.1.1 Selección de la muestra .....	36
5.1.2 Preparación de la muestra .....	36
5.1.3 Confección de las réplicas.....	39
5.1.4 Preparación de la muestra para el MEB .....	40
5.1.5 Análisis de la muestra .....	41
5.1.6 Resultados estudio piloto 1 .....	42
<b>5.2 Estudio piloto 2 .....</b>	<b>44</b>
5.2.1 Confección de réplicas y preparación para el MEB .....	44
5.2.2 Análisis de la muestra .....	44
5.2.3 Resultados estudio piloto 2 .....	45
<b>5.3 Estudio experimental.....</b>	<b>46</b>
5.3.2 Preparación de la muestra .....	48
5.3.3 Almacenaje de la muestra.....	50
5.3.4 Distribución de grupos .....	50
5.3.5 Procedimiento Estudio 1.....	52
5.3.6 Procedimiento Estudio 2.....	52
5.3.4 Parámetros a evaluar Estudio 1 y 2 .....	53
<b>5.4 Análisis estadístico .....</b>	<b>57</b>
<b>6. RESULTADOS .....</b>	<b>58</b>
<b>6.3 Resultados estudio 1 .....</b>	<b>59</b>
<b>6.4 Resultados estudio 2 .....</b>	<b>60</b>

<b>7. DISCUSIÓN</b> .....	<b>61</b>
<b>8. CONCLUSIONES</b> .....	<b>70</b>
<b>8.1 Conclusión principal del estudio</b> .....	<b>71</b>
<b>8.2 Conclusiones para los objetivos secundarios</b> .....	<b>71</b>
<b>9. PERSPECTIVAS DE FUTURO</b> .....	<b>72</b>
<b>10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>74</b>
<b>11. ANEXO</b> .....	<b>83</b>

<b>Figura 1.</b> Preparación de las muestras. A: Estandarización muestra en 16 mm con pie de rey. B: Corte a 16 mm del diente. C: Determinación LT con lima K#15 .37	37
<b>Figura 2.</b> Preparación de las muestras. A: Instrumentación con sistema MTWO (VDW GmbH, Bayerwaldstr, Munich, Germany). B: Irrigación. C: Radiografía final.....37	37
<b>Figura 3.</b> Preparación de las muestras. Resección apical mediante punta del dispositivo piezoeléctrico OT7S-4 (Mectron, Carasco, Italy). ....38	38
<b>Figura 4.</b> Análisis superficie radicular. A: Estereomicroscopio (Olympus SZ-PT Japan) y campo operatorio. B: Análisis superficie radicular. ....39	39
<b>Figura 5.</b> Arenado iónico de partículas de carbono (C) y platino (Pt) a 0,01mbar...40	40
<b>Figura 6.</b> Análisis superficie radicular. A: MEB (JEOL JSM-700 1F Gute Änger 30 DE-85356 Freising, Germany). B: Microfotografía de la sección radicular (X20)...41	41
<b>Figura 7.</b> Comparativa superficie radicular de dientes naturales y réplicas mediante microfotografías del MEB. A: Réplica número 7 sin presencia de microfracturas. B:Diente natural número 7 con presencia de microfracturas. 43	43
<b>Figura 8.</b> Análisis de la superficie radicular. A: Microfotografía del diente natural. B: Microfotografía de su réplica en resina epoxi.....45	45
<b>Figura 9.</b> Ejemplo muestra grupo 1, almacenada individualmente en solución salina .....47	47
<b>Figura 10.</b> Estandarización muestra con pie de rey a 16mm (A, B). Determinación de la LT (C, D, E) .....48	48
<b>Figura 11.</b> Instrumentación e irrigación de los conductos. (A, B). Rx de cronometría y final de la obturación de los conductos. (C, D, E).....49	49
<b>Figura 12.</b> Análisis de la superficie radicular. Estereomicroscopio (Olympus SZ-PT Japan) y del campo operatorio. (A). Análisis de la superficie radicular. (B) .....54	54
<b>Figura 13.</b> Confección de las réplicas. Impresión con silicona de adición de polyvinilsiloxano (Impregnum Penta Soft, 3M ESPE).....54	54
<b>Figura 14.</b> Confección de las réplicas. Vaciado mediante resina epoxi (EpoxiCure, Buehler, An ITW Company 41 Waukegan Road Lake Bluff, Illinois 60044 USA) .....55	55
<b>Figura 15.</b> Arenado iónico de partículas de carbono (C) y platino (Pt) a 0,01mbar. ....55	55

<b>Figura 16.</b> Análisis superficie radicular. A: MEB (JEOL JSM-700 1F Gute Änger 30 DE-85356 Freising, Germany). B: Microfotografía de la sección radicular (X20). .....	56
<b>Figura 17.</b> Resultados para resección, Estudio 1 .....	59
<b>Figura 18.</b> Resultados para preparación cavidad retrograda, Estudio 2.....	60

<b>Tabla 1.</b> Análisis de la presencia o ausencia de microfracturas en la superficie radicular de los dientes naturales. ....	42
<b>Tabla 2.</b> Análisis de la presencia o ausencia de microfracturas en la superficie radicular de las réplicas. ....	42
<b>Tabla 3.</b> Comparativa de la presencia o ausencia de microfracturas entre los dientes naturales y las réplicas. ....	43
<b>Tabla 4.</b> Comparativa de microfracturas entre los dientes naturales y las réplicas de resina epoxi.....	46
<b>Tabla 5.</b> Distribución de los dientes en los diferentes grupos de estudio .....	50
<b>Tabla 6.</b> Tabla de contingencia resultados para Estudio 1 .....	59
<b>Tabla 7.</b> Tabla de contingencia resultados para Estudio 2 .....	60

# **1. JUSTIFICACIÓN**

La cirugía endodóntica es un tratamiento generalmente indicado en dientes que presentan lesiones apicales persistentes debidas a un tratamiento de conductos convencional fracasado, factores iatrogénicos, infecciones extraradiculares o quistes (1). Este procedimiento quirúrgico consiste en levantar un colgajo mucoperióstico, realizar una osteotomía para visualizar la región periapical del diente, efectuar una resección apical y finalmente proceder a obturar la cavidad retrógrada preparada (2). En los últimos años, la cirugía endodóntica ha evolucionado hacia la microcirugía endodóntica gracias principalmente a la introducción de elementos como el microscopio óptico y los microinstrumentos. La aparición de puntas ultrasónicas y nuevos materiales de retroobtusión han contribuido al hecho de trabajar con mayor precisión y de una manera mínimamente invasiva (3). De esta manera, las limitaciones de la cirugía tradicional se han visto superadas gracias al avance de las técnicas en microcirugía (4). Por otro lado, el mayor conocimiento de la anatomía y morfología de los conductos radiculares se ha visto traducido en un incremento en el éxito de estos tratamientos y ha permitido una mejor aceptación y respuesta por parte del paciente (3). Recientemente, Tsesis y cols. (5) evaluaron el resultado del tratamiento endodóntico quirúrgico realizado con una técnica moderna (bajo microscopio óptico). Los dientes tratados mediante esta técnica microquirúrgica obtuvieron un resultado exitoso del 91,6% después de más de 1 año de la cirugía.

A pesar de los avances que se han producido en microcirugía apical, la selección de la técnica de resección apical y de realización de la cavidad retrógrada siguen siendo puntos controvertidos del tratamiento.

El objetivo principal de la microcirugía endodóntica es eliminar los irritantes periapicales y el material de obturación contaminado del interior de los conductos y prevenir la filtración mediante una cavidad retrógrada y su posterior obturación (3). Esta cavidad ideal está definida como una clase I de unos 3 mm de profundidad con paredes paralelas y centrada en el conducto radicular (6).

Para la realización de la resección de la porción apical y de dicha cavidad retrógrada pueden utilizarse diferentes instrumentos: fresas (2,7), puntas ultrasónicas (2) y/o insertos específicos para dispositivo piezoeléctrico (8). En relación a las puntas de ultrasonidos, éstas normalmente se utilizan únicamente para la preparación de la cavidad retrógrada.

Sin embargo, existe evidencia científica que soporta que estas puntas ultrasónicas pueden producir microfracturas en la parte más apical de los dientes. Debido a la presencia de estas microfracturas se puede producir una mayor exposición de túbulos dentinarios y, por consiguiente, una mayor microfiltración (9,10). La presencia de esta microfiltración puede afectar de forma negativa al pronóstico general de la microcirugía apical (11).

Actualmente, tenemos la posibilidad de hacer la cavidad retrógrada y la resección radicular mediante dispositivos de piezocirugía (cirugía ósea piezoeléctrica). Éstos están diseñados para cortar el hueso de manera atraumática mediante vibraciones ultrasónicas, proporcionando una alternativa a los instrumentos mecánicos y eléctricos que se usan en cirugía oral (8). Recientemente, las indicaciones del sistema piezoeléctrico están aumentando en cirugía oral y maxilofacial, así como en otras disciplinas, como la microcirugía endodóntica (12).

Las principales características de los instrumentos piezoeléctricos se resumen en su capacidad de corte selectivo de hueso sin dañar los tejidos blandos adyacentes (12). Además, este sistema proporciona un campo operatorio limpio y permite cortar sin generar calor. Está demostrado que los diferentes instrumentos del piezoeléctrico pueden ser utilizados en la mayoría de las etapas de la microcirugía endodóntica (osteotomía, resección radicular y preparación de la cavidad retrógrada) (8,12).

Por esto motivo parece lógico pensar que una de las ventajas que podrían ofrecer los dispositivos piezoeléctricos sería la reducción del riesgo de las

microfracturas tanto en la resección radicular como en la preparación de la cavidad retrógrada (13). Según nuestro conocimiento, existe un vacío en la literatura actual en relación al uso del piezoeléctrico y la presencia de microfracturas apicales después de la resección radicular y la preparación retrógrada.

En consecuencia, este trabajo de investigación tiene dos objetivos claros y definidos. En primer lugar, el estudio de las posibles microfracturas que se producen en la porción apical de los dientes después de la resección apical mediante fresas de carburo de tungsteno e insertos específicos del dispositivo piezoeléctrico (Estudio 1). Y en segundo lugar, el análisis de las microfracturas que se puedan producir durante la preparación retrógrada mediante puntas ultrasónicas e insertos específicos piezoeléctricos (Estudio 2).

## **2. ESTADO DE LA CUESTIÓN**

El objetivo mecánico del tratamiento endodóntico es mantener el diente tratado en una función normal, mientras que el objetivo biológico es la prevención o curación de la periodontitis apical (1). Se considera la periodontitis apical como una inflamación localizada de los tejidos periapicales causada en la mayoría de casos por una infección bacteriana proveniente del sistema de conductos radiculares y de la dentina que la rodea (1).

Normalmente, las patologías periapicales son el resultado directo o indirecto de la acción bacteriana del medio oral (14,15,16). Las bacterias que han invadido el conducto radicular pueden alcanzar los tejidos periapicales provocando una respuesta inmunitaria que tendrá como consecuencia la destrucción de los tejidos periapicales (17).

Por tanto, el tratamiento de la periodontitis apical de origen pulpar consistirá principalmente en la eliminación de las bacterias del interior del sistema de conductos, y en la prevención de la reinfección mediante la obturación del conducto radicular (18). Cuando el tratamiento de conductos se realiza de forma correcta, generalmente las periodontitis apicales curan; sin embargo, en algunos casos éstas pueden persistir después del tratamiento, provocando el fracaso endodóntico (18).

## **2.1 Fracaso endodóntico**

Con frecuencia, el fracaso endodóntico aparece en aquellos casos donde no se cumplen los criterios de calidad, y no se consigue, por tanto, eliminar la infección intraradicular. Esto normalmente está causado por problemas técnicos como aperturas camerales incorrectas, conductos no localizados, instrumentación inadecuada, perforaciones, deficiente obturación e incorrecto sellado coronal (18,19)

A pesar de cumplir con los criterios actuales de calidad no siempre es posible eliminar la totalidad de las bacterias del interior del sistema de conductos, ya que éstos presentan una compleja anatomía donde se pueden observar

conductos accesorios, anastomosis y deltas apicales (18). Además de la infección intraradicular, existen otras causas que podrían explicar el fracaso endodóntico; por tanto, podríamos concluir que el fracaso endodóntico es debido a:

### **2.1.1 Infección extraradicular**

El desarrollo de las lesiones periapicales crea una barrera alrededor del diente, con el objetivo de prevenir la extensión de la infección intraradicular. Con el fin de intentar mantener la infección circunscrita al interior de los conductos radiculares, el hueso es reabsorbido y sustituido por tejido de granulación que contiene elementos celulares de defensa (fagocitos) y moleculares (moléculas del complemento y anticuerpos). Sin embargo, se ha demostrado que las bacterias *Actinomyces Israelii* o *Propionibacterium propionicum* han desarrollado mecanismos para sobrevivir en este ambiente hostil, provocando una infección extraradicular. Estas bacterias pueden evadir la acción del sistema inmunitario, establecerse en los tejidos periapicales y provocar la inflamación periapical, independientemente del estado bacteriológico del interior del conducto radicular (20,21,22).

El origen de las bacterias que provocan la actinomicosis periapical es probablemente la infección intraradicular. Las causas por las cuales estas bacterias podrían colonizar los tejidos periapicales son, probablemente:

1. Extrusión de detritus durante la conformación del conducto radicular con los diferentes sistemas de instrumentación .
2. Un avance de las bacterias del conducto infectado hacia los tejidos periapicales.
3. La participación previa de estas bacterias en un absceso apical agudo y su persistencia en los tejidos periapicales (22).

### **2.1.2 Quistes periapicales**

Un quiste es una cavidad cerrada, patológica, rodeada por un epitelio que contiene en su interior material líquido o semilíquido. Los quistes periapicales se producen alrededor de los ápices de los dientes con pulpas necróticas e infectadas (20,21,23).

Existen dos tipos de quistes periapicales en función de su relación con el ápice radicular: aquéllos donde la cavidad quística está abierta a los conductos radiculares, y aquéllos que están totalmente rodeados de tejido epitelial. Los primeros reciben el nombre de quiste en bolsa, y a los segundos se les conoce como quistes verdaderos(20,21,23).

Existe controversia sobre la posibilidad de curación de los quistes periapicales después del tratamiento de conductos radiculares. En los casos donde existe un quiste verdadero es probable que el tratamiento de conductos no sea efectivo para eliminar el quiste, ya que éste se sustenta por sí mismo y, por tanto, es independiente de la presencia o ausencia de bacterias en el interior del conducto radicular. Sin embargo, en los quistes en bolsa es probable que se produzca la curación del quiste, ya que éste depende de la presencia de bacterias en el interior del conducto radicular(20,21,23).

### **2.1.3 Reacción a cuerpo extraño**

Otra causa de fracaso endodóntico es la reacción a cuerpo extraño, que puede estar provocada por la presencia de cristales de colesterol (sustancias endógenas) o por sustancias impulsadas a los tejidos periapicales durante el tratamiento de conductos (sustancias exógenas). Los macrófagos y las células gigantes se acumulan en el lugar donde se produce una reacción a cuerpo extraño. Estas células, aparte de no poder eliminar estos cuerpos extraños, son también la mayor fuente de mediadores inflamatorios y de reabsorción de hueso. La

prevalencia de fracasos debidos a una reacción a cuerpo extraño no es conocida, pero su incidencia, presumiblemente, podría ser muy baja (18,20,21).

#### **2.1.4 Infección intraradicular**

Los microorganismos que colonizan el sistema de conductos radiculares desempeñan un papel fundamental en el desarrollo de las lesiones periapicales. Möller (15) demostró que únicamente las pulpas desvitalizadas e infectadas provocaron patología a nivel periapical, mientras que las pulpas desvitalizadas y no infectadas no provocan cambios patológicos. Se ha demostrado que la penetración de bacterias en el sistema de conductos obturado, o la presencia de bacterias antes de obturar los conductos, influyen negativamente en el pronóstico del tratamiento de conductos radiculares. Sjögren y cols. (24) , así como Sundqvist y cols. (25) observaron que el estado bacteriológico del conducto radicular antes de la obturación del sistema de conductos es un factor determinante en el resultado del tratamiento endodóntico.

La presencia de bacterias en el tercio apical es la causa más frecuente de fracaso endodóntico (21,26,27). Se ha demostrado que en algunas zonas del sistema de conductos tales como istmos, conductos laterales, el tercio apical del conducto principal y túbulos dentinarios, independientemente de la técnica utilizada durante la preparación químico-mecánica, no consiguen eliminar del interior del sistema de conductos todos los restos de tejido necrótico y bacterias (28,29,30). Estas áreas no se ven afectadas por la limpieza y conformación de conductos, aun después de recibir una obturación de conductos correcta desde el punto de vista radiográfico, y pueden contener bacterias y tejido necrótico, pudiendo provocar el fracaso del tratamiento endodóntico (31).

## **2.2 Cirugía endodóntica**

### **2.2.1 Indicaciones de la cirugía**

Actualmente, el éxito del tratamiento endodóntico primario se sitúa entre el 86% y el 98% (32,33) con aproximadamente más de 15 millones de procedimientos endodónticos realizados anualmente sólo en Estados Unidos (34). Esto deja un porcentaje significativo de dientes con tratamientos endodónticos que exhiben persistencia de enfermedad o que desarrollan una enfermedad posterior al tratamiento. De esta manera, la decisión de seguir manteniendo estos dientes en este estado es generalmente dictada por la habilidad del clínico para identificar y eliminar la etiología subyacente responsable del resultado desfavorable.

En la literatura se encuentran perfectamente documentadas, tal y como ya hemos citado, las principales causas de fracaso endodóntico (1). Estas causas pueden estar directamente relacionadas con limitaciones biológicas y/o clínicas. Una de estas causas biológicas se relaciona directamente con una infección persistente dentro y/o fuera del sistema de conductos (20, 24, 25) y ha sido atribuida a una especie específica de bacteria (36) o a la interacción sinérgica potencial entre múltiples especies bacterianas (36). Otra fuente biológica responsable de la patología periapical persistente es la formación o la presencia de un quiste radicular (12). Las limitaciones clínicas incluyen posibles errores iatrogénicos, conductos mal desinfectados, conductos mal obturados, complicaciones de procedimiento y/o a una anatomía interna no bien tratada o examinada (37, 38).

Las opciones de tratamiento para la retención de los dientes tratados endodónticamente con enfermedad post-tratamiento son limitadas. Nos podemos inclinar por realizar un retratamiento no quirúrgico, una microcirugía apical (incluyendo el reimplante) o bien una combinación de ambos procedimientos. En una revisión sistemática de Torabinejad y cols. (39) se documentó un porcentaje de éxito significativamente mayor para la cirugía endodóntica (77,8%) a los 2-4

años en comparación con el retratamiento no quirúrgico (70,9%). Esta relación cambió drásticamente en el intervalo de 4 a 6 años. El retratamiento no quirúrgico mostró una mayor tasa de éxito (83,0%) en comparación con la cirugía endodóntica (71,8%). Esto significa que siempre que sea posible, teniendo en cuenta las condiciones del diente y la habilidad del clínico, el tratamiento de elección debería ser el retratamiento ortógrado o no quirúrgico. Sin embargo, existen ciertas situaciones, tal y como se describen en las guías de la *European Society of Endodontology* (ESE) (40), en que la única alternativa de tratamiento es la cirugía endodóntica. Estas indicaciones se pueden resumir en la siguiente lista:

1) Hallazgos radiográficos de periodontitis apical y/o síntomas asociados a una obstrucción dentro del conducto radicular (obstrucción o fragmento de instrumento que no se puede remover por vía ortógrada).

2) Extrusión de material con hallazgos radiográficos o clínicos de periodontitis apical y/o sintomatología asociada durante un periodo prolongado de tiempo.

3) Persistencia o aparición de enfermedad después del tratamiento de conductos cuando el retratamiento no quirúrgico es inapropiado.

4) Perforación radicular o del suelo de la cámara pulpar y no es posible tratarlo a través del diente.

### **2.2.2. Pronóstico de la cirugía**

El éxito de la cirugía endodóntica así como también sus factores pronóstico han variado considerablemente en los últimos años, y nos podemos encontrar con porcentajes de éxito que varían del 37% al 91% (4). En diversos estudios podemos hallar gran variedad de factores que afectan al éxito de este tratamiento, tales como: edad del paciente, longitud de la obturación de los conductos radiculares, tamaño de la lesión periapical, y calidad del sellado apical y coronal (41-43). Esta inconsistencia se debe básicamente a diferencias en la calidad técnica del procedimiento quirúrgico así como en la selección del caso, el tamaño de muestra, el periodo de observación y la metodología utilizada.

A partir de la introducción de técnicas quirúrgicas más modernas y materiales más biocompatibles (como por ejemplo, Super EBA y agregado trióxido mineral – MTA), von Arx y cols. (44) examinaron el efecto de varios factores pronóstico. El único factor que encontraron que afectaba de forma estadísticamente significativa al pronóstico fue la presencia de dolor en el examen inicial. Otros factores, como el tamaño de la lesión y los materiales retrógrados utilizados, también influyeron pero no de forma significativa.

En las últimas décadas, con la introducción de los principios de microcirugía (uso del microscopio, puntas ultrasónicas, microinstrumentos, y materiales retrógrados biológicamente más aceptables) (3), el éxito de la cirugía endodóntica ha alcanzado valores de alrededor del 90% (5, 45). Está documentado que la probabilidad de éxito de esta denominada microcirugía apical es 1.58 veces mayor que la de la cirugía endodóntica convencional (46), lo que significa que la microcirugía apical es una técnica considerablemente más predecible.

### **2.2.3 De la cirugía endodóntica a la microcirugía apical**

La cirugía endodóntica ha avanzado inevitablemente hacia la microcirugía apical y esto ha supuesto un cambio importante en todos los pasos y etapas del procedimiento quirúrgico.

Se sabe con certeza que uno de los pasos más importantes y delicados de la microcirugía apical es la apicectomía o resección de la raíz. Entendemos el término de apicectomía como el procedimiento por el cual se eliminan los últimos 3mm apicales de la raíz. En esta zona es precisamente donde encontramos la mayoría de ramificaciones del conducto, como istmos, deltas apicales, conductos accesorios y laterales (3). Teóricamente, esta resección radicular debe ser perpendicular al eje longitudinal del diente para incluir dichas ramificaciones y al mismo tiempo minimizar la cantidad de túbulos dentinarios expuestos (3,36,37).

Gilheany y cols. (49) en el año 1994 sugirieron que al menos se debían remover los últimos 2 mm radiculares con el objetivo de minimizar la filtración

bacteriana de los conductos. Posteriormente, en el estudio anatómico llevado a cabo por Kim y cols. (50) se demostró que esta resección radicular debía ser superior y alcanzar al menos 3 mm, pues esto permite reducir el 98% de las ramificaciones apicales y el 93% de conductos laterales.

La resección radicular o apicectomía es un procedimiento altamente técnico-sensible, por lo que si se realiza de forma inadecuada puede producir microfiltración apical y afectar negativamente al pronóstico de la cirugía endodóntica (7,50). Hasta hace algunas décadas esta preparación así como la cavidad retrógrada se habían realizado con fresas convencionales de pieza de mano. Sin embargo, éstas pueden presentar diferentes problemas:

1. Dificultad en el acceso de la porción apical de la raíz, especialmente en zonas de espacio reducido.
2. Alto riesgo de perforación de la zona lingual de la preparación y/o desviación de la anatomía original del conducto.
3. Insuficiente profundidad y retención para el material de obturación retrógrado.
4. Elevada exposición de túbulos dentinarios.
5. Imposibilidad de remover tejido necrótico de los istmos persistentes.

Es por ello que actualmente este procedimiento se realiza bajo magnificación y mediante el uso del instrumental necesario (por ejemplo, turbinas con cabezal angulado o dispositivos piezoeléctrico) para poder realizar una resección lo más perpendicular al eje del diente sin crear ningún defecto o perforación (3, 50).

Posterior a la resección radicular, se debe proceder con la preparación y obturación retrógrada del conducto. El objetivo final de esta preparación radicular es remover el material de obturación que se encuentra dentro del conducto, y crear una cavidad para posteriormente sellarla de forma adecuada. Idealmente, esta preparación debe ser como una cavidad clase I de al menos 3 mm en el

interior de la dentina. Las paredes deben ser paralelas coincidiendo con la anatomía del conducto radicular. (51).

Está ampliamente descrito que un buen sellado apical es imprescindible realizar para lograr éxito a largo plazo (52, 53). Si se consigue una adecuada obturación de estos últimos 3mm es suficiente para controlar la re-infección, es decir, evitamos que ésta se vuelva a producir (3,47,48).

Habitualmente, la preparación retrógrada se realizaba mediante fresas y el uso de pieza de mano. Richmand (54) fue el primero que introdujo los ultrasonidos en 1957 utilizando una cureta periodontal ultrasónica modificada para la limpieza del sistema de conductos. Asimismo, Carr en el año 1994 introdujo puntas ultrasónicas anguladas diseñadas específicamente para la preparación de la cavidad retrograda en cirugía apoca (51).

Con la introducción de las puntas de ultrasonidos podemos solventar la mayoría de problemas o complicaciones descritas anteriormente. Las puntas ultrasónicas permiten un mayor control por parte del operador, una disminución del riesgo de perforación y una mayor preservación de la anatomía radicular en comparación con el uso de la pieza de mano (51).

#### **2.2.4. Microfracturas radiculares**

La utilización de ultrasonidos en la preparación retrograda, sin embargo no está exento de cierto riesgos. Diversos autores han observado la presencia de microfracturas en las paredes de la dentina después de la preparación retrógrada (9.55-61). Layton y cols. (57) observaron una evidente asociación entre la presencia de microfracturas y el uso de ultrasonidos. Paz y cols. (62) investigaron la eficiencia de corte de diferentes puntas de ultrasonidos con dos unidades a diferentes intensidades. En este estudio también se evidenció la presencia de microfracturas en la mayoría de muestras.

Ante esta situación, se han realizado varios estudios que han demostrado que la presencia de microfracturas sobre la superficie radicular pueden ser causa de microfiltración bacteriana (3, 11, 48, 51, 63). No obstante, la significancia clínica de estos defectos en la dentina en relación al pronóstico de la microcirugía no se había demostrado hasta que en el año 2015 apareció el estudio de Tawil y cols. (11). En este estudio, los autores evaluaron a 1 y a 3 años la curación de la cirugía endodóntica según la presencia o ausencia de microfracturas radiculares. En el grupo de dientes “intactos” (ausencia de microfracturas) hubo una curación del 94.8% en el primer año y del 97.3% a los 3 años. Por otro lado, el grupo con defectos en la dentina (presencia de microfracturas) obtuvo una tasa de éxito del 29.8% en el primer año, y de 31.5% a los 3 años. Esta investigación demuestra una clara relación entre presencia de microfracturas y fracaso del tratamiento quirúrgico.

La reciente introducción de instrumentos piezoeléctricos que vibran en diferentes frecuencias ha representado un importante avance en el campo de cirugía oral (64). La principal ventaja de los dispositivos piezoeléctrico es que cortan de forma selectiva, es decir, cortan únicamente tejido duro evitando dañar el tejido blando. Es por ello, que el uso de piezoeléctrico puede ser una alternativa al uso de ultrasonidos tanto en la resección radicular como en la preparación de la cavidad retrógrada (13) con el objetivo de minimizar o eliminar las mencionadas microfracturas.

### **2.3 Dispositivo piezoeléctrico**

Resulta imprescindible para la comprensión del sistema piezoeléctrico conocer el funcionamiento de los ultrasonidos convencionales. Los ultrasonidos se basan en energía sónica no perceptible al oído humano, concretamente de 20 kHz. Esta energía se genera a través de unos transductores que son capaces de convertir la energía eléctrica en ultrasónica. Normalmente esta conversión se produce por magnetoestricción o bien por piezoelectricidad (8).

Las unidades ultrasónicas de uso dental que funcionan por magnetoestricción sufren cambios físicos en sus dimensiones cuando se colocan dentro de un campo magnético. Esto se consigue con la colocación de una pila o

batería ferromagnética dentro de un solenoide (bobina formada por un alambre enrollado en espiral sobre un armazón cilíndrico, que se emplea en diversos aparatos eléctricos, y que crea un campo magnético cuando circula una corriente continua por su interior). Los dispositivos magnetostrictivos funcionan con una frecuencia entre 18-25 kHz (65). Por tanto, cuando la corriente eléctrica pasa a través de la bobina existente en la pieza de mano, se crea un campo magnético alrededor de la pila o de un transductor en forma de varilla según el caso, y hace que se contraiga. La corriente alterna produce entonces un campo magnético alterno que hace vibrar la punta (66).

Por otro lado, las unidades piezoeléctricas se basan en el efecto de piezoelectricidad, el cual fue descrito por primera vez en 1880 por Jaques y Pierre Curie. Estos autores afirmaron que algunas cerámicas y cristales se deformaban cuando una corriente eléctrica pasa a través de ellos dando lugar a oscilaciones de frecuencia ultrasónica sin producir calor (8).

### **2.3.1 Indicaciones piezoeléctrico**

Aunque existen una gran cantidad de estudios publicados que abogan por el uso de enfoques y tratamientos modernos, la verdad es que disponemos de poca información en relación a las aplicaciones de la piezocirugía (cirugía ósea piezoeléctrica) en la cirugía endodóntica (8). Como hemos comentado, la introducción de instrumentos piezoeléctricos que vibran dentro del rango de frecuencias ultrasónicas han representado un importante avance en la cirugía oral (67). El dispositivo piezoeléctrico es un sistema meticuloso y suave de conservación de tejidos para el corte óseo basado en microvibraciones ultrasónicas. El primer dispositivo piezoeléctrico que fue desarrollado y posteriormente mejorado fue el de Vercellotti y cols. (67, 68), quién fue pionero en su aplicación en el campo de la cirugía periodontal. Los dispositivos de cirugía piezoeléctrica funcionan con unos principios similares a los dispositivos de tartrectomía piezoeléctricos, pero estos últimos no son capaces de cortar tejidos duros. El corte selectivo es la característica más innovadora del dispositivo de cirugía piezoeléctrica. Aunque el piezoeléctrico corta los tejidos mineralizados como el hueso, no es capaz de cortar los tejidos blandos como los vasos

sanguíneos, los nervios y la mucosa (68).

Las indicaciones para el uso de dispositivos piezoeléctricos están aumentando en la cirugía oral y maxilofacial, así como también en otros campos como la endodoncia (13). En la actualidad, los instrumentos piezoeléctricos se pueden utilizar en la mayoría de las etapas de la cirugía endodóntica, reduciendo el riesgo de daño a los tejidos blandos.

### **2.3.2 Microcirugía apical y sistema piezoeléctrico**

La piezocirugía es una modalidad de corte óseo con indicaciones rápidamente crecientes en diferentes campos quirúrgicos, incluida la cirugía endodóntica. Sin embargo, en este momento no existen estudios clínicos suficientes para poder realizar una revisión bibliográfica más amplia.

Las principales ventajas de la piezocirugía incluyen la protección de tejidos blandos, la visualización óptima del campo quirúrgico, la disminución de la pérdida de sangre, la reducción de la vibración y el ruido, un mayor confort para el paciente y la protección de las estructuras dentales. Sin embargo, este sistema también posee de algunos inconvenientes tales como una inversión financiera inicial, una mayor duración del procedimiento quirúrgico en comparación a la pieza de mano, y el hecho de que algunos fabricantes no recomiendan el uso del sistema en pacientes portadores de marcapasos cardíacos (69, 70). La preocupación de posibles efectos adversos se basa únicamente en la especulación sobre riesgos potenciales de interferencia electromagnética (71).

## **2.4 Microscopio electrónico de barrido (MEB)**

Actualmente, la principal herramienta para el análisis de la superficie radicular es el uso del microscopio electrónico de barrido (MEB). El MEB es un instrumento que permite la observación y análisis de las superficies de materiales orgánicos e inorgánicos, adquiriendo la información morfológica del material analizado (72). A diferencia de los microscopios ópticos convencionales, el MEB

permite un análisis de las muestras a mayor magnificación y con una elevada resolución (72).

El MEB funciona básicamente haciendo incidir un barrido de haz de electrones sobre una muestra. La muestra (salvo que ya sea conductora) se recubre generalmente con una capa muy fina de oro o carbón, lo que le otorga propiedades conductoras. Esta técnica de preparación de muestras se denomina "sputtering" o pulverización catódica. Este recubrimiento permite que el haz de electrones alcance la superficie y de esta forma se generen electrones retrodispersados (e1), electrones secundarios (e2), radiación electromagnética (rayos X) y otras partículas menos significativas (72).

El microscopio se encuentra internamente equipado con unos detectores que recogen la energía y la transforman en imágenes y datos.

- El detector de electrones secundarios: (SEI – Secondary Electron Image) con los que obtenemos las imágenes de alta resolución.
- El detector de electrones retrodispersados: (BEI – Backscattered Electron Image) con menor resolución de imagen pero mayor contraste para obtener la topografía de la superficie.
- El detector de energía dispersiva: (EDS – Energy Dispersive Spectrometer) detecta los rayos X generados y permite realizar un análisis espectrográfico de la composición de la muestra.

Por tanto, las principales ventajas que nos proporciona el MEB son: la obtención de imágenes con efecto tridimensional, el estudio de un gran número de muestras en un solo barrido, y que a través de un diseño sencillo permite realizar fotografías con amplios aumentos, desde (X3) a (X150000) (73).

#### **2.4.1. Análisis de microfracturas mediante MEB**

En los últimos años el MEB se ha establecido como la principal herramienta para el estudio de los tejidos duros dentales y en el análisis de la adaptación

marginal de los materiales selladores (52,53,59,60). Los dos métodos que existen para la investigación y manipulación de muestras dentales con el MEB son el método directo y el indirecto. El método directo se basa en el análisis del diente, el cual necesita un proceso previo de deshidratación y secado. El método indirecto se lleva a cabo tomando una impresión del diente con silicona de adición de polisiloxano (modelo negativo) que se vacía en resina epoxy (modelo positivo) para ser analizado posteriormente en el MEB (74,75).

Tradicionalmente, en la mayoría de estudios *in vitro*, los dientes que se estudiaban se observaban directamente bajo el MEB. En cambio, en los estudios realizados *in vivo* se confeccionaba una réplica del diente a estudiar para poder observarlos en el MEB (47,55). Sin embargo, en los últimos años todas las investigaciones, ya sean *in vivo* o *in vitro*, se han inclinado por la utilización de réplicas (13,57,60-62,72,74-77). En todos estos estudios justifican el uso de réplicas basándose en el hecho de que el análisis directo de los dientes bajo MEB puede producir por sí mismo alteraciones como fracturas, fisuras y contracciones. Se sugiere que éstas pueden ser provocadas por la presión a la que es sometida la muestra al ser preparada y escaneada. De esta manera, se ha extendido y aceptado el uso de réplicas de resina epoxy (resina de poliuretano) para el análisis de muestras dentales *in vitro* (7,13,56,57). El problema radica en que no se sabe con certeza el origen de estas microfracturas. ¿Se producen durante la resección apical o preparación retrógrada?; ¿se producen por una incorrecta manipulación durante el almacenaje de la muestra?; ¿es realmente el MEB el responsable de estas microfracturas?

De todos los estudios publicados hasta la fecha donde se analiza la superficie dental con MEB, ninguno ha comparado los resultados donde se realicen las distintas técnicas. Por este motivo casi todos los estudios que se han publicado en este ámbito realizan la técnica indirecta (réplica).

Por este motivo decidimos realizar dos estudios piloto previos al análisis de la muestra experimental de nuestra investigación. El primer estudio piloto consistió en comparar la superficie radicular de dientes naturales y sus réplicas de

resina epoxi bajo el MEB. El objetivo fue observar si realmente el método directo producía microfracturas, y si éstas también se visualizaban en las réplicas. El segundo estudio piloto se basó en realizar réplicas a dientes con microfracturas, y comprobar si la metodología indirecta de las réplicas era capaz de reproducir con fiabilidad dichas microfracturas. Es decir, nos planteamos si la resina epoxi (resina de poliuretano) era realmente capaz de reproducir microfracturas de forma exacta y precisa.

A partir de la realización de estos estudios pilotos, empezamos con el diseño final de nuestro estudio y con la consiguiente preparación de las muestras. De esta forma, hemos creído conveniente explicar en el apartado Materiales y Métodos ambos estudios pilotos y sus respectivos resultados.

### **3. HIPÓTESIS DE TRABAJO**

## **3.1 HIPÓTESIS PARA EL ESTUDIO 1**

### **3.1.1 Hipótesis nula:**

**H<sub>0</sub>:** La resección apical con inserto piezoeléctrico produce igual o más microfracturas en la superficie radicular en comparación al uso de fresa de carburo de tungsteno.

### **3.1.2 Hipótesis alternativa**

**H<sub>1</sub>:** La resección apical con inserto piezoeléctrico produce menos microfracturas en la superficie radicular en comparación al uso de fresa de carburo de tungsteno.

## **3.2 HIPÓTESIS PARA EL ESTUDIO 2**

### **3.2.1 Hipótesis nula:**

**H<sub>0</sub>:** La preparación de la cavidad retrógrada con inserto piezoeléctrico EN1 (Mectron, Carasco, Italy), produce igual o más microfracturas en la superficie radicular en comparación al uso de puntas de ultrasonidos EndoSuccess™ AS3D (ACTEON GROUP Satelec, Mount Laurel, NJ) de 3 mm.

### **3.2.2 Hipótesis alternativa**

**H<sub>1</sub>:** La preparación de la cavidad retrógrada con inserto piezoeléctrico EN1 (Mectron, Carasco, Italy), produce menos microfracturas en la superficie radicular en comparación al uso de puntas de ultrasonidos EndoSuccess™ AS3D (ACTEON GROUP Satelec, Mount Laurel, NJ) de 3 mm.

## **4.OBJETIVOS**

#### **4.1 Objetivo principal:**

Determinar *in vitro* la presencia de microfracturas que se producen en la superficie radicular durante la resección radicular y la preparación retrógrada.

#### **4.2 Objetivos secundarios:**

Comparar la presencia de microfracturas que se producen en la superficie radicular después de la resección radicular entre una fresa de carburo de tungsteno y un inserto piezoeléctrico.

Determinar la presencia de microfracturas que se producen en la superficie radicular después de la preparación de 3mm de la cavidad retrógrada entre puntas de ultrasonidos e insertos de piezoeléctrico.

## **5. MATERIALES Y MÉTODOS**

Para la realización de esta investigación decidimos realizar dos estudios pilotos previos con el objetivo de comprobar que la metodología de nuestro estudio era viable, y de esta manera establecer un protocolo adecuado a seguir.

## **5.1 Estudio piloto 1**

### **5.1.1 Selección de la muestra**

Para llevar a cabo este estudio, se seleccionó una muestra de 10 dientes. Los dientes seleccionados eran uniradiculares y presentaban un único conducto radicular. Para ello se comprobó mediante la realización de 2 radiografías (Kodak RVG 6100. KODAK Dental Systems, Carestream Health, Rochester, New York). Una visión de la cara vestibular del diente y otra por interproximal.

Los dientes extraídos, por motivos periodontales u ortodónticos, fueron limpiados con hipoclorito de (NaOCl) al 4.2% durante 30 segundos y conservados posteriormente en suero fisiológico a 37°C. El investigador principal (G.D) observó los dientes bajo e microscopio operatorio (M900, DF Vasconcellos, Sao Paulo, SP, Brazil) y descartó aquéllos que presentaban ápices inmaduros, reabsorciones, caries radicular, tratamientos de conductos previos, microfracturas o algún tipo de línea de fractura. Los 10 primeros dientes que se analizaron cumplían con los criterios de inclusión, por lo que pasaron directamente a formar parte de la muestra experimental de este estudio piloto.

### **5.1.2 Preparación de la muestra**

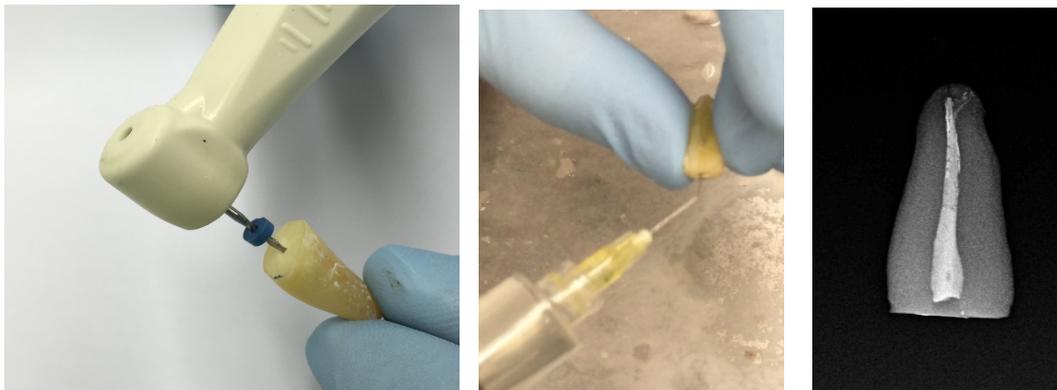
En primer lugar, con el objetivo de estandarizar todas las muestras, el investigador (G.D) cortó todos los dientes a la misma altura (16 mm) (Fig. 1). Posteriormente, se realizó la apertura cameral de los dientes con una fresa redonda de diamante (Dentsply-Maillefer Instruments, Ballaigues, Switzerland), ayudados de una fresa Endo Z (Dentsply International, York, USA). Seguidamente, se determinó la longitud de trabajo (LT) del conducto radicular. Para ello se utilizó

una lima K#15 (Maillefer, Ballaigues, Switzerland) y una vez ésta salía a través del foramen apical se retrocedía 0.5 mm (Fig. 1).



**Figura 1.** Preparación de las muestras. A: Estandarización muestra en 16 mm con pie de rey. B: Corte a 16 mm del diente. C: Determinación LT con lima K#15

Los 10 dientes fueron instrumentados hasta un calibre 35/.04 mediante el uso del sistema MTWO (VDW GmbH, Bayerwaldstr, Munich, Germany). Se siguió un protocolo convencional de irrigación que se basó en irrigar entre lima y lima con NaOCl 4.2%, manteniendo la permeabilidad apical con una lima K#10 a 1 mm de LT. Se realizó una irrigación final con EDTA (ácido etilendiaminotetraacético) 17% y NaOCl 4.2% para la remoción del barrillo dentinario. Los conductos se secaron con puntas de papel estandarizadas y etanol 96°. Finalmente, los conductos se obturaron con gutapercha no estandarizada calibrada a #40 (Autofit; SybronEndo, Ormco de México, SA. De CV.) mediante técnica termoplástica con cemento sellador AH-Plus (Dentsply DeTrey, Konstanz, Germany) (Fig. 2). Finalmente se comprobó radiográficamente la calidad de la obturación.



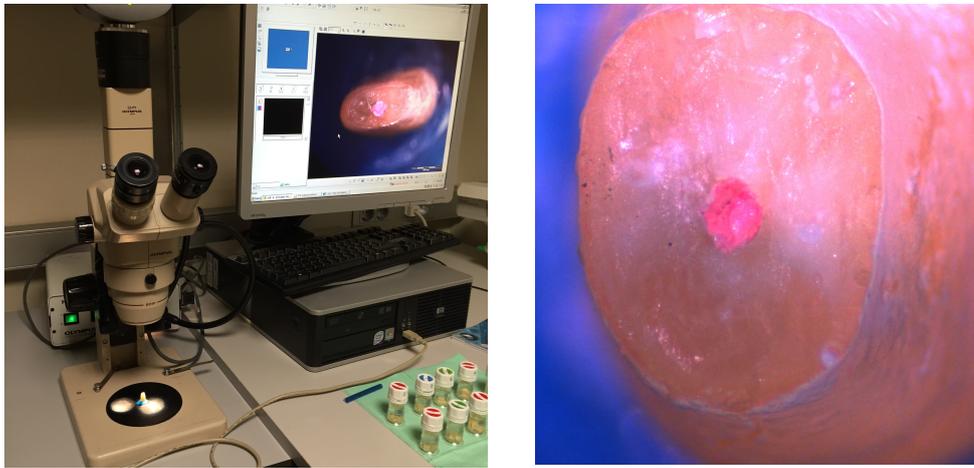
**Figura 2.** Preparación de las muestras. A: Instrumentación con sistema MTWO (VDW GmbH, Bayerwaldstr, Munich, Germany). B: Irrigación. C: Radiografía final

Después de la comprobación radiográfica de la obturación de los conductos, se procedió a la resección apical de los últimos 3mm mediante una punta del dispositivo piezoeléctrico OT7S-4 (Mectron, Carasco, Italy) bajo irrigación constante de suero fisiológico (Fig. 3). Este procedimiento realizado mediante el inserto específico piezoeléctrico no era el objetivo de estudio en este primera prueba piloto, pues aquí lo que realmente queríamos ver con este estudio era una comparativa entre las técnicas directa e indirecta en el MEB. Todos estos pasos descritos fueron realizados por el investigador principal bajo el microscopio operatorio (M900, DF Vasconcellos, Sao Paulo, SP, Brazil).



**Figura 3.** Preparación de las muestras. Resección apical mediante punta del dispositivo piezoeléctrico OT7S-4 (Mectron, Carasco, Italy).

Tras la resección radicular de los 10 dientes y previo al tratamiento de la muestra para el análisis en el MEB, las muestras se analizaron en el estereomicroscopio (Olympus SZ-PT Japan) a 25 X para observar si las superficies de los dientes presentaban alguna microfractura (Fig. 4). Las imágenes obtenidas fueron analizadas por el investigador principal (G.D), que determinó que no existían microfracturas en ninguna de las muestras.



**Figura 4.** Análisis superficie radicular. A: Estereomicroscopio (Olympus SZ-PT Japan) y campo operatorio. B: Análisis superficie radicular.

### 5.1.3 Confección de las réplicas

A continuación, se realizó una réplica de la superficie radicular de estos dientes mediante la técnica indirecta descrita por Janda 1995 (78) y Gondim-Junior y cols. 2002 (61). La toma de impresión se realizó con silicona fluida de adición de vinil polisiloxano (Impregnum Penta Soft, 3M ESPE) sobre una de silicona pesada (Virtual® XD: Putty Fast Set Refills, Ivoclar Vivadent). Cada muestra fue colocada perpendicularmente a la superficie y se cubrió por completo con la silicona. Se dejó fraguar 5 minutos acorde a los tiempos del fabricante y después se retiró el diente del interior obteniendo el negativo de cada muestra.

Posteriormente, se procedió con el vaciado de cada muestra. Para ello se hizo una mezcla de resina epoxi (EpoxiCure, Buehler, An ITW Company 41 Waukegan Road Lake Bluff, Illinois 60044 USA) con 5 partes de resina y 1 parte de activador. Esta mezcla se vertió en cada una de las impresiones previamente realizadas, dejándola fraguar durante 6 horas (siguiendo las especificaciones del fabricante). De esta forma, se obtuvo una réplica teóricamente exacta de cada diente.

### 5.1.4 Preparación de la muestra para el MEB

Para desarrollar esta parte del estudio nos trasladamos a las instalaciones la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC) concretamente en el Departamento de Microscopía Electrónica.

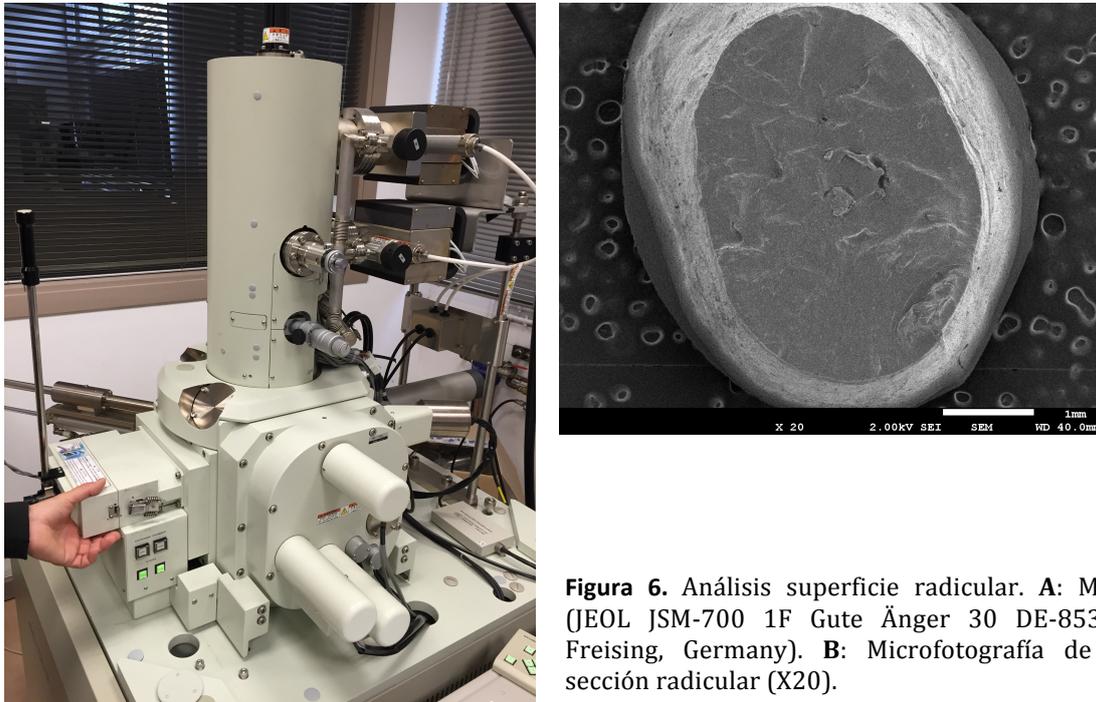
Llegados a este punto, resulta imprescindible que dientes y réplicas estén completamente secos para poder observar la sección de la superficie radicular. Es por ello, que todas las muestras se secaron durante 24 horas en un horno termostato a 60°C.

Una vez obtuvimos las réplicas y los dientes estuvieron completamente secos, el técnico de laboratorio (I.L) de la UPC los recubrió mediante arenado iónico de partículas de carbono (C) y platino (Pt). Generalmente, la realización del recubrimiento de estas partículas se lleva a cabo bajo presión de 0,01mbar (Fig. 5).



**Figura 5.** Arenado iónico de partículas de carbono (C) y platino (Pt) a 0,01mbar.

Después del arenado de todas las muestras (réplicas y dientes), éstas se introdujeron en la cámara interna para poder ser procesadas con el MEB (JEOL JSM-700 1F Gute Änger 30 DE-85356 Freising, Germany). De esta manera, se obtuvieron un total de 20 microfotografías (una por cada diente y su respectiva réplica) de la sección analizada de cada muestra. (Fig. 6).



**Figura 6.** Análisis superficie radicular. **A:** MEB (JEOL JSM-700 1F Gute Änger 30 DE-85356 Freising, Germany). **B:** Microfotografía de la sección radicular (X20).

### 5.1.5 Análisis de la muestra

Las microfotografías obtenidas por el MEB fueron examinadas a diferentes aumentos (10X), (20X), (100X), (200X) y (350X) de forma individual por 3 observadores de manera individual y aleatoria. El proceso de evaluación se llevo a cabo mediante un cuestionario dicotómico (presencia o ausencia de microfractura). En toda esta investigación utilizamos el término microfractura como cualquier discontinuidad de la superficie dentinaria(11).

### 5.1.6 Resultados estudio piloto 1

Los resultados de este estudio piloto fueron bastante concluyentes. Todas las muestras de dientes naturales presentaron microfracturas en la superficie radicular (tabla 1); resultados en que coincidieron los 3 examinadores. Asimismo, los examinadores sólo observaron una pequeña fractura en una de las réplicas (tabla 2); fractura que podría estar asociada más a la técnica de resección que no al procesado del MEB.

<i>Dientes naturales</i>	<i>Presencia</i>	<i>Ausencia</i>
1	X	
2	X	
3	X	
4	X	
5	X	
6	X	
7	X	
8	X	
9	X	
10	X	

**Tabla 1.** Análisis de la presencia o ausencia de microfracturas en la superficie radicular de los dientes naturales.

<i>Réplicas</i>	<i>Presencia</i>	<i>Ausencia</i>
1		X
2		X
3		X
4	X	
5		X
6		X
7		X
8		X
9		X
10		X

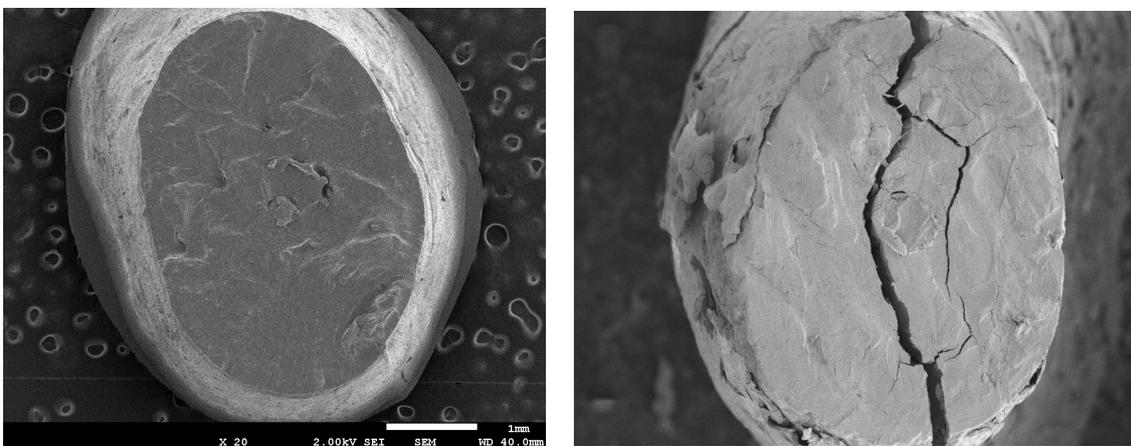
**Tabla 2.** Análisis de la presencia o ausencia de microfracturas en la superficie radicular de las réplicas.

La tabla 3 es una comparativa del diente natural con su respectiva réplica, los resultados obtenidos en la tabla 1 y 2.

<i>Dientes naturales y réplicas</i>	<i>Coincide</i>	<i>No coincide</i>
1		X
2		X
3		X
4		X
5		X
6		X
7		X
8		X
9		X
10		X

**Tabla 3.** Comparativa de la presencia o ausencia de microfracturas entre los dientes naturales y las réplicas.

A pesar de sólo ser un estudio piloto y tratarse de una muestra limitada, las diferencias obtenidas entre réplicas y dientes fueron muy evidentes (Fig. 7). De esta manera, nos parece lógico pensar en que era imprescindible realizar una réplica previa para hacer este tipo de estudios *in vitro*. La no utilización de réplicas podría llevar a una confusión evidente de los resultados, pues no sabríamos discriminar si las microfracturas producidas son debidas a la técnica utilizada por el MEB o realmente por la resección radicular u obturación retrógrada.



**Figura 7.** Comparativa superficie radicular de dientes naturales y réplicas mediante microfotografías del MEB. A: Réplica número 7 sin presencia de microfracturas. B: Diente natural número 7 con presencia de microfracturas.

## **5.2 Estudio piloto 2**

En el estudio piloto 2 quisimos comprobar la fiabilidad de la técnica de réplica mediante resina epoxi. Para ello, se recuperaron los 10 dientes naturales que fueron previamente sometidos al MEB en el estudio piloto 1; dientes todos ellos con microfracturas.

### **5.2.1 Confección de réplicas y preparación para el MEB**

Siguiendo la misma metodología anteriormente descrita, el investigador principal (G.D) realizó las réplicas de la superficie radicular de los 10 dientes del estudio piloto 1.

Una vez confeccionadas las réplicas, se procedió a la preparación como en el estudio previo. Éstas fueron recubiertas mediante arenado iónico de partículas de carbono (C) y platino (Pt). La realización del recubrimiento de estas partículas se llevó a cabo bajo presión de 0,01mbar.

Finalmente, se examinaron las réplicas en el MEB y se obtuvieron 10 microfotografías de la sección a analizar (Fig. 8). Ésta se compararon con las microfotografías de los dientes naturales del estudio piloto 1.

### **5.2.2 Análisis de la muestra**

El objetivo de comparar las microfotografías de las nuevas réplicas con las de los dientes naturales del estudio piloto 1 fue valorar la similitud de sus superficies radiculares en relación a las microfracturas.

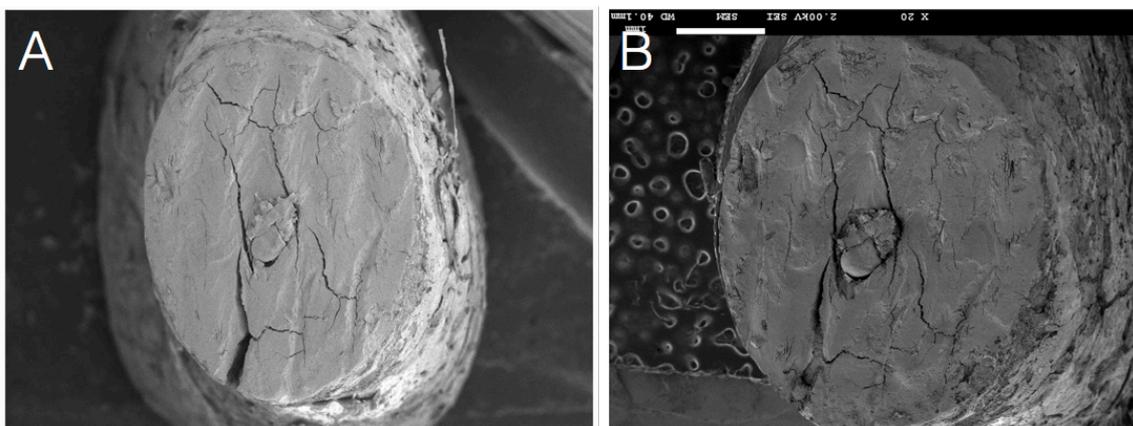
El análisis fue nuevamente realizado de forma individual y aleatoria por los mismos 3 observadores.

Para determinar la coincidencia de las microfracturas de las réplicas de resina epoxi respecto a los dientes naturales se clasificaron las muestras en:

- No coincidentes: ninguna similitud en la distribución de las microfracturas.
- Poco similares: microfracturas idénticas en uno o dos cuartos de la superficie radicular.
- Muy similares: microfracturas idénticas en tres cuartos de la superficie radicular.
- Idénticas: microfracturas idénticas en los cuatro cuartos de la la superficie radicular.

### 5.2.3 Resultados estudio piloto 2

Después del análisis de los 3 examinadores, se pudo observar que 6 de las muestras presentaron microfracturas totalmente idénticas, y que las 4 restantes fueron categorizadas como muy similares (Figura 8). La coincidencia de la réplica con el diente natural era tanto en número, extensión, forma y localización de la microfractura (Tabla 4). Los examinadores coincidieron completamente en sus valoraciones: índice kappa ( $k= 1$ ).



**Figura 8.** Análisis de la superficie radicular. A: Microfotografía del diente natural. B: Microfotografía de su réplica en resina epoxi.

Dientes naturales y réplicas	No coinciden	Poco similares	Muy similares	Idénticos
1			X	
2				X
3				X
4				X
5			X	
6				X
7				X
8			X	
9			X	
10				X

**Tabla 4.** Comparativa de microfracturas entre los dientes naturales y las réplicas de resina epoxi

El análisis estadístico se realizó mediante el Test exacto de Fisher. No hubo diferencias estadísticamente significativas entre las réplicas y los dientes naturales (p valor >0.05), por lo que el uso de réplicas con resina epoxi es un método totalmente fiable para reproducir las fracturas de un diente natural.

A partir de los resultados de los estudios piloto 1 y 2 pudimos establecer un protocolo y una metodología para realizar la fase experimental de nuestra investigación.

### 5.3 Estudio experimental

El estudio experimental se basó en la realización de dos investigaciones bajo el MEB. En estudio 1 se pretendió valorar la presencia de fracturas al realizar la resección radicular entre inserto específico piezoeléctrico y fresa de carburo de tungsteno con turbina. Mientras, que la finalidad del estudio 2 era observar la presencia también de microfracturas durante la preparación de la cavidad retrógrada entre inserto específico piezoeléctrico y punta de ultrasonidos.

### 5.3.1. Selección de la muestra

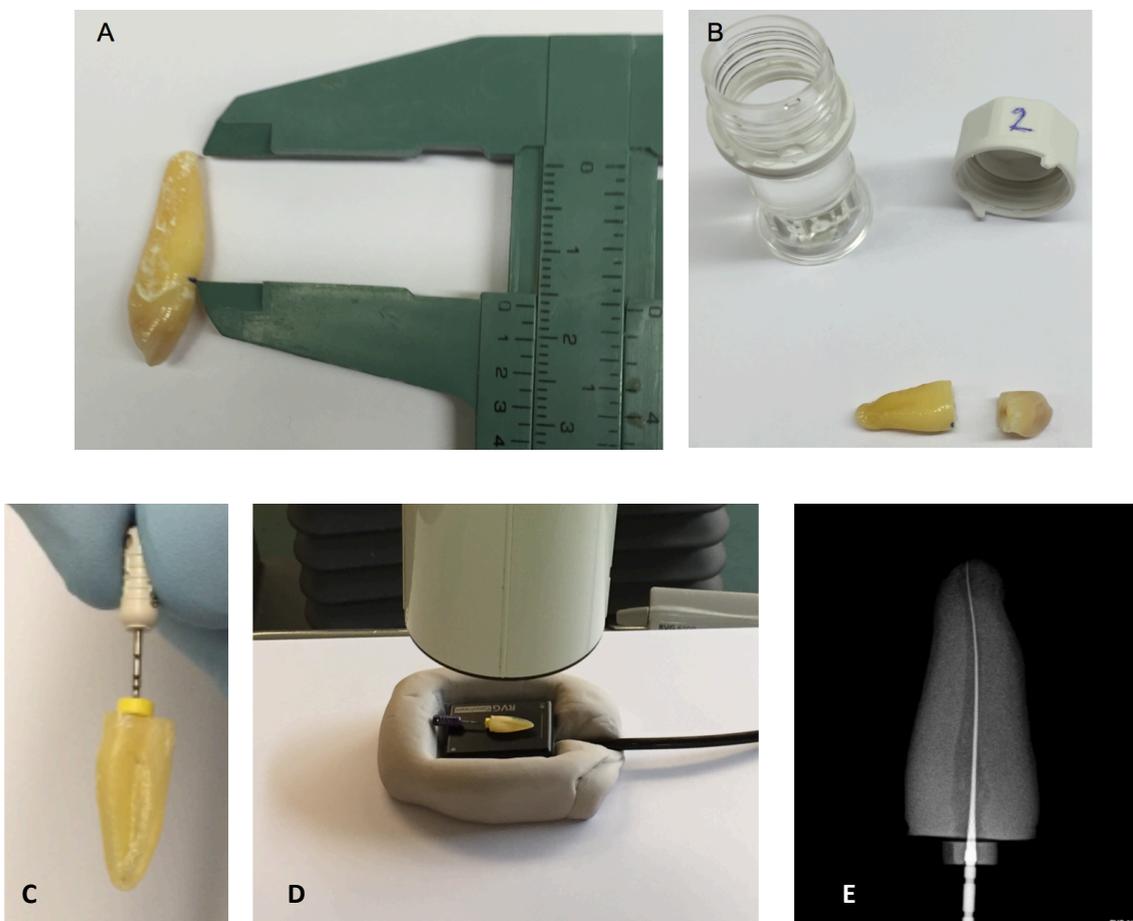
Tras la aprobación del estudio por el Comité Ético de Investigación de la Universitat Internacional de Catalunya (CEIC), se recolectaron inicialmente un total de 180 dientes para la realización de la parte experimental. Todos éstos fueron obtenidos a partir de extracciones realizadas por motivos periodontales u ortodónticos. Los dientes fueron limpiados con NaOCl al 4.2% durante 30 segundos y posteriormente conservados en suero fisiológico a 37°C. Una vez obtuvimos la muestra deseada, el investigador principal (G.D) examinó bajo el microscopio óptico (M900, DF Vasconcellos, Sao Paulo, SP, Brazil) todos los dientes descartando aquéllos que presentaban ápices inmaduros, reabsorciones, caries radiculares, tratamiento de conductos previos, obturaciones, microfracturas o algún tipo de línea de fractura. En esta primera fase se descartaron 2 dientes, por lo que los 178 restantes se distribuyeron entre los 2 grupos experimentales.



**Figura 9.** Ejemplo muestra grupo 1, almacenada individualmente en solución salina

### 5.3.2 Preparación de la muestra

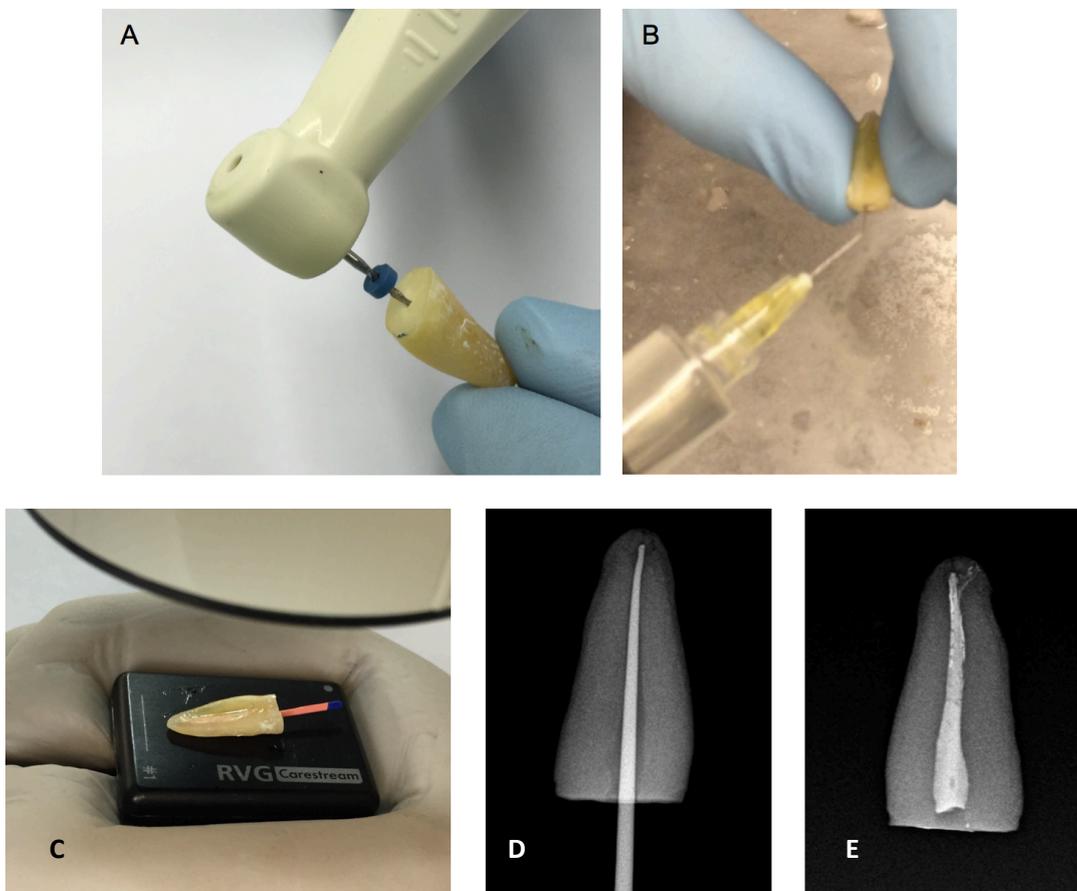
En primer lugar, con el objetivo de estandarizar todas las muestras, el investigador (G.D) cortó todos los dientes a la misma altura (16 mm) (Fig. 10 A, B). Posteriormente, se realizó la apertura cameral de los dientes con una fresa redonda de carburo de tungsteno (Dentsply-Maillefer Instruments, Ballaigues, Switzerland) ayudados de una fresa Endo Z (Dentsply International, York, USA). Seguidamente, se determinó la longitud de trabajo (LT) del conducto radicular. Para ello se utilizó una lima K#15 (Maillefer, Ballaigues, Switzerland) y una vez ésta salía a través del foramen apical se retrocedía 0.5 mm y se comprobaba mediante la realización de 1 radiografía (Kodak RVG 6100. KODAK Dental Systems, Carestream Health, Rochester, New York). (Fig. 10 C, D, E).



**Figura 10.** Estandarización muestra con pie de rey a 16mm (A, B). Determinación de la LT (C, D, E)

El investigador principal (G.D) instrumentó todos los conductos hasta un calibre 40/06 mediante el sistema ProTaper F4 Universal (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) (Fig.11 A). Se irrigaron los conductos entre lima y lima con NaOCl 4.2%, y se mantuvo la permeabilidad apical sobrepasando 1mm la LT con una lima K#10 (Fig .11 B).

La irrigación final consistió en una irrigación con EDTA 17 % y NaOCl 4.2% para remover el barrillo dentinario. Los conductos se secaron con puntas de papel calibradas a 40#, y posteriormente se obturaron con gutapercha no estandarizada (Autofit; SybronEndo, Ormco de México, SA. De CV.) mediante técnica termoplástica con cemento sellador AH-Plus (Dentsply DeTrey, Konstanz, Germany). Finalmente se comprobó radiográficamente la calidad de la obturación.



**Figura 11.** Instrumentación e irrigación de los conductos. (A, B). Rx de cronometría y final de la obturación de los conductos. (C, D, E).

### 5.3.3 Almacenaje de la muestra

Para la instrumentación y obturación de todos los dientes, los dientes era sacados únicamente e individualmente de su medio salino. Una vez finalizado este procedimiento, los dientes eran devueltos a su medio de conservación. De esta manera intentamos minimizar el factor deshidratación de la muestra.

### 5.3.4 Distribución de grupos

Los 178 dientes fueron distribuidos en 2 grupos en partes iguales con un total de 89 dientes por estudio. Esta distribución se realizó de manera equitativa teniendo en cuenta el tipo de diente (incisivos inferiores/superiores, caninos y premolares) (Tabla 5).

<i>Dientes</i>	<i>Estudio 1</i>	<i>Estudio 2</i>
Incisivos superiores	23	23
Incisivos inferiores	14	14
Caninos	15	15
Premolares	37	37

**Tabla 5.** Distribución de los dientes en los diferentes grupos de estudio

Sin embargo, durante la manipulación de las muestras se descartaron 10 dientes más por alteraciones del medio donde estaban almacenados. De esta manera, la distribución de los 168 dientes (muestra final) quedó de la siguiente manera:

#### **Estudio 1**

Grupo 1 (n= 44): resección apical mediante inserto específico de dispositivo piezoeléctrico OTS7-4. (Mectron, Carasco, Italy)

Grupo 2 (n= 44): resección apical mediante fresa de carburo de tungsteno. (Maillefer Zerky; Dentsply-Maillefer Instruments, Ballaigues, Switzerland).

El inserto OTS7-4 (Mectron, Carasco, Italy) está fabricado de acero inoxidable forjado y diseñados para acoplar con la pieza de mano. Asimismo, este inserto está recubierto por de nitruro de titanio, que aplicado a insertos, aumenta la dureza de la superficie, evita la corrosión y por lo tanto aumenta su vida útil. Este inserto está específicamente diseñado para realizar corticotomías. Aun así, el fabricante recomienda la utilización de éste para realizar la resección radicular.

## **Estudio 2**

Grupo 1: (n=40) preparación cavidad retrógrada con inserto específico de piezoeléctrico EN1 de 3 mm de profundidad.

Grupo 2: (n=40) preparación cavidad retrógrada con punta ultrasonidos EndoSuccess AS3D de 3 mm de profundidad.

El inserto específico de piezoeléctrico EN1 (Mectron, Carasco, Italy) de 3 mm de profundidad posee las mismas características que el anteriormente citado (OTS7-4). Además, tiene la particularidad que está revestido con diamantes especialmente diseñados para este tipo de tratamientos.

Por otro lado, utilizamos la punta de ultrasonidos EndoSuccess™ AS3D (ACTEON GROUP Satelec, Mount Laurel, NJ) de 3 mm. Esta punta también está fabricada de acero inoxidable, pero presenta un recubrimiento diamantado en los últimos 3 mm, por lo que está especialmente diseñada para realizar retropreparaciones. Según el fabricante, este tipo de diseño le otorga una mayor potencia de corte sin riesgo de crear microfracturas en las paredes dentinarias.

### **5.3.5 Procedimiento Estudio 1**

Una vez establecidos los diferentes grupos de estudio, se empezó con la fase experimental del estudio 1.

#### **Grupo 1 (n=44):**

El investigador principal (G.D) procedió a realizar la resección apical de los últimos 3mm mediante inserto específico de dispositivo piezoeléctrico Piezosurgery ® OTS7-4. (Mectron, Carasco, Italy) bajo constante irrigación de suero fisiológico de la propia unidad piezoeléctrica seleccionando el modo "CORTICAL". Para ello, se posicionó el diente de manera vertical y se realizó un corte siguiendo la dirección del eje perpendicular del diente.

Cada punta de inserto se utilizaba únicamente en 5 dientes con el objetivo de evitar resultados engañosos por el desgaste causado por el número de usos. Además, las puntas se utilizaban de forma intermitente con ciclos de 30 segundos para evitar un sobrecalentamiento de la punta.

#### **Grupo 2 (n=44):**

A continuación, se procedió con la resección radicular del resto de la muestra. En esta grupo, se realizó un corte perpendicular de los últimos 3 mm apicales del diente mediante fresa de carburo de tungsteno. (Maillefer Zerky; Dentsply-Maillefer Instruments, Ballaigues, Switzerland) bajo constante irrigación.

De igual manera, la fresas se utilizaron únicamente para 5 dientes para minimizar posibles alteraciones de la muestra debido al número de usos.

### **5.3.6 Procedimiento Estudio 2**

Para la realización de este segundo estudio se procedió de igual manera que para el grupo 1 del estudio 1. Los 80 dientes en este caso fueron cortados con inserto piezoeléctrico OTS7-4. Una vez finalizado el proceso de resección

radicular, se realizó las réplicas de dichos dientes. El objetivo de este paso era visualizar o descartar la muestra que presentara microfracturas y no alterar el resultado final. De esta manera, tuvimos que descartar 3 dientes, los cuales fueron reemplazados posteriormente.

#### **Grupo 1 (n=40):**

Una vez obtuvimos los dientes con la resección radicular, se procedió a su preparación retrógrada. En este Grupo 1, la cavidad retrógrada se realizó con inserto específico de piezoeléctrico EN1 de 3 mm de profundidad con constante irrigación y en el modo ENDO del dispositivo Piezosurgery ® (Mectron, Carasco, Italy) con ciclos de cómo máximo 30 segundos y hasta la remoción completa de gutapercha de esta porción.

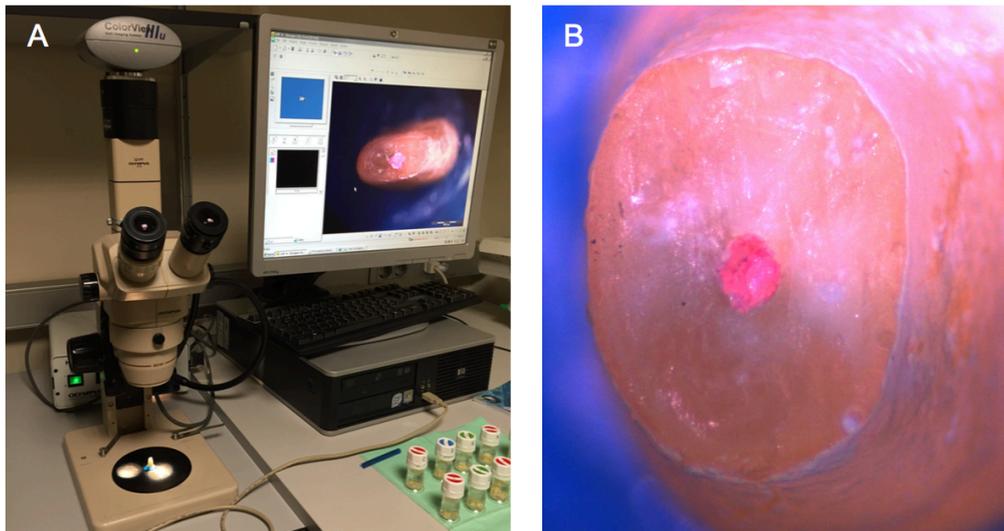
#### **Grupo 2 (n=40):**

En este caso la preparación de la cavidad retrógrada se realizó con punta ultrasonidos EndoSuccess™ AS3D (ACTEON GROUP Satelec, Mount Laurel, NJ). Esta punta de 3 mm de profundidad se utilizó con constante irrigación y con una potencia establecida en 7 con la unidad de ultrasonidos Satelec P5 Newtron XS ultrasonic unit (ACTEON GROUP Satelec, Mount Laurel, NJ) con ciclos de cómo máximo 20 segundos y hasta la remoción completa de gutapercha en esta porción.

Estos dos procedimientos para el grupo 1 y 2 se realizaron siempre bajo el microscopio operatorio (M900, DF Vasconcellos, Sao Paulo, SP, Brazil) y hasta una remoción completa de la gutapercha en los 3 mm de la cavidad.

#### **5.3.4 Parámetros a evaluar Estudio 1 y 2**

Antes de someter los dientes en el MEB se comprobó mediante microfotografías con el estereomicroscopio (Olympus SZ-PT Japan) a 25 X y 50 X que las muestras no presentaban ninguna microfractura. En el caso que presentaran alguna microfractura o líneas de fisura éstas eran descartadas. (Fig. 12 A, B). El investigador principal (G.D) no descartó ninguna muestra.



**Figura 12.** Análisis de la superficie radicular. Estereomicroscopio (Olympus SZ-PT Japan) y del campo operatorio. (A). Análisis de la superficie radicular. (B)

Posteriormente, se procedió con el vaciado. Para ello, se realizó la toma de impresión con silicona fluida de adición de polyvinilsiloxano (Impregnum Penta Soft, 3M ESPE) donde se colocó cada diente de forma perpendicular sobre una superficie de silicona pesada (Virtual® XD: Putty Fast Set Refills, Ivoclar Vivadent) y se cubrió la zona más apical. Se dejó fraguar durante 4 minutos y se retiraron los dientes del interior obteniendo el negativo de cada uno. (Fig. 13).



**Figura 13.** Confección de las réplicas. Impresión con silicona de adición de polyvinilsiloxano (Impregnum Penta Soft, 3M ESPE).

Posteriormente para el vaciado, se realizó la mezcla de resina epoxi (EpoxiCure, Buehler, An ITW Company 41 Waukegan Road Lake Bluff, Illinois 60044 USA), con 5 partes de resina y 1 parte del activador, y se vertió en cada una de las impresiones, dejándola fraguar durante 6 horas obteniendo las réplicas (positivo) de los dientes (Fig. 14).



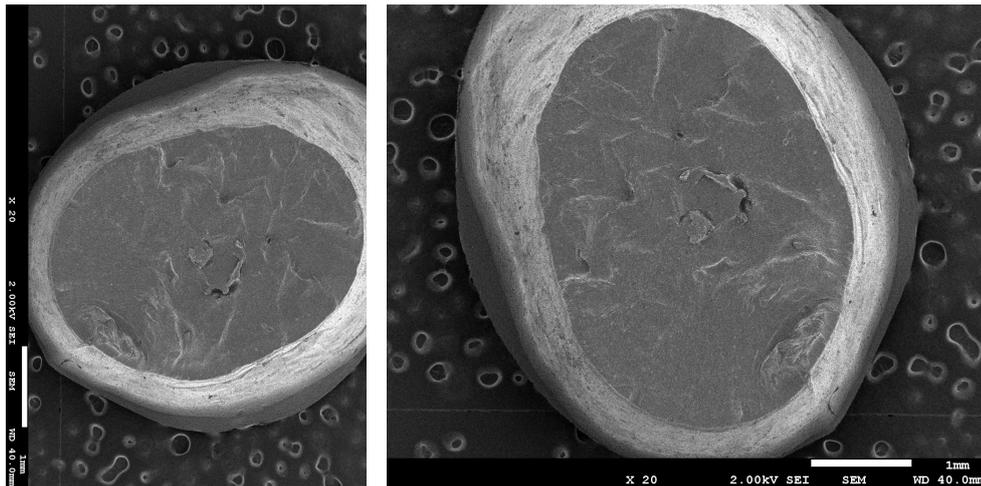
**Figura 14.** Confección de las réplicas. Vaciado mediante resina epoxi (EpoxiCure, Buehler, An ITW Company 41 Waukegan Road Lake Bluff, Illinois 60044 USA)

Una vez confeccionadas las réplicas, éstas fueron recubiertas mediante arenado iónico de partículas de carbono (C) y platino (Pt). La realización del recubrimiento de estas partículas se llevó a cabo bajo presión de 0,01mbar. (Fig. 15).



**Figura 15.** Arenado iónico de partículas de carbono (C) y platino (Pt) a 0,01mbar.

Finalmente se examinaron las réplicas en el MEB (JEOL JSM-700 1F Gute Änger 30 DE-85356 Freising, Germany) y se obtuvieron microfotografías de la sección a analizar (Fig 16).



**Figura 16.** Análisis superficie radicular. A: MEB (JEOL JSM-700 1F Gute Änger 30 DE-85356 Freising, Germany). B: Microfotografía de la sección radicular (X20).

Las microfotografías obtenidas por el MEB (JEOL JSM-700 1F Gute Änger 30 DE-85356 Freising, Germany) fueron examinadas para valorar la presencia o ausencia de las microfracturas en la sección de la superficie radicular (10X), (20X), (100X), (200X) y (350X).

Este análisis fue realizado de nuevo de forma individual y aleatoria por los mismos tres observadores el mismo día, dos de ellos expertos en endodoncia y cirugía apical y el tercero, experto en microscopía. Los observadores fueron calibrados previamente mediante la observación de 10 imágenes que correspondían a un análisis de MEB (20 X) de apicectomías en las que se podía observar la presencia o ausencia de microfracturas.

Una vez realizado el MEB y analizadas las microfotografías se valoraron los siguientes parámetros:

#### **Para el estudio 1 y 2**

- Presencia o ausencia de microfracturas

## **5.4 Análisis estadístico**

Para realizar el análisis estadístico se recogieron los datos en hojas de cálculo de Excel siendo "1" presencia de fracturas y "0" ausencia de fracturas. Posteriormente se analizaron con el programa estadístico StatGraphics Centurion XV (Stat Point Technologies Inc, Warrenton, Virginia, USA) mediante el análisis estadístico ANOVA Multifactorial. Se aceptaron como estadísticamente significativos aquellos datos que tuvieron un p valor  $< 0.05$ .

## **6. RESULTADOS**

### 6.3 Resultados estudio 1

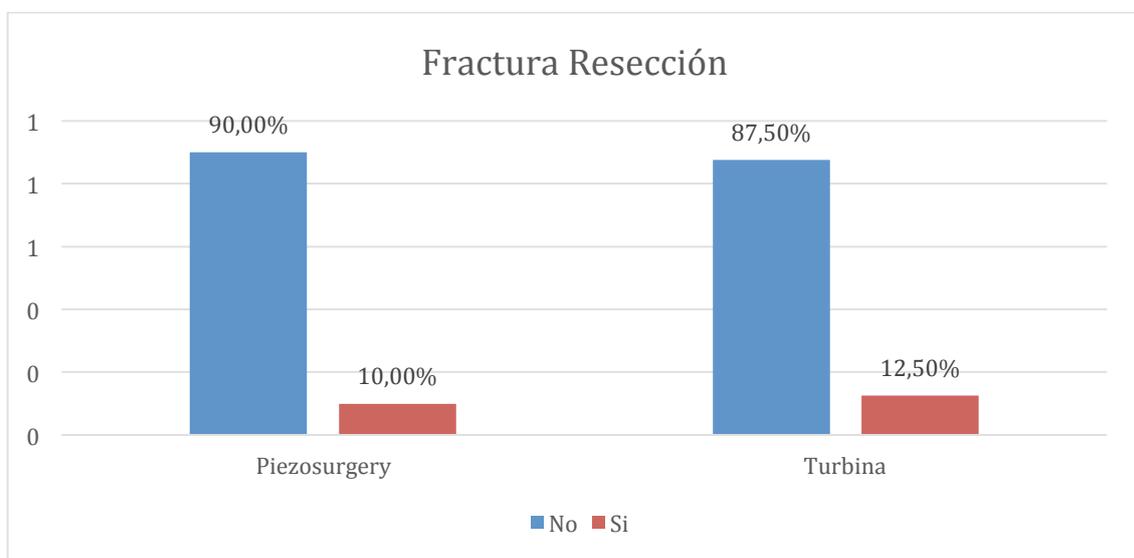
De un total de 88 de muestras, 8 fueron descartadas por diversos motivos tales como evaporización del medio salino o bien fractura del diente mientras se realizaba la resección. Por tanto obtuvimos un total de 80 (n=40).

En el Grupo 1 (n=40) resección de los últimos 3 mm de la porción apical del diente mediante inserto OTS7-4 de Piezosurgery hubieron 4 dientes (10%), que presentaron algún tipo de microfractura. Mientras que para el grupo 2 (n=40) con fresa de carburo de tungsteno, 5 dientes (12.5%) presentaron algún tipo de fractura tras la inspección en el MEB. (Tabla 6)

Lo que con un p-valor de  $0.723 > 0.05$  en el test  $\chi^2$  de Pearson que no hay diferencias significativas en cuanto al porcentaje de fracturas que se ha producido entre ambos grupos.

Grupo	Fractura Resección	
	No	Si
Piezosurgery	36 (90,00 %)	4 (10,00 %)
Turbina	35 (87,50 %)	5 (12,50 %)
<b>Total</b>	<b>71 (88,80 %)</b>	<b>9 (11,30 %)</b>

**Tabla 6.** Tabla de contingencia resultados para Estudio 1



**Figura 17.** Resultados para resección, Estudio 1

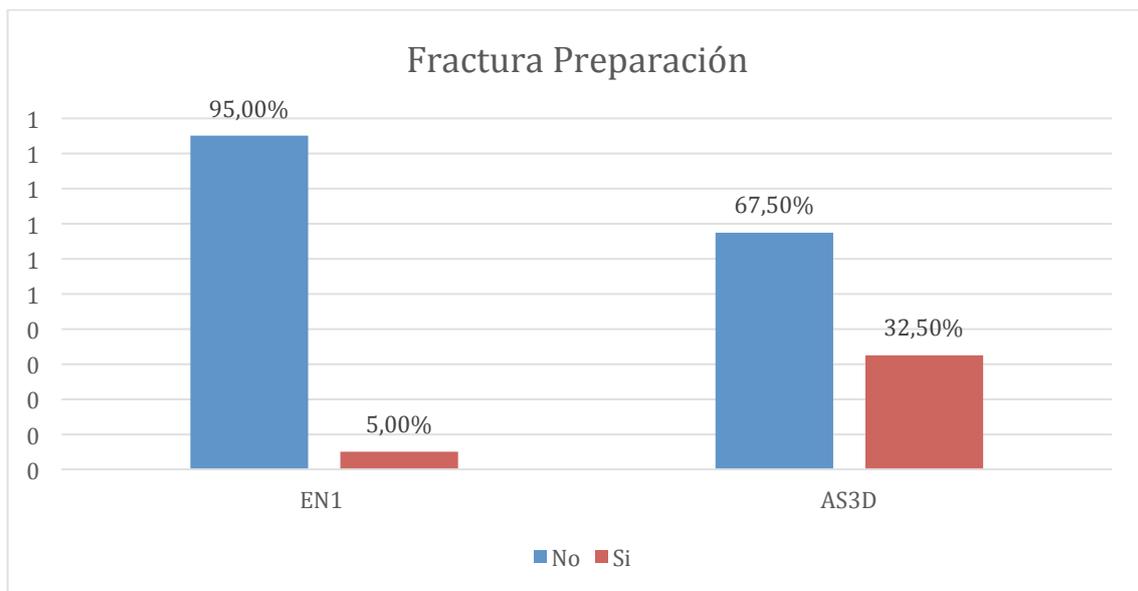
## 6.4 Resultados estudio 2

De un total de 80 dientes preparados, para el grupo 1 (n=40) EN1 se observaron únicamente 2 dientes (5%) con presencia de fracturas. Mientras que para el grupo 2 AS3D observamos 13 dientes (32.5%) que presentaban fracturas en la superficie radicular analizada. (Tabla 7)

Lo que con un p-valor de  $0.002 < 0.05$  en el test  $\chi^2$  de Pearson se demuestra que hay diferencias significativas en cuanto al porcentaje de fracturas que se ha producido siendo este superior cuando la preparación es AS3D.

Grupo	Fractura Preparación	
	No	Si
EN3	38 (95,00 %)	2 (5,00 %)
AS3D	27 (67,50 %)	13 (32,50 %)
<b>Total</b>	<b>65 (81,25 %)</b>	<b>15 (18,75 %)</b>

**Tabla 7.** Tabla de contingencia resultados para Estudio 2



**Figura 18.** Resultados para preparación cavidad retrograda, Estudio 2

## **7. DISCUSIÓN**

Según las últimas revisiones sistemáticas de la literatura, la microcirugía apical es una técnica endodóntica que presenta unos porcentajes de éxito superiores al 90% (5, 39, 46). Setzer y cols.(46) realizaron una revisión en la que compararon el éxito de la cirugía endodóntica tradicional versus la microcirugía endodóntica. Analizaron un total de 21 artículos que cumplieran los criterios de inclusión y obtuvieron una diferencia estadísticamente significativa entre ambos tratamientos. Los autores concluyeron que el uso de técnicas microquirúrgicas es ampliamente superior y más predecible en comparación con la técnicas tradicionales de cirugía endodóntica. Es por ello, que en los últimos años la microcirugía apical ha adquirido un mayor protagonismo, especialmente en la toma de decisiones de las diferentes opciones de tratamiento a la hora mantener o extraer un diente.

La toma de decisión es uno de los aspectos más desafiantes y complicados en el ámbito odontológico, particularmente cuando nos encontramos ante un fracaso endodóntico. La selección de una adecuada opción de tratamiento es a menudo compleja y puede basarse más en valores y experiencias personales. Rodriguez y cols. (87) realizaron un análisis objetivo de los beneficios, los riesgos, el coste, el pronóstico y las alternativas del tratamiento y determinaron la influencia de la tomografía computarizada de haz cónica (TCHC) en la toma de decisión entre diferentes especialistas (prostodoncistas, endodoncistas, cirujanos orales y periodoncistas) en la planificación de un tratamiento endodóntico. La visualización previa de una TCHC obtuvo un impacto sustancial en la toma de decisión de casos endodónticos, sobre todo aquellos de alta dificultad. Los especialistas alteraron su plan de tratamiento después de ver la TCHC en un 27.3% de los casos. Es decir, resulta imprescindible tener en cuenta todos aquellos aspectos que puedan incrementar el éxito de la técnica de microcirugía apical.

Existen numerosas investigaciones que han evidenciado la formación de microfracturas en las paredes de la dentina después de la resección radicular y/o de la preparación retrógrada (9, 55-62). Rainwater y cols. (59), Gondim Jr y cols. (61), Paz y cols. (62), y Bernardes y cols. (72) observaron que con el uso de

ultrasonidos se producen microfracturas dentinarias. Estos hallazgos coinciden con los resultados obtenidos en nuestro estudio.

Está demostrado que la presencia de microfracturas en alguna de las fases de microcirugía apical puede afectar de forma negativa el éxito del tratamiento (11). Estos defectos dentinarios en los conductos radiculares pueden propagarse de forma longitudinal, crear una microfiltración bacteriana y por tanto, conducir a fracaso endodóntico (12-14). No obstante, la significancia clínica de los defectos dentinarios ha sido durante muchos una pura especulación.

La repercusión clínica de la presencia de microfracturas en las paredes del conducto no había sido investigada hasta que en el año 2015 Tawil y cols. (11) evaluaron el éxito de la microcirugía apical. Estos autores realizaron la microcirugía apical de 155 dientes utilizando el mismo protocolo y bajo magnificación. Después de la resección radicular de los ápices, evaluaron la presencia o ausencia de defectos dentinarios. En el primer año, los autores realizaron un seguimiento de 134 dientes, siendo de 127 a los 3 años. En el grupo “intacto” (ausencia de defectos dentinario) se obtuvo una curación del 94.8% en el primer año, y del 97.3 % a los 3 años. En el grupo “defecto dentinario” (presencia de microfracturas) el porcentaje de éxito en el primer año fue tan sólo de 29.8%, subiendo hasta 31.5% a los 3 años. Por tanto, es evidente la significancia clínica de las microfracturas o defectos dentinarios en el éxito final de la microcirugía apical.

En la literatura podemos encontrar diferentes metodologías para el análisis de las microfracturas: lupas de magnificación o microscopio óptico (11), estereomicroscopio (7), y MEB (7, 10). Es concretamente von Arx y cols.(7) en el año 2010, quienes demostraron que el MEB tiene una mayor sensibilidad, respecto a otras técnicas, en la identificación de estas fracturas. Estos autores sugieren que técnicas como el microscopio óptico pueden inducir a falsos positivos, por tanto, a importantes errores en la interpretación de los resultados. En base a estos hallazgos, toda la fase experimental de nuestro estudio se basa en el análisis de la micromorfología de la superficie apical mediante el MEB. Éste nos ha permitido

realizar microfotografías de grandes aumentos tanto de dientes como de réplicas, facilitando la evaluación por parte de los observadores (86).

Uno de los principales problemas que nos hemos encontrado en el diseño de esta tesis doctoral es que todas las investigaciones previas utilizaban réplicas; sin embargo, en ninguna demostraban cómo utilizar esta técnica, ni especificaban como se hacían estas réplicas, y si éstas son un método fiable para reproducir alteraciones dentinarias. Es por ello, que previo a la realización de la fase experimental realizamos los estudios piloto 1 y 2.

En el estudio piloto 1 quisimos comprobar la importancia de utilizar una técnica indirecta (réplica) en lugar de una directa, pues según nuestro conocimiento no hay ningún artículo que haya evidenciado la necesidad de realizar réplicas. A pesar que el uso de réplicas es prácticamente unánime en las publicaciones, los resultados de este estudio piloto nos confirmó que toda la fase experimental se debería hacer mediante la técnica indirecta.

A partir de los resultados del estudio piloto 2, pudimos verificar que la técnica indirecta mediante réplicas es un sistema fiable, ya que nos reprodujo prácticamente todas la microfracturas de los dientes. De esta forma, nos aseguramos que la forma en que nosotros realizamos las réplicas mediante resina epoxi era un método adecuado. Ningún artículo publicado previamente especifica claramente cómo hacer este procedimiento, como tampoco verifica si su forma de hacer estas réplicas copia adecuadamente la superficies de los dientes a estudiar.

La resina epoxi que utilizamos para el vaciado fue la EpoxiCure (Buehler, An ITW Company 41 Waukegan Road Lake Bluff, Illinois 60044 USA), y pudimos verificar que es una resina totalmente válida para la confección de réplicas debido a su elevada viscosidad, elevada capacidad de reproducción de detalles, alta estabilidad dimensional y compatibilidad con el material de impresión (80, 86).

Además, para una correcta impresión se debe colocar la silicona fluida sobre el diente, esparcirla e ir añadiendo material para aumentar su grosor y evitar

así su fractura. Posteriormente, esta impresión se debe limpiar con etanol y secar después de retirar la impresión. Entonces se vacía con la resina epoxi caliente para evitar que se produzcan burbujas (74). Durante la confección de las réplicas pudimos comprobar que se trata de un método muy técnico-sensible, pues tuvimos que repetir en varias ocasiones el proceso de replicado.

Después de los estudios pilotos, pasamos con la fase experimental de nuestra investigación. Utilizamos un total de 168 dientes, una muestra claramente superior a las principales investigaciones en este campo como las de Del Fabbro y cols. (13), y Gondim Jr (61). Además, a diferencia de otros estudios que no se especifican la metodología utilizada, nuestras muestras siempre fueron conservadas en óptimas condiciones: suero fisiológico a 37°C, y manipuladas cuidadosamente evitando que la zona a estudiar quedara dañada o alterada. Diversas investigaciones han evidenciado alteraciones en la dentina debidas a las tensiones ejercidas durante la extracción del diente, la incorrecta preparación de la muestra previa a la observación bajo el MEB, y también al almacenamiento inapropiado del mismo (13). Está demostrado que la deshidratación posterior a la extracción del diente puede producir con facilidad microfracturas en la dentina radicular (47). Por tanto, cualquier estudio que utilice dientes extraídos debe tener en cuenta que si éstos están secos y/o deshidratados pueden producirse artefactos como microfracturas, pequeñas formaciones de fisuras y contracciones dentinarias (7,36,39,44,50-52).

Para poder visualizar las muestras en el MEB éstas tienen que ser recubiertas mediante un arenado iónico de partículas (48, 74 ,81). En este caso fue mediante carbono (C) y platino (Pt). La realización del recubrimiento de estas partículas se llevó a cabo bajo presión de 0,01mbar. Antes de introducir las muestras en el MEB, es muy importante realizar un vacío en la cámara interna (80,81). Para poder realizar este procedimiento de vacío, las muestras deben estar totalmente secas; por ello, todos los dientes y las réplicas fueron secadas durante 24 horas (60°C). Es justamente este procedimiento de deshidratación, con la posterior presión que se les ejerce al crear el vacío en la cámara interna del MEB, el que probablemente cause las microfracturas que observamos en el estudio piloto 1.

Una de las posibles críticas que se podría realizar a nuestra investigación, tal y como comenta Gondim Jr y cols. (61), es que el hecho de realizar el tratamiento endodóntico previo puede modificar la anatomía original del conducto, y provocar microfracturas. No obstante, si no lo hubiéramos hecho, nos estaríamos alejando drásticamente de una situación clínica real. Por lo general, todos los dientes en que realizamos una microcirugía apical tienen realizado el tratamiento de conductos. Es por ello que creímos totalmente conveniente instrumentar y obturar previamente todas las muestras tal y como lo hacen los estudios de Peters y cols. (60) y Berbert y cols, (79).

Antes de valorar y comparar el uso de ultrasonidos e insertos piezoeléctrico en relación a la presencia de microfracturas, creímos conveniente también valorar si durante la resección radicular se producen alteraciones. En nuestra investigación, se comparó un inserto de piezoeléctrico y fresas de carburo de tungsteno mediante turbina. Berbert y cols. observaron que tras la resección radicular, ya sea con fresa de carburo de tungsteno o piezoeléctrico, se producen microfracturas en las muestras.

En estudio previos, donde han analizado la calidad de la preparación de la cavidad retrógrada no tienen en cuenta el factor “resección radicular”. Puesto que tras una exploración con el microscopio óptico o con el estereomicroscopio de la resección realizada, únicamente analizan en el MEB las fracturas producidas en la cavidad retrógrada (2,13, 84)

Por tanto, es difícilmente justificable que algunas investigaciones observen directamente la superficie dentinaria tras la obturación retrógrada, sin comprobar que las microfracturas ya estuvieran presentes después de la resección radicular (13). Es por ello, que en nuestro segundo estudio experimental realizamos un MEB previo a la retropreparación. De esta manera, pudimos visualizar si existían dichas microfracturas y descartarlas para obtener falsos positivos.

En estudios previos donde han analizado la calidad de la preparación de la cavidad retrógrada no tienen en cuenta el factor “resección radicular”. Puesto que tras una exploración con el microscopio óptico o con el estereomicroscopio de la

resección realizada, analizan directamente en el MEB las fracturas producidas en la cavidad retrógrada (2,13, 84)

En nuestra investigación, tras la resección de los últimos 3 mm de la porción apical mediante inserto OTS7-4 de Piezosurgery hubieron 4 dientes (10%) que presentaron algún tipo de microfractura; resultados muy similares a los que obtuvimos con el grupo con fresa de carburo de tungsteno (12.5%). Estos resultados son muy similares a los obtenidos por los grupos de Taschieri y cols. (55) y Berbert y cols. (79).

El siguiente paso u objetivo de nuestra investigación fue verificar realmente si los ultrasonidos producían microfracturas, y observar si el piezoeléctrico podría solventar este problema. El artículo de Del Fabbro y cols. (13) es el primero que utilizan el dispositivo piezoeléctrico para la preparación retrógrada, y obtienen que el modo de vibración constante bajo irrigación es el que menos microfracturas produce. En nuestro estudio, utilizamos únicamente el modo ENDO (Piezosurgery-Mectron, Carasco, Italy) pues es el que recomienda el fabricante y el que utilizan la mayoría de clínicos cuando realizan una microcirugía apical. Además, nuestro objetivo primordial no era este; nosotros nos centramos en ver si existían diferencias entre ultrasonidos y piezoeléctrico.

Los resultados de la segunda parte de nuestra investigación evidenciaron grandes diferencias en la preparación de la cavidad retrógrada. Para el grupo 1 (inserto piezoeléctrico; EN1) se observaron únicamente 2 dientes (5%) con presencia de microfracturas. En cambio, en el grupo 2 (punta ultrasónica; AS3D) se observamos un total de 13 dientes (32.5%) que con microfracturas en la superficie radicular. Aunque estas diferencias nos hacen recomendar al clínico el uso de insertos de piezoeléctrico para realizar la cavidad retrógrada, nos resulta complicado hacer una comparativa con otros estudios. Según nuestro conocimiento, no existe en la literatura ningún otro estudio que haya realizado esta comparación utilizando esta metodología.

Calzonetti y cols. (76) sugieren que este tipo de investigaciones se podrían hacer en cadáveres frescos. Estos autores realizaron la impresión de la superficie a estudiar en dientes preparados en cadáveres y así poder analizar la superficie en el MEB. Analizaron directamente la impresión en negativo con silicona de polyvinilsiloxano metalizada (arenado de partículas) previamente y observaron las microfracturas. Con ello, concluyeron que la presencia de tejidos periodontales puede favorecer la manipulación de los especímenes ya que absorbe la vibración y minimiza los artefactos. La desventaja de esta técnica es que es muy difícil de llevar a cabo, por lo que la mayoría de estudios se realizan de forma *in vitro* como es el caso de la presente investigación.

Por otra parte, la metodología utilizada para el análisis con MEB en la presente investigación, presenta algunos inconvenientes. Siempre se tiene que metalizar (arenado de partículas) el espécimen antes de analizarlo en el MEB. Esto hace que la muestra tenga menos resolución que otras técnicas como el microscopio electrónico de transmisión (TEM) (28). Éste nos permite observar los especímenes a lo largo de su espesor. Asimismo el MEB solo permite observar la superficie del espécimen, ya que al estudiar una superficie bidimensional no podemos observar la adaptación del material en las tres dimensiones del espacio (13,85).

En cuanto a la metodología diseñada para cada estudio de la fase experimental de esta investigación, no se tuvieron en cuenta diferentes aspectos. La variable tiempo, objeto de estudio en otras investigaciones previas (2,83), no fue considerada puesto que era evidente que la realización de la resección radicular así como la cavidad retrógrada es más lenta con dispositivo piezoeléctrico.

Como conclusión y para responder a la hipótesis planteadas, podemos aceptar la hipótesis nula que la resección apical con inserto piezoeléctrico produce igual o más microfracturas en la superficie radicular en comparación al uso de fresa de carburo de tungsteno. Y para el estudio 2 podemos rechazar la hipótesis nula de que la preparación de la cavidad retrógrada con inserto piezoeléctrico EN1

(Mectron, Carasco, Italy), produce igual o más microfracturas en la superficie radicular en comparación al uso de puntas de ultrasonidos EndoSuccess™ AS3D (ACTEON GROUP Satelec, Mount Laurel, NJ) de 3 mm.

## **8. CONCLUSIONES**

## **8.1 Conclusión principal del estudio**

Para responder al objetivo principal del estudio, concluimos que de un total de 160 dientes se produjeron 24 (6,66%) microfracturas en la superficie radicular durante la resección radicular y la preparación retrógrada

## **8.2 Conclusiones para los objetivos secundarios**

En cuanto a los objetivos específicos de la investigación, en la comparación de la presencia de microfracturas que se producen en la superficie radicular después de la resección radicular. Obtuvimos un total de 5 microfracturas (12.5%) con fresa de carburo de tungsteno y un total de 4 microfracturas (10%) con el inserto piezoeléctrico.

Por otro lado, determinamos la presencia de 13 microfracturas (32.5%) producidas en la superficie radicular después de la preparación de 3mm de la cavidad retrógrada entre puntas de ultrasonidos y un total de tan solo 2 (5%) con inserto específico piezoeléctrico.

## **9. PERSPECTIVAS DE FUTURO**

Los resultados de esta tesis doctoral nos animan a continuar con el estudio de microfracturas con diferentes dispositivos y variables. Por ello creemos que podría ser interesante aplicar la metodología de este estudio para realizar el análisis con cadáveres frescos como han sugerido otros autores. De esta manera quizá podríamos obtener unos resultados más parecidos a una situación clínica.

En esta misma línea sería, apropiado incorporar las variables tiempo y calor durante las preparaciones de la resección y cavidad retrógrada.

Se nos ocurre también la posibilidad de analizar o valorar la remoción de diferentes materiales (sistemas de obturación termoplástica con vástago, MTA) de manera retrógrada.

## **10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Nair, Persistent apical periodontitis. *Int Endod J*, 2006. 39: p. 249-281.
2. Bernardes RA, de Souza Junior JV, Duarte MA, de Moraes IG, Bramante CM. Ultrasonic Chemical Vapor Deposition-coated Tip versus High- and Low-speed Carbide Burs for Apicoectomy: Time Required for Resection and Scanning Electron Microscopy Analysis of the Root-end Surfaces. *J Endod*. 2009;35:265-8.
3. Kim S and Kratchman S. Modern Endodontic Surgery Concepts and Practice: A Review. *J Endod*. 2006;32:601-23
4. Guttman JL, Harrisson JW. *Surgical Endodontics*. St Louis, MO: Ishiyaku Euromamarica, Inc; 1994:183-277
5. Tsesis I, Rosen E, Taschieri S, et al. Outcomes of surgical endodontic treatment performed by a modern technique: an updated meta-analysis of the literature. *J Endod* 2013;39:332-9.
6. Ramón Rodríguez-Martos , Daniel Torres-Lagares , Lizett Castellanos-Cosano , María-Angeles Serrera- Figallo , Juan-José Segura-Egea , Jose-Luis Gutierrez-Perez Evaluation of apical preparations performed with ultrasonic diamond and stainless steel tips at different intensities using a scanning electron microscope in endodontic surgery. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal*. 2012;1;17:988-93.
7. von Arx T, Kunz R, Schneider AC, Bürgin W, Lussi A. Detection of dentinal cracks after root-end resection: an ex vivo study comparing microscopy and endoscopy with scanning electron microscopy. *J Endod*. 2010;36:1563-8.
8. Abella F, de Ribot J, Doria G, Duran-Sindreu F, Roig M. Applications of Piezoelectric Surgery in Endodontic Surgery: A Literature Review. *J Endod* 2014 3;40(3):325-332.
9. Waplington M, Lumley PJ, Walmsley AD. Incidence of root face alteration after ultrasonic retrograde cavity preparation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontol* 1997;83:387.
10. Gutmann JL, Saunders WP, Nguyen L, et al. Ultrasonic root end preparation: part 1-SEM analysis. *Int Endod J* 1994;27:318-24.
11. Tawil Peter Z, Saraiya, Veeral M, Galicia Johnah C. and Duggan Derek J. Periapical Microsurgery: The Effect of Root Dentinal Defects on Short- and Long-term Outcome. *J Endod* 2014. Volume 41, Issue 1, 2015, Pages 22-27

12. Pavlíková G, Foltan R, Horka M, et al. Piezosurgery in oral and maxillofacial surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2011;40:451-7.
13. Massimo Del Fabbro, Igor Tsesis, Gabriele Rosano, Monica Bortolin, Silvio Taschieri. Scanning Electron Microscopic Analysis of the Integrity of the Root-end Surface after Root-end Management Using a Piezoelectric Device: A Cadaveric Study. *J Endod* 2010;36:1693-1697.
14. Kettering JD, T.M., "Microbiología e inmunidad" en *Vías de la Pulpa*. 7ª ed. 1999, España: Hartcourt. 439-451
15. Möller AJR, F.L., Dahlen G, Öhman AE, Heyden G, Influence on periapical tissues of indigenous oral bacteria and necrotic pulp tissue in monkeys. *Scandinavian Journal of Dental Research* 1981. 89: 475-84.
16. Kakeshasi S, S.H., Fitzgerald RJ., The effects of surgical exposures of dental pulps in germ-free and conventional laboratory rats. *Oral Surg, Oral Med, Oral Pathol.*, 1965. 20(3): 340-349.
17. Haapasalo M, U.T., Endal U, Persistent, recurrent, and acquired infection of the root canal system post-treatment. *Endodontic Topics* 2003. 6: 29-56.
18. Nair, P., Non-microbial etiology: foreign body reaction maintaining post-treatment apical periodontitis. *Endodontic Topics*, 2003. 6: 14-34.
19. Saunders WP, S.E., Coronal leakage as a cause of failure in root-canal treatment therapy: review. *Endod Dent Traumatol*, 1994. 10: 105-108.
20. Nair, P., Pathogenesis of apical periodontitis and the causes of endodontic failures. *Crit Rev Oral Biol Med* 2004. 15: 348-381.
21. Siqueira, J., Aetiology of root canal treatment failure: why well-treated teeth can fail. *Int Endod J*, 2001. 34: p. 1-10.
22. Siqueira, J., Periapical actinomycosis and infection with *Propionibacterium Propionicum*. *Endodontic Topics*, 2003. 6: 78-95.
23. Nair, P., Non-microbial etiology: periapical cysts sustain post-treatment apical periodontitis. *Endodontic Topics* 2003. 6: 96-113.
24. Sjögren U, F.D., Persson S, Sundqvist G, Influence of infection at the time of root filling on the outcome endodontic treatment of teeth with periapical periodontitis. *Int Endod J*, 1997. 30: 297-306.

25. Sundqvist G, F.D., Persson S, Sjögren U, Microbiologic analysis of teeth with failed endodontic treatment and the outcome of conservative re-treatment. *Oral Surg, Oral Med, Oral Pathol, Oral Endod*, 1998. 85: 86-93.
26. Nair PN, H.S., Cano V, Vera J, Microbial status of apical root canal system of human mandibular first molars with primary apical periodontitis after "one-visit" endodontic treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2005. 99(2): 231-52.
27. Nair PNR, S.U., Krey G, Kahnberg K, Sundqvist G, Intraradicular bacteria and fungi in root-filled, asymptomatic human teeth with therapy-resistant periapical lesions:a long-term light and electron microscopic follow-up study. *J Endodon*, 1990. 16(12): 580-8.
28. Siqueira JF, M.A., Silveira RM, Lopes HP, de Uzeda M. , Evaluation of the effectiveness of sodium hypochlorite used with three irrigation methods in the elimination of *Enterococcus faecalis* from the root canal, in vitro. *Int Endod J*, 1997. 30(4): 279-82.
29. Buck RA, E.D., Staat H, Scheetz P, Effectiveness of three endodontic irrigants at various tubular depths in human teeth. *J Endodon*, 2001. 27: 206-8.
30. Siqueira JF, R.I., Santos SR, Lima KC, Magalhaes FA, de Uzeda M., Efficacy of instrumentation techniques and irrigation regimens in reducing the bacterial population within root canals. *J Endod*, 2002. 28(3): 181-4.
31. Lin LM, P.E., Skribner J, Gaengler P, Langeland K, Clinical, radiographic, and histologic study of endodontic treatment failures. *Oral Surg, Oral Med, Oral Pathol, Oral Endod*, 1991. 71: 603-11.
32. Friedman S, Mor C. The success of endodontic therapy—healing and functionality. *J Calif Dent Assoc* 2004;32:493–503)
33. Friedman S1, Abitbol S, Lawrence HP. Treatment outcome in endodontics: the Toronto Study. Phase 1: initial treatment. *J Endod*. 2003; 29(12):787-93
34. Endodontic treatment statistics. American Association of Endodontists; 2006. Available at: <http://www.aae.org/about-aae/newsroom/endodontic-treatment-statistics.aspx>. Accessed November 15, 2014.
35. Pinheiro, E.T., Gomes, B.P., Ferraz, C.C. et al, Microorganisms from canals of root-filled teeth with periapical lesions. *Int Endod J*. 2003;36:1–11.

36. Costerton, J.W., Lewandowski, Z., Caldwell, D.E. et al, Microbial biofilms. *Annu Rev Microbiol.* 1995;49:711–745.
37. Ingle, J.I., Bakland, L.K., Baumgartner, J.C. *Endodontics.* 6th ed. BC Decker, New York; 2008
38. Orstavik, D., Pitt-Ford, T.R. *Essential Endodontology. Prevention and Treatment of Apical Periodontitis.* 2nd ed. Wiley Blackwell, New York; 2008.
39. Torabinejad, M., Corr, R., Handysides, R., Shabahang, S. Outcomes of nonsurgical retreatment and endodontic surgery: a systematic review. *J Endod.* 2009;35:930–937.
40. Löst C, Dummer PM. European Society of Endodontology: position statements *Int Endod J.* 2014;47(6):501
41. Friedman, S. The prognosis and expected outcome of apical surgery. *Endod Topics.* 2005;11:219–262.
42. Rahbaran, S., Gilthorpe, M.S., Harrison, S.D., Gulabivala, K. Comparison of clinical outcome of periapical surgery in endodontic and oral surgery units of a teaching dental hospital: a retrospective study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2001;91:700–709.
43. Barone, C., Dao, T.T., Basrani, B.B., Wang, N., Friedman, S. Treatment outcome in endodontics: the Toronto study—phases 3, 4, and 5: apical surgery. *J Endod.* 2010;36:28–35.
44. von Arx, T., Jensen, S.S., Hanni, S. Clinical and radiographic assessment of various predictors for healing outcome 1 year after periapical surgery. *J Endod.* 2007;33:123–128.
45. Kim, E., Song, J.S., Jung, I.Y., Lee, S.J., Kim, S. Prospective clinical study evaluating endodontic microsurgery outcomes for cases with lesions of endodontic origin compared with cases with lesions of combined periodontal-endodontic origin. *J Endod.* 2008;34:546–551.
46. Setzer, F.C., Shah, S.B., Kohli, M.R., Karabucak, B., Kim, S. Outcome of endodontic surgery: a meta-analysis of the literature—part 1: comparison of traditional root-end surgery and endodontic microsurgery. *J Endod.* 2010;36:1757–1765.
47. De Bruyne MAA, De Moor RJG. SEM analysis of the integrity of resected root apices of cadaver and extracted teeth after ultrasonic root-end preparation

- at different intensities. *International Endodontic Journal* 2005; 38:310–9.
48. Duarte MA, Domingues R, Matsumoto MA, Marques Padovan LE, Kuga MC. Evaluation of apical surface roughness after root resection: a scanning electron microscopic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2007;104:e74-e76.
  49. Peter A. Gilheany, David Figdor, Martin J. Tyas, Apical dentin permeability and microleakage associated with root end resection and retrograde filling, *Journal of Endodontics*, 1994: 22-26.
  50. Kim S, Pecora G, Rubinstein R. Comparison of traditional and microsurgery in endodontics. In: Kim S, Pecora G, Rubinstein R, Color atlas of microsurgery in endodontics. Philadelphia: W.B. Saunders, 2001:5–11.
  51. Carr GB. Ultrasonic root end preparation. *Dent Clin North Am* 1997;41:541–4
  52. 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. *J Endod* 1995;21:295-9.
  53. Torabinejad M, Pitt Ford TR. Root end filling materials: a review. *Endod Dent Traumatol* 1996;12:161–78.
  54. Richman MJ. The use of ultrasonics in root canal therapy and resection. *J Dent Med* 1957;12:12– 8.
  55. Taschieri S, Testori T, Francetti L, Del Fabbro M. Effects of ultrasonic root end preparation on resected root surfaces: SEM evaluation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2004;98:611-8
  56. Abedi HR, van Mierlo BL, Wilder-Smith P, et al. Effects of ultrasonic root-end cavity preparation on the root-apex. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontol* 1995;80:207–13.
  57. Layton CA, Marshall JG, Morgan LA, et al. Evaluation of cracks associated with ultrasonic root-end preparation. *J Endod* 1996;22:157–60.
  58. Brent P, Morgan L, Marshall J. Evaluation of diamond-coated ultrasonic instruments for root-end preparation. *J Endod* 1999;25:672–5.
  59. Rainwater A, Jeansonne B, Sarkar N. Effects of ultrasonic root end preparation on microcrack formation and leakage. *J Endod* 2000;26:72–5.

60. Peters CI, Peters OA, Barbakow F. An in vitro study comparing root-end cavities prepared by diamond-coated and stainless steel ultrasonic retrotips. *Int Endod J* 2001;34:142–8.
61. Gondim E Jr, Figueredo Almeida Gomes BP, Ferraz, CC, Teixeira FB, Souza-Filho FJ. Effect of Sonic and ultrasonic retrograde cavity preparation on the integrity of root apices of freshly extracted human teeth: scanning electron microscopy analysis. *J Endod* 2002;28:646-50.
62. Paz E, Satovsky J, Moldauer I. Comparison of the cutting efficiency of two ultrasonic units utilizing two different tips at two different power settings. *J Endod* 2005; 31:824–6.
63. Tawil PZ. Periapical Microsurgery: Can Ultrasonic Root-end Preparations Clinically Create or Propagate Denitnal Defects? *J Endod* 2016; 42:1472-5.
64. Torrella F, Pitarch J, Cabanes G, et al. Ultrasonic ostectomy for the surgical approach of the maxillary sinus: a technical note. *Int J Oral Maxillofac Implants* 1998;13:697–700.
65. Lea SC, Felver B, Landini G, et al. Ultrasonic scaler oscillations and tooth-surfaces defects. *J Dent Res* 2009;88:229–34.
66. Lea SC, Felver B, Landini G, et al. Three-dimensional analyses of ultrasonic oscillations. *J Clin Periodontol* 2009;36:44–50.
67. Vercellotti T, De Paoli S, Nervins M. The piezoelectric bony window osteotomy and sinus membrane elevation: introduction of a new technique for simplification of the sinus augmentation procedure. *Int J Periodontics RestorativeDent* 2001;21:561–7.
68. Vercellotti T. *Essentials in Piezosurgery. Clinical Advantages in Dentistry.* 1st ed. Milan: Quintessenza Edizioni; 2009. 65–74, 95–107.
69. *User’s manual of piezosurgery3.* Carasco, Italy: Mectron; 2011:4.
70. NSK. *Operation manual Variosurg.* Nakanishi Inc; 2009:2.
71. Gomez G, Jara F, Sánchez B, Roig M, Duran-Sindreu F. Effects of piezoelectric units on pacemaker function: an in vitro study. *J Endod.* 2013
72. Bernardes RA, Duarte MA, Vivan RR, Baldi VB, Vasconcelos BC, Bramante CM. Scanning electronic microscopy analysis of the apical surface after of root-end resection with different methods. *Sanning* 2015;37(2):126-30
73. Albaladejo A. Método de preparación del espécimen para evaluar la

- micromorfología de la interfase adhesiva resina-dentina con un microscopio electrónico de barrido. *Av. Odontoestomatol* 2007;23(4): 197-206
74. Bevenius J, Hultenby K. In vitro and in vivo replication for scanning electron microscopy of the cervical region of human teeth. *Scanning Microscopy* 1991; 5:731-740.
75. Bolhari B, Yazdi KA, Sharifi F, Pirmoazen S. Comparative Scanning Electron Microscopic Study of the Marginal Adaptation of Four Root-End Filling Materials in Presence and Absence of Blood. *Journal of Dentistry* 2015; 12:226-234.
76. Calzonetti KJ, Iwanowski T, Komorowski R, Friedman S. Ultrasonic root end cavity preparation assessed by an in situ impression technique. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1998; 85:210-5.
77. Von Arx, Walker W.A. Microsurgical instruments for root-end cavity preparation following apicoectomy: a literature review. *Dental Traumatology* 2000, 16, 2, 47-62.
78. Janda R. Preparation of extracted natural human teeth for SEM investigations. *Biomaterials* 1995;16:209-17.
79. Berbert FLC, Faria NB, Tanomaru M, Guerreiro-Tanomaru JM, Bonetti I, Toledo LR, Marcantonio RAC. An in vitro evaluation of apicoectomies and retropreparations using different methods. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2010;110
80. Van Mierlo B, Abedi H, Torabinejad M. Preparation of Root end resin replicas for SEM examination. *J. Endod.* RS38.
81. Ayranci F, Ayranci LB, Arslan H, Omezli MM, Topcu MÇ. Assessment of root surfaces of apicected teeth: A scanning electron microscopy evaluation. *Ninger J Clin Pract* 2015;18(2):198-202.
82. Gondim E, Zaia AA, Gomes BP, Ferraz CC, Teixeira FB, Souza-Filho FJ. Investigation of the marginal adaptation of root-end filling materials in root-end cavities prepared with ultrasonic tips. *Int Endod J.* 2003;36(7):491-9.
83. Yelton C, Lawlor K, Kulild JC, Walker MP. Comparison of the efficiency of four different ultrasonic tips to remove dentin over time. *J Endod.*

2010;36:529-31

84. Liu Z1, Zhang D, Li Q, Xu Q. Evaluation of root-end preparation with a new ultrasonic tip. *J Endod.* 2013;39(6):820-3.
85. Furusawa M, Asai Y. SEM observations of resected root canal ends following apicoectomy. *Bull Tokyo Dent Coll* 2002;43(1):7-12
86. Galbany J, Estebaranz F, Martínez LM, Romero A, De Juan J, Turbo D, Pérez A. Comparative analysis of dental enamel polyvinylsiloxane impression and polyurethane casting methods for SEM research. *Microsc. Res. Tech* 2006; 69:246-252.
87. Rodríguez G, Abella F, Durán-Sindreu F, Patel S, Roig M. Influence of Cone-beam Computed Tomography in Clinical Decision Making among Specialists. *J Endod.* 2017;43:194-199

## **11. ANEXO**

Barcelona, 22 de enero de 2014

Sr. Guillermo Doria Jaureguizar  
Torras i Pujalt 26, 2ªA  
08022, Barcelona

Estimado Sr.

Por la presente, le comunico que la Comisión Académica del Doctorado en Ciencias de la Salud, en su sesión del pasado 14 de enero, y una vez estudiada su solicitud ha acordado:

Se acuerda admitir al Sr. Guillermo Doria Jaureguizar al Periodo de Investigación del Doctorado de Odontología.

Se acuerda aprobar el Proyecto de Tesis titulado "Estudio in vitro mediante microscopio electrónico de barrido (SEM) de las micro-fracturas producidas en la preparación de la resección radicular y la cavidad retrógrada.", y nombrar a la Dra. Montserrat Mercadé Bellido como Directora y al Dr. Rufino Bueno Martínez como Codirector de la Tesis.

Adicionalmente, se le informa que la normativa de la UIC establece que debe obtener una evaluación favorable del Comité de Ética en la Investigación, antes de la puesta en marcha de la investigación. Deberá aportar este informe cuando lo obtenga.

Aprovecho la oportunidad para saludarlo cordialmente,



Jaime Oliver Serrano  
Secretario Comisión Académica  
Doctorado en Ciencias de la Salud



Universitat  
Internacional  
de Catalunya

**VICERECTORAT DE RECERCA**

Universitat  
Internacional  
de Catalunya

**REGISTRE GENERAL**

Sortida  
110075  
Data  
23 01 14

