



**UNIVERSIDAD DE SEVILLA**

FACULTAD DE ODONTOLOGÍA

**Departamento de Estomatología**

***SISTEMAS ULTRASÓNICOS PARA  
IRRIGACIÓN EN ENDODONCIA***

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**

**Ana García Delgado**

**Sevilla, 2013**

**Máster Oficial en Ciencias Odontológicas**

JUAN JOSÉ SEGURA EGEA, Catedrático de Patología y Terapéutica Dental del Departamento de Estomatología de la Universidad de Sevilla,

HACE CONSTAR que: D<sup>a</sup> **Ana García Delgado**, Licenciada en Odontología por la Facultad de Odontología de Sevilla, ha realizado bajo su tutela y dirección el Trabajo de Investigación titulado “**SISTEMAS ULTRASÓNICOS PARA IRRIGACIÓN EN ENDODONCIA**”, como trabajo Final del Máster Oficial en Ciencias Odontológicas.

Sevilla, 30 de abril de 2013

Fdo.: Juan José Segura Egea

**AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar deseo agradecer a mi director, el Dr. Juan José Segura Egea, Director del Máster de Endodoncia de la Universidad de Sevilla, por permitirme trabajar con él, por su amabilidad, gentileza y generosidad, por su tiempo y dedicación. Gracias por todo.

A mis padres Eloy García y Ana María Delgado, por todo el apoyo y la confianza depositada en mí, por estar a mi lado de manera incondicional, y por hacerme como soy.

A mi hermana Inés, por los consejos, las risas, su paciencia infinita, por estar a mi lado siempre que la he necesitado y en definitiva, por ser como es.

A Darío, por todo el cariño, el apoyo y el esmero, por su colaboración desinteresada, por su afán en levantarme en los peores momentos, y por los recuerdos inolvidables.

A mis Amigas, por sus consejos, su sabiduría, por escucharme, animarme, y por los buenos momentos.

A Pilar, por su especial interés en mi formación, su ayuda, apoyo, comprensión, por creer en mí, por sus consejos y cafés.

**SISTEMAS ULTRASÓNICOS PARA  
IRRIGACIÓN EN ENDODONCIA**

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	7
1.1. INFECCIÓN PULPAR: PULPITIS Y NECROSIS PULPAR.....	8
1.2. TRATAMIENTO DE CONDUCTOS: ASEPSIA Y ANTISEPSIA.....	10
1.3. FLORA BACTERIANA EN LA INFECCIÓN PULPAR: EL BIOFILM INTRAPULPAR.....	13
1.4. LA IRRIGACIÓN: PARTE ESENCIAL DEL TRATAMIENTO DE CONDUCTOS....	14
1.4.1. Objetivos de la irrigación del conducto.....	16
1.4.2. Propiedades de la solución irrigadora ideal.....	17
1.4.3. Soluciones irrigadoras de uso en endodoncia.....	18
1.4.3.1. Hipoclorito de sodio.....	18
1.4.3.2. Clorhexidina.....	21
1.4.3.3. Agentes quelantes (EDTA / Ácido cítrico).....	22
1.4.4. Interacciones entre irrigantes.....	24
1.4.5. Protocolos de irrigación.....	26
1.5. EFECTO “VAPOR LOCK”.....	28
1.6. SISTEMAS DE DISPENSACIÓN Y ACTIVACIÓN DEL IRRIGANTE.....	30
1.6.1. Sistemas manuales.....	30
1.6.1.1. Jeringa de irrigación con aguja/cánula, irrigación pasiva, irrigación por presión positiva.....	30
1.6.1.2. Cepillos.....	31
1.6.1.3. Irrigación dinámica manual.....	32
1.6.2. Sistemas mecanizados.....	33
1.6.2.1. Sistemas de alternación de presión.....	33
1.6.2.2. Irrigación sónica.....	34

---

1.6.2.3. Introducción a la irrigación ultrasónica.....	35
<b>2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>38</b>
<b>3. OBJETIVOS.....</b>	<b>40</b>
<b>4. MATERIAL Y MÉTODOS.....</b>	<b>41</b>
<b>5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>42</b>
5.1. CAPACIDAD DE ERRADICACIÓN DE BACTERIAS.....	43
5.2. CAPACIDAD DE ELIMINAR TEJIDO PULPAR Y RESTOS DE DENTINA.....	50
5.3. CAPACIDAD DE ELIMINACIÓN DEL BARRILLO DENTINARIO.....	65
5.4. CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE LA SOLUCIÓN IRRIGADORA. EXTRUSIÓN APICAL.....	71
<b>6. CONCLUSIONES.....</b>	<b>78</b>
<b>7. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>79</b>



## 1. INTRODUCCIÓN

La Endodoncia es la rama de la odontología que estudia las enfermedades del órgano dentino-pulpar, así como la consecuente afección de los tejidos periodontales circundantes (Canalda 2006). La American Association of Endodontists (AAE) la define así: “*Endodontics is the branch of dentistry concerned with the morphology, physiology and pathology of the human dental pulp and periradicular tissues*” (AAE 2012). Por su parte, la European Society of Endodontology señala que “*Endodontology is concerned with the study of the form, function and health of, injuries to, and diseases of the dental pulp and periradicular region, their prevention and treatment*”.

El objetivo biológico final de los tratamientos endodóncicos es la preservación de la pulpa dental, cuando hay pulpitis reversible, o la prevención y erradicación de la infección en el sistema de conductos radiculares en el caso de pulpitis irreversibles con / sin periodontitis apical (Ørstavik et al. 2007). Por ello, desde el punto de vista terapéutico, el tratamiento endodóncico tiene como objetivo último prevenir y, en su caso, curar la periodontitis apical.



### **1.1. INFECCIÓN PULPAR: PULPITIS Y NECROSIS PULPAR.**

Al contrario que el esmalte, que carece de capacidad de respuesta defensiva, el complejo dentino-pulpar constituye un tejido dinámico que responde al daño producido por irritantes químicos, mecánicos y bacterianos (Chogle et al. 2012). A diferencia de lo que ocurre con la mayoría de tejidos conectivos del organismo, la pulpa dental no tolera el daño con facilidad y es más vulnerable por tres razones (López-Marcos 2004, Chogle et al. 2012):

1. Es un tejido ricamente vascularizado e innervado.
2. Su circulación sanguínea es terminal y con una zona de acceso circulatorio –el foramen apical– de pequeño calibre.
3. Es un tejido que se encuentra confinado entre paredes inextensibles de tejido calcificado.

Cuando un estímulo agresivo actúa sobre el diente (caries, abrasión, abfracción, erosión, traumatismos crónicos...), el complejo dentino-pulpar lo percibe y comienza a desarrollar una respuesta defensiva. Por una parte, se produce la deposición de cristales fosfo-cálcicos dentro de los túbulos dentinarios (hipercalcificación tubular), provocando la obstrucción de los mismos (esclerosis dentinaria), disminuyendo el flujo del fluido dentinario y frenando el avance de los estímulos nocivos hacia la pulpa. Por otra, se estimula la formación por los odontoblastos de dentina terciaria reactiva.

En el caso de la caries, ésta puede progresar de forma lenta, rápida o detenerse. En consecuencia, la esclerosis de los túbulos dentinarios no existe o es mínima en lesiones activas de rápida progresión. Si no se origina esta respuesta defensiva, se produce una rápida difusión de los productos metabólicos y de la degradación que podrían saturar las

respuestas defensivas de la pulpa, siendo el resultado de todo ello la inflamación pulpar, ausencia de dentina terciaria, y lesión pulpar grave (Chogle et al. 2012).

Los dientes con pulpa vital desarrollan, pues, una respuesta defensiva frente a los microorganismos de la caries. Su pulpa se inflama primero de forma reversible para tratar de frenar el avance bacteriano pero, en caso de persistir la infección, finalmente la pulpitis se hace irreversible y la pulpa termina necrosándose. El diente con pulpa necrótica, no vital, como consecuencia del paso de antígenos y detritus del conducto radicular al espacio periapical a través del foramen apical, sufre además una inflamación periapical (periodontitis apical) que radiológicamente se manifiesta como una rarefacción apical (ensanchamiento del espacio periodontal e imagen radiolúcida periapical).

En definitiva, aunque la inflamación pulpar se considera una respuesta defensiva, se pueden producir reacciones severas derivadas de la entrada continua de bacterias, provocando la destrucción irreversible de la pulpa que finalmente conduce a una necrosis pulpar y el desarrollo de lesiones perirradiculares (Chogle et al. 2012).

La necrosis pulpar es la descomposición séptica o no (aséptica), del tejido conjuntivo pulpar que cursa con la destrucción del sistema microvascular y linfático de las células y, en última instancia, de las fibras nerviosas (López-Marcos 2004). Se produce como consecuencia de un drenaje insuficiente de los líquidos inflamatorios debido a la falta de circulación colateral y la rigidez de las paredes de la dentina, originando un aumento de la presión de los tejidos y dando lugar a una destrucción progresiva hasta que toda la pulpa se necrosa (Nair 2004, López-Marcos 2004).

## **1.2. TRATAMIENTO DE CONDUCTOS: ASEPSIA Y ANTISEPSIA**

Para la práctica clínica, además de conocer la causa de la infección del sistema de conductos -que generalmente suele estar provocada por una caries profunda, aunque hay otras muchas causas posibles (Nair 2004)-, es importante diferenciar si nos encontramos ante un caso de pulpa vital o no vital (Zehnder et al. 2002, Ørstavik 2003).

Es bien sabido a día de hoy que la presencia de microorganismos en el sistema de conductos radiculares es la principal causa de fracaso endodóntico (Siqueira & Rôças 2008, Gomes et al. 2008, Chen et al. 2012). Por ello, el enfoque del tratamiento de conductos para los dientes con pulpa vital (biopulpectomía) deberá ser diferente del de los dientes con pulpa necrótica (necropulpectomía). En casos de dientes con pulpa vital, el tratamiento debe enfocarse hacia la asepsia, es decir, evitar la infección del conducto prácticamente estéril. Por el contrario, el tratamiento de los dientes con pulpa necrótica debe ir orientado a la antisepsia, o lo que es lo mismo, eliminar los microorganismos ya presentes en el conducto radicular.

El correcto diagnóstico del estado pulpar previo al tratamiento de conductos, deberá basarse en la valoración de la sintomatología del paciente, los datos suministrados por la exploración clínica, la valoración de la radiografía periapical y las pruebas de vitalidad pulpar, tales como las pruebas térmicas, eléctricas o el láser Doppler (Gopikrishna et al. 2009). Es importante señalar que al evaluar el estado pulpar, además de las respuestas a las pruebas de vitalidad (Peterson et al. 1999, Abd-Elmeguid & Yu 2009), el clínico deberá valorar también el estado pulpar encontrado en el momento de penetrar en la cámara durante la preparación de la cavidad de acceso, en especial el aspecto macroscópico de la pulpa, si hay o no sangrado y el olor (Peterson et al. 1999). Es así como realizaremos un correcto diagnóstico para un correcto tratamiento.

Extrapolando a la práctica nuevamente los conceptos de asepsia y antisepsia, es importante recalcar que tanto en los dientes con pulpa necrótica como en aquellos en los que el tratamiento endodóncico ha fracasado (periodontitis apical crónica persistente), la antisepsia es muy difícil de lograr. Por ello, cabe resaltar la importancia de la colocación del dique de goma y la desinfección coronal de la pieza dentaria. Dichos procedimientos han sido ampliamente aceptados (Charrote 2004, Chandra 2009). Por este mismo motivo, resulta sorprendente que la mayoría de los profesionales no utilicen el dique de goma para el tratamiento de conductos radiculares, a pesar de todos los beneficios que éste aporta (Ahmad 2009, Anabtawi et al. 2010).

### **1.3. FLORA BACTERIANA EN LA INFECCIÓN PULPAR: EL BIOFILM INTRAPULPAR.**

Tras la necrosis pulpar consecutiva a la lesión cariosa, la flora microbiana del espacio pulpar está compuesta por un restringido grupo de especies bacterianas, que se establecen como biofilms sobre las paredes dentinarias de la cavidad pulpar, y no como colonias separadas (Nair 2004).

Se denomina biofilm a una colección de microorganismos en una matriz de polisacáridos extracelulares asociada a una superficie (Lasa 2005). Son comunidades bacterianas coagregadas en una matriz extracelular. En el biofilm, los microorganismos están intercomunicados entre sí, necesitándose unos a otros para sobrevivir y establecer su potencial patogénico completo, como ocurre por ejemplo con los bacilos gram-negativos anaerobios virulentos.

De esta forma, las bacterias que componen el biofilm bacteriano intrapulpar consiguen una serie de ventajas, que no se observan en las células con crecimiento de tipo planctónico. Entre esas ventajas están el establecimiento de un rango de hábitat más

amplio para el crecimiento, la mayor eficiencia y diversidad metabólica, una mayor patogenicidad y la protección contra los microorganismos competidores, las defensas del huésped, los agentes antimicrobianos y el estrés ambiental (Ricucci & Siqueira 2010).

En el inicio de la infección intrarradicular, el número de especies es muy bajo, mientras que los dientes con infecciones de larga evolución y lesiones cariosas amplias normalmente albergan más especies bacterianas y tienen una mayor densidad de bacterias en el interior de las raíces. El consumo de oxígeno y la producción de dióxido de carbono e hidrógeno por las primeras bacterias que colonizan el interior de la pulpa, va disminuyendo el potencial redox del medio, tornándose éste cada vez más anaerobio, favoreciéndose así la colonización de la pulpa por las bacterias anaerobias (Figdor & Sundqvist 2007). Como resultado de esto, el canal radicular infectado sin tratar está generalmente compuesto por flora polimicrobiana, con especies Gram-positivas y Gram-negativas en proporciones muy similares, y dominadas principalmente por anaerobios estrictos. Los microorganismos aislados antes del tratamiento de conductos son, principalmente, bacilos anaerobios gram-negativos, cocos anaerobios gram-positivos, bacilos anaerobios y facultativos gram-positivos, lactobacilos y estreptococos gram-positivos facultativos (Sundqvist 1994).

Aunque al principio hay pocas asociaciones entre las bacterias del biofilm intrarradicular, la presencia de determinados nutrientes en el entorno hace que pronto se establezcan relaciones muy fuertes entre un restringido grupo de microorganismos del biofilm (Peters et al. 2002, Figdor & Sundqvist 2007). Las propiedades que tienen dichas bacterias en común es que todas son anaerobias y que fermentan péptidos y aminoácidos, lo que indica que la principal fuente de nutrientes en los canales

radiculares son los remanentes tisulares y un sustrato similar al suero (Figdor & Sundqvist 2007).

El significado clínico del patrón de crecimiento del biofilm es que las bacterias están relativamente protegidas en el interior de comunidades coagregadas, comparadas con las formas planctónicas, de manera que son más resistentes a las medidas de tratamiento antimicrobianas, y en concreto a los agentes antimicrobianos que tradicionalmente se han utilizado en los tests in vitro (Bryce et al. 2009, Ordinola-Zapata et al. 2012, Xie et al. 2012).

Por lo general, los anaerobios estrictos se eliminan fácilmente en el tratamiento endodónico convencional, mientras que las bacterias facultativas como estreptococos, enterococos y lactobacilos, tienen más probabilidades de sobrevivir a la instrumentación y a la medicación químico-mecánica de la raíz (Chávez et al. 2003).

Se reconoce generalmente que la persistencia de la enfermedad es más común por dificultades que ocurren durante el tratamiento endodóntico inicial (Figdor & Sundqvist 2007). En los dientes ya tratados y con periodontitis apical persistente hay solo una o muy pocas especies, predominantemente gram-positivas (streptococos, enterococos, candida y actinomices) con una distribución muy similar de facultativos y anaerobios estrictos.

De todos los factores que pueden contribuir al fracaso del tratamiento de conductos y a la persistencia de la radiolucidez apical en el diente tratado endodómicamente (la infección intrarradicular, la infección extrarradicular por *Actinomyces israelii* y *Propionibacterium propionicum*, reacciones a cuerpo extraño y quistes, especialmente aquellos que contienen cristales de colesterol), se acepta generalmente que la causa más importante es la persistencia de microorganismos en la parte apical de los dientes

tratados. Por último, es destacable el hecho de que algunos microorganismos sean capaces de sobrevivir bajo las difíciles condiciones del canal ya tratado. En particular, el *Enterococo Faecalis* es aislado con gran frecuencia en los conductos donde el tratamiento endodóntico ha fracasado y en los que la periodontitis apical resiste a la terapia endodóntica (Stuart et al. 2006, Gajan et al. 2009, Case et al. 2012).

#### **1.4. LA IRRIGACIÓN: PARTE ESENCIAL DEL TRATAMIENTO DE CONDUCTOS**

El tratamiento de conductos consiste básicamente en la utilización combinada de la instrumentación mecánica y la irrigación química en el canal radicular, para lograr la máxima desinfección posible y facilitar la colocación de un material biocompatible que selle el canal en su totalidad. De este modo, los microorganismos y material orgánico que pueden descomponerse y favorecer el crecimiento bacteriano se eliminan para mantener o restablecer la salud de los tejidos periapicales (Chandra et al. 2009).

En la gran mayoría de los dientes que requieren tratamiento de conductos, el objetivo es la prevención o tratamiento de la periodontitis apical (Haapasalo et al. 2005), o, de forma más concreta, la prevención o eliminación de una infección microbiana dentro del sistema de conductos radiculares. En algunas situaciones especiales, tales como reabsorciones y complicaciones endodónticas, puede haber una serie de objetivos intermedios, pero aun así el éxito final depende del éxito en el control de la infección. Hay una visión ampliamente aceptada de que la desinfección y conformación del sistema de conductos radiculares es el paso más importante para conseguir la esterilización del canal radicular (Haapasalo et al. 2005).

Como hemos dicho anteriormente, el éxito del tratamiento endodóntico depende de la erradicación de los microbios del sistema de conductos radicular, para así prevenir

la reinfección del tejido periapical. La conformación del canal radicular se realiza mediante instrumentos manuales y/o rotatorios bajo irrigación constante para eliminar el tejido necrótico e inflamado, el biofilm y otros restos del conducto radicular. Numerosos estudios han demostrado que quedan muchas zonas del conducto que ni siquiera son tocadas por los instrumentos (Peters et al. 2001), actuando únicamente sobre el cuerpo central del conducto (Wu & Wesselink 2001). Por ello, la limpieza y desinfección de todas las áreas del conducto radicular mediante soluciones irrigadoras puede considerarse esencial para el éxito del tratamiento endodóncico (Haapasalo et al. 2010). Una irrigación adecuada podría acceder y desinfectar aquellas zonas del sistema de conductos a las que la instrumentación no puede llegar (Gulabivala et al. 2005).

Entre los procedimientos de que consta el tratamiento de conductos, en especial en los casos de necrosis séptica pulpar, la desinfección del canal radicular mediante la irrigación e instrumentación es considerada como el factor más importante en la prevención y tratamiento de las enfermedades endodóncicas, y es la clave para conseguir el éxito en el tratamiento del sistema de conductos (Haapasalo et 2010, de Gregorio et al. 2010).

Debido a la complejidad de la anatomía del canal radicular y las limitaciones de la instrumentación, la irrigación gana cada vez más importancia y atención. Tomando conciencia de lo importante que son estas zonas inaccesibles en la persistencia y recidiva de las enfermedades endodóncicas, se han diseñado un gran número de dispositivos orientados a la limpieza y desinfección del sistema de conductos, en busca de procedimientos de administración del irrigante más efectivos (Plotino et al. 2007), y de sistemas de agitación del irrigante que faciliten que éste pueda alcanzar las zonas de difícil acceso, donde los instrumentos manuales y rotatorios no pueden llegar (Gu et al. 2009, Jiang et al. 2012).



Sin embargo, a pesar de todos los avances e investigaciones, a día de hoy la mayoría de los profesionales continúan utilizando los mecanismos tradicionales que se emplean desde hace décadas, como lo es la jeringa convencional (Gu et al. 2009), cuyo uso es insuficiente para eliminar los detritus de los recovecos y zonas irregulares del sistema de conductos (Gu et al. 2009, de Gregorio et al. 2010).

Al contrario de lo que ocurre con dichos mecanismos tradicionales, los ultrasonidos sí tienen el potencial para eliminar gran parte de los restos de tejido orgánico e inorgánico de las áreas inaccesibles para la instrumentación (Passarinho-Neto et al. 2006, Gu et al. 2009, Mozo et al. 2012), siendo además su capacidad para activar el irrigante ampliamente documentada (van der Sluis et al. 2007, de Gregorio et al. 2010, Muñoz & Camacho-Cuadra 2012).

Gracias a las investigaciones de los últimos años, estos sistemas de ultrasonidos se han convertido en procedimientos clínicos científicamente probados, más efectivos que los convencionales, y es por ello por lo que su uso debería extrapolarse a la práctica clínica diaria.

#### **1.4.1. Objetivos de la irrigación del conducto**

Mediante el lavado del conducto radicular, las soluciones irrigadoras facilitan la eliminación de microorganismos y restos de tejido pulpar y dentario del canal radicular. Asimismo, los irrigantes también previenen la acumulación de tejidos duros y blandos en la zona apical del conducto, así como la extrusión de material infectado al área periapical. Además, muchas soluciones irrigadoras tienen actividad antimicrobiana y destruyen activamente bacterias y hongos cuando entran en contacto directo con los mismos (Haapasalo et al. 2007). Finalmente, los irrigantes también actúan como lubricantes del conducto radicular, lo cual facilita el proceso de la instrumentación. En

resumen, los objetivos que se persiguen con la irrigación del sistema de conductos son los siguientes:

- 1) Disolución de los restos pulpares vitales o necróticos.
- 2) Limpieza de las paredes de los conductos y eliminación del barrillo dentinario.
- 3) Desinfección bacteriana y neutralización de toxinas.
- 4) Lubricación de los instrumentos y mejora de su corte.
- 5) Prevención del oscurecimiento post-tratamiento por restos de sangre.

#### **1.4.2. Propiedades de la solución irrigadora ideal**

Las soluciones irrigadoras usadas en endodoncia, para que sean eficaces en la consecución de los objetivos que se han mencionado, deben reunir las siguientes propiedades:

- a) Buena capacidad disolvente de los tejidos pulpares, vitales y necróticos, así como de los residuos orgánicos e inorgánicos.
- b) Baja tensión superficial, para humectar bien las paredes del sistema de conductos y penetrar al máximo en los conductos laterales y accesorios y en los túbulos dentinarios.
- c) Biocompatibilidad y baja toxicidad, sin efectos cáusticos o citotóxicos, para evitar irritar o dañar los tejidos periapicales en caso de extrusión a través del foramen apical.
- d) Acción antimicrobiana, bactericida mejor que bacteriostática, actuando contra bacterias, hongos y esporas, tanto en estado planctónico como organizados en biofilm.
- e) Capacidad para eliminar la capa parietal endodóncica (barrillo dentinario).

- f) Acción lubricante, para facilitar el deslizamiento y el corte de la dentina por las limas, reduciendo la fricción y el estrés rotatorio de los instrumentos.
- g) Otras: aplicación simple, tiempo de vida adecuado, fácil almacenaje, costo moderado, acción rápida y sostenida.

Sin embargo, muchos irrigantes tienen potencial citotóxico, y pueden causar dolor severo si entran en contacto con los tejidos periapicales (Zehnder 2006). El irrigante ideal debe cumplir el mayor número de características positivas y el menor número o ninguna de las negativas. Actualmente, no existe la solución irrigadora perfecta (Haapasalo et al. 2010). Para acercarnos a estos propósitos y conseguir el éxito del tratamiento debemos utilizar una combinación de productos en la secuencia adecuada.

### **1.4.3. Soluciones irrigadoras de uso en endodoncia**

A lo largo de la historia se han utilizado una gran cantidad de irrigantes en endodoncia, desde el agua destilada utilizada antes de la Primera Guerra Mundial hasta el MTAD introducido por Torabinejad y cols en 2003 (Torabinejad et al. 2003). En este trabajo, nos centraremos en los irrigantes más utilizados en la actualidad.

#### **1.4.3.1. Hipoclorito de sodio**

El hipoclorito de sodio es la solución más utilizada en endodoncia para la irrigación de los conductos radiculares, datando su uso desde principios del siglo XX. Entre las características principales de este irrigante endodóntico podemos encontrar las siguientes (Zehnder 2006):

- Eficacia inespecífica antimicrobiana, siendo esporicida, viricida y bactericida, eliminando tanto a bacterias en estado planctónico como a aquellas incluidas en

biofilm. Oxida los grupos -SH de los sistemas enzimáticos bacterianos y tiene acción detergente, saponificando los ácidos grasos.

- Gran capacidad para disolver tejido vital y necrótico.
- Inactiva endotoxinas bacterianas.
- Elimina el componente orgánico del barrillo dentinario.
- Vida útil prolongada.
- Muy económico.
- Posee potencial cáustico (pH alcalino, 11.8), que varía según la concentración.
- Potencial alergénico.
- Baja tensión superficial, por lo que puede alcanzar las concavidades y recovecos

del conducto radicular y de los túbulos dentinarios; su penetración es tanto mayor cuanto mayor es su concentración: al 1%, 100 micras, al 2,5%, 220 micras y al 5,25% llega hasta 350 micras.

Estas características han impulsado el uso del hipoclorito de sodio acuoso en endodoncia como el irrigante principal desde 1920. La utilización del mismo como desinfectante comenzó a extenderse a partir de la Primera Guerra Mundial, cuando el químico Henry Drysdale Dakin y el cirujano Alexis Carrel realizaron estudios sobre la eficacia de diferentes soluciones irrigadoras en tejido necrótico de heridas infectadas. Entre dichas soluciones se encontraba el hipoclorito sódico tamponado al 0'5% (pH 9.0), conocida como la solución de Dakin (Dakin 1915, Zehnder 2006).

Desde entonces, se ha utilizado este irrigante a distintas concentraciones, con el propósito de aumentar la efectividad y disminuir los efectos indeseables. Actualmente, se utiliza como solución no tamponada a pH 11, a concentraciones que varían entre el 0'5 y 6% (Haapasalo et al. 2010). Existe mucha controversia sobre las concentraciones utilizadas, debido a que algunos artículos reflejan que el hipoclorito es altamente

efectivo en segundos incluso a bajas concentraciones, mientras que otros concluyen que es necesario mucho más tiempo de actuación (Waltimo et al. 1999, Gomes et al. 2001, Radcliffe et al. 2004). Por otro lado, algunos estudios in vitro reflejan que una exposición prolongada a altas concentraciones de hipoclorito puede conllevar un detrimento en la elasticidad y resistencia a la flexión de la dentina (Sim et al. 2001, Marending et al. 2007). Aunque no hay datos clínicos sobre este fenómeno, se plantea la cuestión de si el hipoclorito en algunas situaciones puede aumentar el riesgo de fractura vertical de la raíz. Además, se ha publicado que el hipoclorito al 5'25% puede provocar irritaciones severas si éste se extruye a los tejidos periapicales (Hülsmann & Hahn 2000). A pesar de las desventajas, la concentración de hipoclorito sódico más utilizada es el 5%, debido a que es altamente efectivo y eficaz.

Asimismo, se ha estudiado en profundidad el aumentar la temperatura de las soluciones de hipoclorito para así aumentar la efectividad de las mismas. Al calentar una solución de hipoclorito sódico, se favorece su capacidad para eliminar los restos de tejido orgánico de la dentina (Kamburis et al. 2003), así como para disolver los tejidos pulpares (Cunningham & Balekjian 1980, Stojicic et al. 2010). Al aumentar la temperatura, una solución al 1% a 45° tiene la misma capacidad de disolución de tejido pulpar que una solución al 5.25% a 20°C (Sirtes et al. 2005). Sin embargo, el calentar las soluciones de hipoclorito conlleva el deterioro del irrigante. Cuando el hipoclorito es calentado a 37°, la solución es estable durante 4 horas (Frais et al. 2001), y además, soluciones de hipoclorito al 1%, 2.62% y 5.25% a una temperatura de entre 45° a 60°, tienen cloro disponible en buenas condiciones al menos durante una hora (Sirtes et al. 2005), lo cual es tiempo suficiente para realizar el tratamiento de conductos.

Otro mecanismo para aumentar la efectividad del hipoclorito sódico y su capacidad de limpieza del sistema de conductos es la activación mediante agitación. Entre los

distintos métodos existentes encontramos la activación ultrasónica, que desarrollaremos a lo largo de este trabajo.

#### 1.4.3.2. Clorhexidina

La clorhexidina es un potente antiséptico, ampliamente utilizado en desinfección en odontología por su buena actividad antimicrobiana (Russel & Day 1993). Se trata de una biguanida bicatiónica desarrollada a finales de los años cuarenta en los laboratorios de investigación de Imperial Chemical Industries Ltd. (Macclesfield, Inglaterra). Inicialmente, con el propósito de obtener sustancias antivirales, se sintetizaron una serie de polibiguanidas que fueron dejadas de lado debido a su poca eficacia, hasta que fueron re-descubiertas unos años más tarde como agentes antibacterianos. Las sales originales eran el acetato de clorhexidina y el clorhidrato, ambas insolubles en agua. Es por este motivo por el que actualmente se utiliza el digluconato de clorhexidina, ya que ésta sí es soluble en agua (Zehnder 2006). Entre las características principales de este irrigante endodóntico podemos encontrar las siguientes:

- Potente actividad antimicrobiana.
- Inactiva endotoxinas bacterianas.
- Alta sustantividad (efecto antimicrobiano continuado).
- No posee capacidad para disolver tejido.
- No actúa sobre el barrillo dentinario.
- Posee potencial cáustico, que varía según la concentración.
- Potencial alergénico.

Las soluciones acuosas del 0.1 al 0.2% son recomendadas para el control de la placa de la cavidad oral, mientras que como irrigante endodóntico la concentración más utilizada es del 2%. Por lo general, la clorhexidina es menos cáustica que el hipoclorito

de sodio, aunque una solución de clorhexidina al 2% es irritante para la piel (Zehnder 2006).

Al igual que ocurre con el hipoclorito de sodio, el calentamiento de una solución de clorhexidina de menor concentración podría aumentar su eficacia local en el sistema de conductos radiculares, manteniendo la baja toxicidad sistémica (Evanov et al. 2004).

Debido a su efecto prolongado (sustantividad), la clorhexidina es de gran utilidad como irrigante final, pero no puede ser empleada como irrigante principal debido a que es incapaz de disolver restos de tejido vital y necrótico (Naenni 2004, Haapasalo et al. 2010) y es poco efectiva contra las bacterias gram-negativas (que predominan en las infecciones endodónticas). Debe utilizarse en combinación con otros irrigantes, como el hipoclorito sódico y el EDTA (Haapasalo et al. 2010). Además, la clorhexidina puede alterar la función macrofágica y la respuesta inflamatoria e inmune periapical (Segura-Egea et al. 1999), por lo que debe evitarse su extrusión al periápice.

#### 1.4.3.3. Agentes quelantes (EDTA / Ácido cítrico)

Para una completa limpieza del sistema de conductos, es necesario el uso de irrigantes que disuelvan material tanto orgánico como inorgánico (Haapasalo et al. 2010). Como hemos dicho anteriormente, la clorhexidina no actúa sobre el barrillo dentinario, y el hipoclorito de sodio no es capaz de disolver el componente inorgánico del mismo. Además, frecuentemente aparecen calcificaciones que dificultan la preparación del sistema de conductos; por tanto, deben utilizarse otras sustancias que cumplan este fin. El EDTA (ácido etilendiaminotetraacético) y el ácido cítrico disuelven de forma efectiva el material inorgánico, incluyendo la hidroxiapatita (Haapasalo et al. 2010). Tienen muy poco (o ningún) efecto sobre el tejido orgánico, y no tienen actividad antibacteriana por sí solos, salvo el EDTA, cuya actividad antibacteriana ha

sido referida en algunos casos (Zehnder 2006, Haapasalo et al. 2010). A continuación, presentamos las principales características del EDTA:

- Actúa sobre el biofilm endodóntico.
- Actúa sobre el componente inorgánico del barrillo dentinario.
- No disuelve tejido orgánico.
- No inactiva toxinas bacterianas.
- No posee actividad cáustica ni alérgica.

El EDTA puede alterar la respuesta inflamatoria e inmune a nivel del periápice (Segura-Egea et al. 1996, Segura-Egea et al. 1997), por lo que debe evitarse su extrusión a través del foramen apical.

El ácido cítrico tiene características muy similares a las del EDTA, salvo que a diferencia de lo que ocurre con éste, no actúa sobre el biofilm endodóntico, pero en cambio el ácido cítrico parece ser ligeramente más potente en concentraciones similares (Zehnder et al. 2005).

Una acción adicional de los quelantes es que pueden separar los biofilms adheridos a las paredes del conducto radicular, lo cual podría explicar por qué el EDTA resultó ser más eficaz en la reducción intraconducto de microbiota que una solución salina (Yoshida et al. 1995), a pesar de que su capacidad antiséptica es relativamente limitada (Patterson 1963).

Se han estudiado otros quelantes como alternativa al EDTA y al ácido cítrico. Para aumentar la capacidad antimicrobiana de estos productos, se les ha añadido antisépticos, tales como compuestos de amonio cuaternario (EDTAC), o antibióticos como la tetraciclina (MTAD (Torabinejad et al. 2003)). Sin embargo, el valor clínico de esto es



cuestionable, ya que el EDTAC muestra una eliminación del barrillo dentinario similar al EDTA, pero es más cáustico (Patterson 1963).

Las ventajas que el uso de agentes quelantes aporta al tratamiento endodóncico son las siguientes:

- Facilita la localización de la entrada de los conductos.
- Facilita la conformación de los conductos.
- Elimina el barrillo dentinario y la capa parietal endodóncica.
- Mejora la limpieza mecánica de la pared dentinaria.
- Mejora la desinfección de la pared dentinaria (acción antibacteriana).
- Aumenta la permeabilidad dentinaria a medicamentos.
- Incrementa la adhesión del sellador endodóncico a la pared dentinaria.
- Facilita la extracción de instrumentos rotos.
- Permite la preparación de conductos estrechos y/o calcificados.

#### 1.4.3.4. Interacciones entre irrigantes

El hipoclorito y el EDTA son las dos soluciones irrigadoras más utilizadas. Al tener distintas características y funciones, se han intentado utilizar mezcladas. Sin embargo, el EDTA reduce casi instantáneamente la cantidad de cloro cuando se utiliza junto con el hipoclorito de sodio, dando como resultado la pérdida de actividad de este último. Por tanto, estas soluciones no deben ser mezcladas (Zehnder 2006).

Por otro lado, la clorhexidina no tiene capacidad para disolver el tejido, por lo que se ha intentado combinarla con hipoclorito para obtener los beneficios de ambas

soluciones conjuntamente. No obstante, ambos productos son insolubles entre sí, de manera que al mezclarlos se forma un precipitado de color marrón-anaranjado (fig. 1A), que contiene hierro y paracloroanilinas, que poseen potencial mutagénico (Patterson 1963, Basrani et al. 2009).

La mezcla de clorhexidina y EDTA produce un precipitado blanco (fig. 1B). Aunque las propiedades de este precipitado no han sido estudiadas a fondo, parece que la capacidad del EDTA para eliminar el barrillo dentinario se ve reducida.

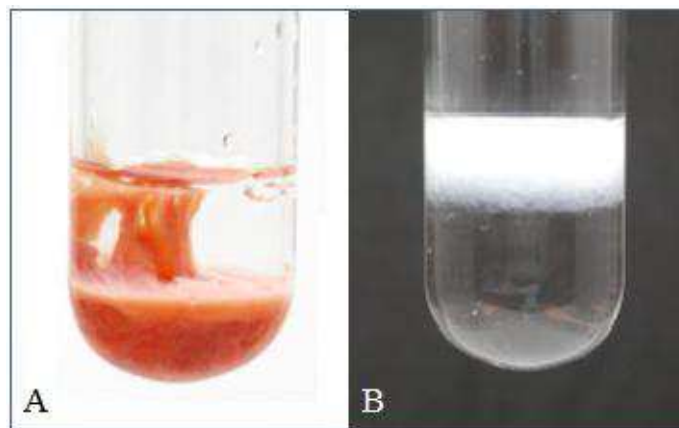


Figura 1. Precipitado naranja producido por la mezcla de clorhexidina e hipoclorito sódico (A). Precipitado blanco producido por la mezcla de clorhexidina y EDTA (B). (Haapasalo et al. 2010)

Algunos clínicos mezclan el hipoclorito de sodio con peróxido de hidrógeno para la irrigación. A pesar del burbujeo (que se pensó por mucho tiempo que debía aumentar la capacidad limpiadora y desinfectante), la efectividad de la muestra no ha resultado ser mejor que la del hipoclorito de sodio por sí solo (Heling & Chandler 1998). No obstante, la combinación de peróxido de hidrógeno con clorhexidina en un estudio ex vivo (Heling & Chandler 1998, Steinberg et al. 1999), sí resultó en un aumento considerable de la actividad antibacteriana de la mezcla en comparación con dichos

componentes por separado en un bloque de dentina infectada. Sin embargo, no existen datos sobre el uso o eficacia de la mezcla en la práctica clínica.

Con el propósito de evitar interacciones entre los distintos irrigantes, se ha propuesto lavar abundantemente con una sustancia inerte (solución salina) antes de aplicar una sustancia diferente.

#### **1.4.4. Protocolos de irrigación**

Tras todo lo comentado anteriormente, resulta obvio que los productos químicos utilizados como irrigantes de conductos deben ser administrados de forma que puedan actuar al cien por cien de su capacidad.

Para comenzar, el hipoclorito de sodio debería ser empleado durante todas las fases de la instrumentación, preferentemente sin alternarlo con ningún otro producto. Si mantenemos siempre los conductos repletos de hipoclorito de sodio, aumentaremos el tiempo de funcionamiento del irrigante. Además, de esta manera, la eficacia de corte de los instrumentos manuales se ve mejorada y el estrés torsional sobre los instrumentos de níquel titanio se ve reducida (Peters et al. 2005). Por otro lado, en casos en los que el hipoclorito de sodio ha estado en contacto con los instrumentos durante un tiempo prolongado se puede producir la corrosión de los mismos (Kuphasuk et al. 2001), sin embargo, no se han encontrado estos efectos cuando los períodos de contacto son cortos (Haïkel et al. 1998).

Cuando se completa el proceso de conformación de los conductos, podemos recurrir al EDTA 17% o al ácido cítrico 15% para eliminar el barrillo dentinario. Por lo general, cada conducto debería ser limpiado durante un minuto con 5-10 ml de la sustancia quelante. Por otra parte, debemos tener en cuenta que una exposición

prolongada a quelantes como el EDTA puede debilitar la dentina radicular (Çalt & Serper 2002).

Tras eliminar el barrillo dentinario, resulta beneficioso un lavado final con una solución antiséptica. La elección del irrigante final dependerá del siguiente paso de tratamiento. En caso de que necesitemos utilizar medicación intraconducto, como por ejemplo, hidróxido de calcio, el aclarado final debería ser con hipoclorito de sodio ya que estos dos productos son complementarios.

Si el medicamento intraconducto a utilizar es un gel de clorhexidina, o si vamos a proceder a obturar el conducto, se recomienda utilizar soluciones irrigadoras distintas al hipoclorito. La clorhexidina parece ser el irrigante final ideal ya que presenta alta sustentividad (Rølla et al. 1971, Parsons et al. 1980). Además, también se recomienda en los casos de necrosis o de retratamiento, donde se puede encontrar una gran cantidad de bacterias gram-positivas en el sistema de conductos (Zehnder 2006).

Hay infinidad de trabajos que reflejan distintos protocolos de irrigación, por tanto, es muy difícil escoger una única técnica. En este trabajo, en base a la información recogida, recomendamos el siguiente modo de actuación:

- Irrigar continuamente durante todo el procedimiento, preferiblemente con hipoclorito de sodio al 5%, manteniendo siempre la cámara pulpar llena.
- Irrigar con volúmenes grandes de entre 2 a 5 ml por conducto entre cada instrumento.
- Para la última fase de irrigación se recomienda para cada conducto un volumen de 10 ml de hipoclorito de sodio 5% activado mediante sistema de ultrasonidos, seguido de EDTA 17% (5-10 ml) durante 1-2 minutos y, finalmente, irrigar con otros 10 ml de hipoclorito de sodio 5% (Zaccaro et al. 2000), o con clorhexidina

2% (5-10 ml por conducto) en casos de necrosis o retratamiento. Entre cada solución irrigadora realizaremos un lavado abundante con una sustancia inerte (solución salina) para evitar la interacción entre los distintos productos.

### **1.5. EFECTO “VAPOR LOCK”**

La penetración de un líquido en una cavidad con un solo acceso (cavidad de extremo cerrado) depende de muchos factores: las fuerzas de superficie y su tensión superficial, la capilaridad, el ángulo de contacto, la viscosidad del líquido, el tamaño de la cavidad, si ésta es abierta o cerrada...Dependiendo de todos estos factores, una vez que el líquido ha penetrado en la cavidad, ésta puede quedar inundada por completo o, por el contrario, puede quedar una porción de gas, una burbuja de aire, en su interior (Zukoski 1966). En este último caso se habla de “vapor lock” o bloqueo por vapor. Debido a que las raíces de los dientes están rodeadas por el ligamento periodontal y el hueso, que “cierran” el foramen apical, el sistema de conductos se comporta como una cavidad de extremo cerrado, produciéndose el efecto de “bloqueo de vapor” cuando se irriga. Este efecto hace que, en la mayoría de los casos, el irrigante no alcance el tercio apical del conducto (Senia et al. 1971, Tay et al. 2010).

Este fenómeno físico de atrapamiento de aire en el sistema de conductos, tiene un importante papel en la práctica clínica. Así, cuando el irrigante es dispensado con la jeringa en el tercio medio y coronal del conducto radicular, el efecto “vapor lock” hace que la región apical quede excluida de una desinfección adecuada por parte del irrigante. Sin embargo, la inundación completa de un sistema de conductos cerrado puede conseguirse siempre, más tarde o más temprano, si se insiste el tiempo suficiente (horas o hasta días) (Pesse et al. 2005). El hecho de que la irrigación endodóntica se

realice sólo durante minutos, suele impedir la correcta inundación de los conductos radiculares por causa del “vapor lock”.

En un estudio realizado por Senia a principios de los años 70 (Senia et al. 1971), se demostró que el hipoclorito de sodio no alcanzaba los 3 últimos mm de la longitud de trabajo, incluso después de instrumentar el conducto hasta un diámetro apical del 30. Esto podría atribuirse al hecho de que el hipoclorito sódico reacciona con el tejido orgánico de los conductos radiculares y forma rápidamente micro-burbujas de gas en la zona terminal apical que terminan formando una burbuja apical.

Este fenómeno ocurre durante la irrigación por presión positiva, y no se extrapola a otros sistemas, como los de irrigación-aspiración negativa, sistemas sónicos y ultrasónicos, ya que tienen un potencial de generar mayores fuerzas de irrigación (Tay et al. 2010).

## 1.6. SISTEMAS DE DISPENSACIÓN Y ACTIVACIÓN DEL IRRIGANTE

### 1.6.1. Sistemas manuales

#### 1.6.1.1. Jeringa de irrigación con aguja/cánula, irrigación pasiva, irrigación por presión positiva:

La irrigación convencional con jeringa consiste en la entrega de un irrigante en un conducto a través de una aguja/cánula, de medida y diámetro variable, de forma pasiva o con agitación (fig. 2). Ésta, se efectúa moviendo la jeringa arriba y abajo dentro del conducto. Es crucial que la aguja permanezca libre dentro del conducto durante la irrigación. Ésto permite al irrigante refluir y limpiar el conducto con salida en sentido coronal. Algunas de estas cánulas son diseñadas para dispensar el irrigante en su parte más distal, mientras que otras lo son para expulsar el mismo lateralmente (Kahn et al. 1995). Este último diseño ha sido propuesto para mejorar la activación hidrodinámica del irrigante y reducir la probabilidad de extrusión apical (Hauser et al. 2007).

Los factores que han mejorado la eficacia de la jeringa incluyen una mayor proximidad de la aguja al ápice (Sedgley et al. 2005), un mayor volumen de irrigación (Sedgley et al. 2004) y una medida más pequeña de las agujas de irrigación. Sin embargo, cuanto más cercana esté la punta de la aguja al ápice, las probabilidades de extrusión apical van a ser mayores (Ram 1977). Por otro lado, es difícil estandarizar y controlar el caudal de fluido durante la irrigación con jeringa (Boutsioukis et al. 2007).

Este método ha sido abogado como un método eficiente de irrigación antes de la introducción de la activación pasiva ultrasónica (van der Sluis et al. 2006), y todavía es ampliamente aceptada por odontólogos generales y endodoncistas. Sin embargo, la acción de limpieza con la aguja convencional es relativamente débil. Algunas zonas e irregularidades del sistema de conductos pueden albergar restos de tejido y bacterias,

dificultando de esta forma la limpieza del conducto (Wu & Wesselink 2001, Wu et al. 2006). Por otro lado, un estudio ha mostrado que cuando empleamos una jeringa con aguja convencional, la solución de la irrigación es llevada sólo un milímetro más allá de la punta de la misma (Ram 1977). Es decir, que la profundidad de penetración de la solución irrigante y su capacidad para desinfectar túbulos dentinarios es por lo tanto limitada.



Figura 2. Jeringas convencionales con capacidad para distintos volúmenes.

#### 1.6.1.2. Cepillos

Realmente, los cepillos no se utilizan para la entrega del irrigante, sino que trabajan conjuntamente con él para limpiar las paredes del conducto. A principios de los años 90, Keir ya demostró en un estudio la eficacia de estos cepillos en la mejora de la limpieza del canal radicular (Gu et al. 2009). En concreto para dicho estudio se utilizó el Endobrush (C&S Microinstruments Ltd, Markham, Ontario, Canada) en un movimiento activo y en rotación. Con este instrumento se consiguieron mejores resultados que con la desbridación únicamente por instrumentación, pero no podía ser usado a longitud de trabajo ya que se acumulaban de restos del mismo en la zona apical después del



cepillado, además de que por sus dimensiones no podía alcanzar el tercio apical (Gu et al. 2009). Recientemente se ha sido comercializado el Navitip (NaviTip FX; Ultradent Products Inc, South Jordan, UT) (fig. 3). Consiste en una aguja de diámetro 30 recubierta con un cepillo. Un estudio refirió la limpieza mejorada del tercio coronal de un conducto instrumentado y posteriormente agitado con NaviTip FX (Al-Hadlaq et al. 2006). Sin embargo, se llegaron a conclusiones similares con el empleo de cepillos estudiados por Keir (Gu et al. 2009).



Figura 3. Cepillo NaviTip FX

### 1.6.1.3. Irrigación dinámica manual

Como hemos dicho anteriormente, es difícil que el irrigante alcance la porción apical del conducto debido al efecto “vapor lock” (Pesse et al. 2005). Recientemente se ha observado que realizando movimientos superiores e inferiores de 2-3 mm en un conducto con un cono maestro de gutapercha en un conducto instrumentado, se puede mejorar el desplazamiento y cambio del irrigante (McGill et al. 2008, Huang et al. 2008).

Aunque la irrigación manual dinámica haya resultado ser un método de agitación del irrigante medianamente eficaz, además de ser un método simple y rentable, la

naturaleza laboriosa de este procedimiento activado “a mano” dificulta su uso en la práctica clínica. Para hacer este procedimiento más eficaz y rápido, se desarrollaron una serie de dispositivos automatizados diseñados para la agitación del irrigante que están disponibles comercialmente (Gu et al. 2009).

## 1.6.2. Sistemas mecanizados

### 1.6.2.1. Sistemas de alternación de presión

Es deseable que los irrigantes entren en contacto directo con las paredes del conducto para limpiar de una forma eficaz así como para remover el barrillo dentinario. Sin embargo, es difícil para estos irrigantes llegar a la porción apical del conducto debido al atrapamiento de aire, cuando las puntas de la aguja son colocadas demasiado lejos de la zona apical de los conductos. A la inversa, si la punta de la aguja es colocada muy cerca del foramen apical, aumenta el riesgo de extrusión del irrigante a los tejidos periapicales (Hülsmann & Hahn 2000). Una solución plausible para este problema podría ser el uso de sistemas de entrega y aspiración del irrigante de forma contomitante. Ejemplos de estos dispositivos son los sistemas EndoVac ((Discus Dental, Culver City, CA) y RinsEndo (Dürr Dental) (fig. 4A y 4B).

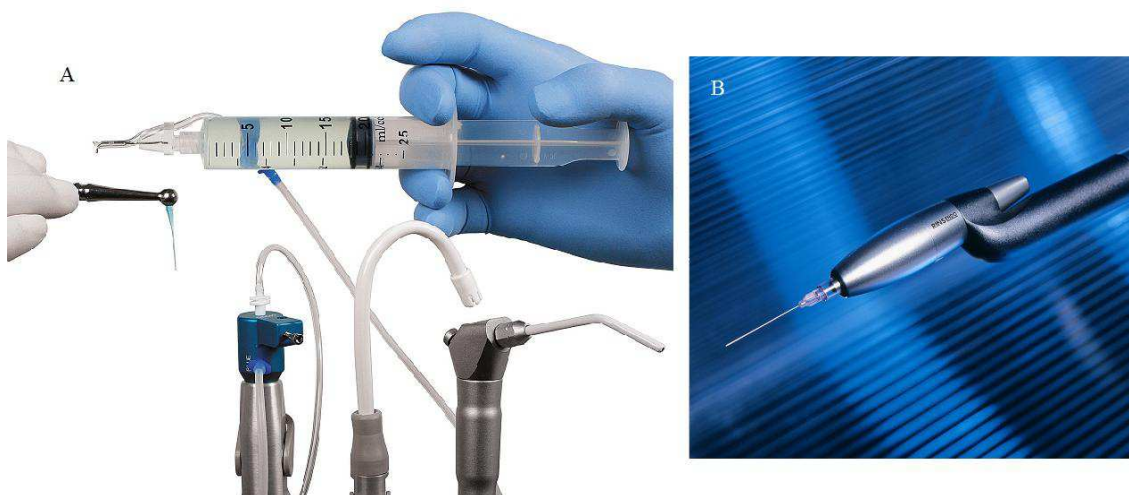


Figura 4. Sistema EndoVac (A) y Sistema RinsEndo (B)

### 1.6.2.2. Irrigación sónica

La activación sónica opera a una frecuencia más baja respecto a la ultrasónica (1-6 kHz). El movimiento oscilante de los dispositivos sónicos es longitudinal, es decir, la energía sónica genera una amplitud significativamente mayor en sentido antero-posterior en la punta. La ventaja de este sistema para su uso en endodoncia es que realiza grandes amplitudes de desplazamiento (Gu et al. 2009). El sistema de irrigación sónica comercializado más recientemente es el EndoActivator System (Dentsply Tulsa Dental Specialities, Tulsa, OK) (fig. 5).



Figura 5. Sistema EndoActivator

La activación sónica ha demostrado ser un método efectivo en la desinfección de los conductos radiculares, y además, (en concreto, el EndoActivator) provoca menos extrusión de irrigante que la irrigación ultrasónica, la irrigación con jeringa convencional y el RinsEndo (Desai et al. 2009). Sin embargo, los sistemas ultrasónicos resultan más efectivos en la remoción de restos dentinarios (Sabins et al. 2003). Por ejemplo, en un estudio reciente se comprobó que no había diferencias estadísticamente significativas entre la remoción de barrillo dentinario del EndoActivator y las jeringas de irrigación tradicionales (Uroz-Torres et al. 2010).

### 1.6.2.3. Irrigación ultrasónica

El ultrasonido es una onda sonora cuya frecuencia supera el límite perceptible por el oído humano (en torno a 20.000 Hz). Hay dos métodos para producir ultrasonidos (Plotino et al. 2007). El primero es mediante la magnetostricción, que es la propiedad de los materiales magnéticos que hace que éstos cambien de forma al encontrarse en presencia de un campo magnético, de manera que las vibraciones son causadas por la frecuencia de las fluctuaciones del campo. El segundo método para la obtención de ultrasonidos se basa en el principio piezoeléctrico, en el que un cristal cambia de tamaño cuando se le aplica una carga eléctrica. La deformación de este cristal se convierte en oscilación mecánica sin producir calor. Éste segundo método posee ciertas ventajas sobre el primero, de modo que es el principio en el que se basan los actuales sistemas ultrasónicos (Gu et al. 2009, Mozo et al. 2010).

Los sistemas de ultrasonidos se usaron por primera vez en odontología para preparar cavidades. El concepto de la “odontología mínimamente invasiva” y el deseo de realizar cavidades de pequeño tamaño supusieron una nueva aplicación de los ultrasonidos para la preparación de cavidades. Además, los dispositivos ultrasónicos habían sido ya ampliamente utilizados en periodoncia antes de que Richman los introdujese en endodoncia en 1957 para la terapia de conductos radiculares con Cavitron © (Plotino et al. 2007, Mozo et al. 2010). Sin embargo, no fue hasta 1980 cuando Martin et al. (Martin et al. 1980) diseñó una unidad ultrasónica que estuvo disponible en el mercado para uso endodóntico.

A pesar de que los sistemas de ultrasonidos son utilizados en odontología con fines terapéuticos y diagnósticos, así como para la limpieza del instrumental antes de la esterilización (Walmsley 1988), actualmente, su principal uso es para realizar tratamientos de raspado y alisado radicular y la terapia de conductos. Entre los usos

más frecuentes de los ultrasonidos en endodoncia, se encuentran: perfeccionamiento del acceso cameral, localizar canales calcificados, eliminación de pulpolitos, eliminación de obstrucciones intrarradiculares (limas rotas, postes radiculares...), aumentar la acción de soluciones irrigadoras, condensación de gutapercha, entrega del agregado trióxido mineral (MTA), tratamiento endodóncico quirúrgico y preparación del canal radicular (Plotino et al. 2007).

Comparada con la energía sónica, la ultrasónica produce frecuencias mayores pero amplitudes menores. Se han descrito varias técnicas de irrigación ultrasónica en la literatura. La primera es la instrumentación ultrasónica (*ultrasonic instrumentation*, UI) en la que se combina la instrumentación y la irrigación ultrasónica simultáneas. Debido a que se producen perforaciones y preparaciones irregulares de forma frecuente, los sistemas UI no son empleados como alternativa a la instrumentación (Gu et al. 2009). La segunda técnica, denominada irrigación pasiva ultrasónica (*passive ultrasonic irrigation*, PUI), opera sin instrumentación simultánea, dispensándose primero la solución irrigadora en el interior del conducto y, a continuación, se la agita y activa con ultrasonidos. De este modo, el conducto debe rellenarse varias veces tras cada ciclo de activación, de manera que conocemos la cantidad de irrigante que fluye por el conducto, y tenemos la posibilidad de controlarla. Una tercera forma de utilizar la irrigación ultrasónica en endodoncia es la irrigación continua ultrasónica (*continuous ultrasonic irrigation*, CUI). En este régimen de irrigación, el irrigante se dispensa de forma continua mientras se agita. De esta forma también podemos controlar el volumen de irrigante administrado, pero no de una forma tan exacta como con la irrigación pasiva. Ambos métodos (tanto PUI como CUI) han mostrado ser eficaces en la eliminación de detritus del conducto (van der Sluis et al. 2006).

A diferencia del sistema UI, la literatura muestra que es más ventajoso aplicar el ultrasonido después de la preparación del conducto radicular (Zehnder 2006).

El término PUI fue empleado por primera vez por Weller (Weller et al. 1980) para describir un mecanismo de irrigación en el que no había ninguna instrumentación o contacto entre las paredes del conducto con un instrumento o punta endodóntica (Jensen et al. 1999). Mediante el uso de PUI, la energía se transmite de la punta oscilante al irrigante presente en el conducto a través de ondas ultrasónicas.

Debido a que el cloro, que es el responsable de la disolución de los tejidos orgánicos y que posee propiedades antibacterianas (Zehnder 2006), es inestable y se consume rápidamente durante la primera fase de la disolución de tejido pulpar, (probablemente en unos 2 minutos), es muy deseable un sistema de entrega que sea capaz de reponer continuamente el irrigante, como hace el sistema CUI (Gu et al. 2009).

Un ejemplo de irrigación pasiva ultrasónica (PUI) es el sistema IrriSafe (NSK; Nakanish Inc, Japan) (fig. 6A); Un ejemplo de irrigación continua ultrasónica (CUI) es el sistema ProUltra PiezoFlow (Dentsply Tulsa Especialidades Dentales) (fig. 6B).

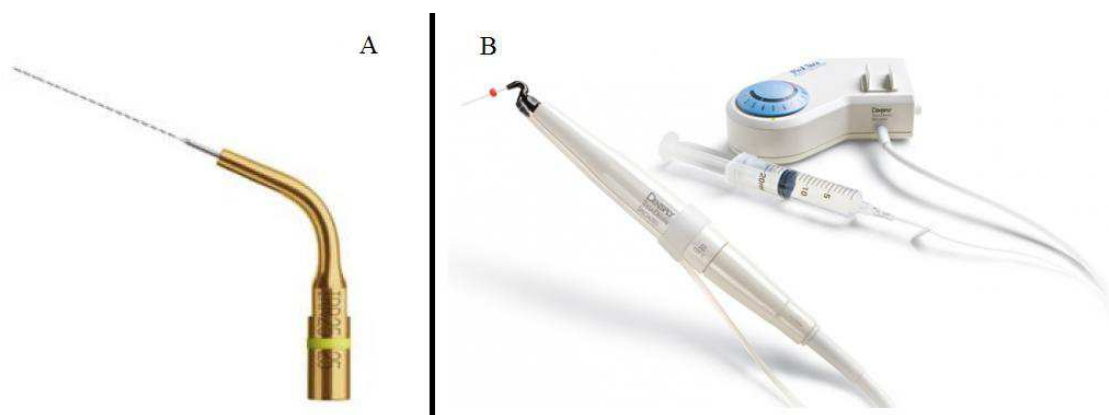


Figura 6. Punta de Sistema IrriSafe (A). Sistema ProUltra PiezoFlow (B)

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

De lo expuesto hasta ahora, podemos concluir lo siguiente:

1) La desinfección del canal radicular mediante la irrigación e instrumentación es el factor más importante en la prevención y tratamiento de la periodontitis apical y, por tanto, es clave para conseguir el éxito en el tratamiento de conductos. Dado que la instrumentación no puede alcanzar toda la extensión del sistema de conductos, la irrigación se convierte en una parte fundamental del tratamiento endodóncico, especialmente en dientes con pulpa necrótica. Mediante la irrigación se desinfectan los conductos y se neutralizan las toxinas bacterianas, se disuelven los restos pulpares, se elimina el barrillo dentinario y se lubrican los instrumentos, mejorando su corte.

2) Entre las soluciones irrigadoras, el hipoclorito sódico a concentraciones del 1% al 5% es la que reúne las mejores propiedades para conseguir los objetivos de la irrigación.

3) Para que la irrigación con hipoclorito sódico sea efectiva, la solución irrigadora debe alcanzar todos los recovecos del sistema de conductos, los conductos laterales y accesorios y, en especial, el tercio apical. En este sentido, un problema principal que se presenta durante la irrigación del conducto radicular, y que claramente puede condicionar el éxito del tratamiento, es el fenómeno del “vapor lock” o bloqueo por vapor. Debido a que las raíces de los dientes están rodeadas por el ligamento periodontal y el hueso, que “cierran” el foramen apical, el sistema de conductos se comporta como una cavidad de extremo cerrado, por lo que el fenómeno del bloqueo de vapor puede impedir que el irrigante alcance el tercio apical del conducto.

4) Para conseguir que la solución irrigadora llegue a toda la extensión del sistema de conductos, se han ideado diferentes sistemas de dispensación y activación del irrigante:

---

la irrigación dinámica manual, los sistemas de alternancia de presión, la activación sónica y la ultrasónica.

Aunque todavía no se ha conseguido un sistema perfecto que responda a todos los requerimientos actuales, la introducción de la activación ultrasónica ha supuesto en la última década un avance muy significativo en la irrigación de los conductos, solucionando el problema del “vapor lock” e incrementando la capacidad de eliminación de los restos de tejido orgánico e inorgánico de las áreas inaccesibles para la instrumentación. Gracias a las investigaciones de los últimos años, estos sistemas de ultrasonidos se han convertido en procedimientos clínicos científicamente probados, más efectivos que los convencionales, y es por ello por lo que su uso debería extrapolarse a la práctica clínica diaria.



### 3. OBJETIVOS.

El objetivo de este trabajo es revisar el estado del conocimiento científico respecto a los sistemas de activación por ultrasonidos de las soluciones irrigadoras en endodoncia, analizando la bibliografía existente en cuanto a cuatro aspectos principales:

1. La eficacia de los sistemas ultrasónicos para erradicar las bacterias del sistema de conductos radiculares.
2. La efectividad de los sistemas de activación ultrasónica del irrigante en la eliminación de los restos pulpares y dentinarios.
3. La capacidad de los sistemas ultrasónicos para eliminar el barrillo dentinario.
4. La validez de los sistemas de activación ultrasónica para conseguir que el irrigante penetre en el conducto principal a la longitud de trabajo, en los conductos laterales y en los túbulos dentinarios y, todo ello, sin provocar la extrusión de la solución irrigadora por el foramen apical hacia el espacio periapical.

#### 4. MATERIAL Y MÉTODOS.

El material científico se obtuvo de las bases de datos PubMed, MEDLINE y Scopus, ofrecidas por el portal web de la Biblioteca de Centros de la Salud de la Universidad de Sevilla. Para la realización de la búsqueda, se utilizaron las siguientes palabras clave: “ultrasonic irrigation AND (ultrasound OR endodontics OR smear layer). Se localizaron los artículos publicados desde enero del año 2000 hasta abril del año 2013, todos ellos en inglés.

Los criterios de selección de los artículos fueron los siguientes:

- Tipo de artículo: Se incluyeron estudios *ex vivo*, *in vivo* y también *in vitro*, debido a que los sistemas ultrasónicos tal y como se conocen hoy en día son algo muy novedoso y la bibliografía existente al respecto es muy limitada.
- Se tomaron aquellos artículos en los que se comparaban los sistemas ultrasónicos (tanto irrigación pasiva como continua) con otros sistemas (manuales y/o mecanizados), y en los que se valoraban uno o más de los cuatro aspectos citados en el apartado de los objetivos.
- Se excluyeron aquellos artículos que evaluaban la capacidad para eliminar el hidróxido de calcio, los que evaluaban aspectos dentro de un único sistema ultrasónico (ej. tipos de puntas ultrasónicas) y los que no utilizaban irrigantes convencionales (diferentes al hipoclorito sódico, clorhexidina, EDTA, EDTAC...).

De los 68 artículos encontrados, se seleccionaron 43 que fueron los que se ajustaron a los criterios de selección.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Para evaluar con precisión los distintos niveles a los que actúan los sistemas ultrasónicos en la irrigación de conductos, se han analizado por separado los 4 aspectos planteados en los objetivos: 1) Capacidad de erradicación de bacterias, 2) Capacidad de eliminación del tejido pulpar y restos de dentina, 3) Capacidad de eliminación del barrillo dentinario y 4) Capacidad de penetración a través del conducto principal a la longitud de trabajo, conductos laterales, túbulos dentinarios, y capacidad de provocar extrusión apical.

Los 43 artículos que cumplían los criterios de inclusión se han agrupado según el tipo de estudio (*in vitro*, *ex vivo* e *in vivo*) y los aspectos tratados en cada uno de ellos, tal como se muestra en la tabla 1:

**Tabla 1. Resumen-Clasificación de artículos totales incluidos en la revisión.**

<b>Tipo de estudio / Aspecto a tratar</b>	<b>Capacidad de eliminación de bacterias</b>	<b>Capacidad de eliminación de detritus</b>	<b>Capacidad de eliminación del barrillo dentinario</b>	<b>Capacidad de penetración del irrigante; Extrusión apical</b>
<b>In vitro</b>	3	8	3	5
<b>Ex vivo</b>	4	13	6	1
<b>In vivo</b>	2	2	0	1
<b>Total subgrupo</b>	9	23	9	7
<b>Total artículos</b>	43*			

\*Cinco artículos del apartado 2 (capacidad de eliminación de detritus) tratan también el tema del apartado 3 (capacidad de eliminación del barrillo dentinario).

### 5.1. CAPACIDAD DE ERRADICACIÓN DE BACTERIAS.

<b>Año</b>	<b>Autor</b>	<b>Tipo ultrasonido</b>	<b>Tiempo de irrigación</b>	<b>Tipo de estudio</b>
2003	Weber et al.	PUI	1 min	Ex vivo
2003	Spoletti et al.	PUI	10 seg	Ex vivo
2007	Carver et al.	CUI	1 min	In vivo
2009	Townsend & Maki	PUI	30 seg	In vitro
2010	Harrison et al.	CUI	1 min	Ex vivo
2010	Bhuva et al.	PUI	40 seg	Ex vivo
2011	Alves et al.	PUI	1 min	In vitro
2012	Halford et al.	PUI	20 seg	In vitro
2012	Paiva et al.	PUI	1 min	In vivo

Tabla 2. Resumen de contenidos apartado 1.

En 2003, Weber et al. (Weber et al. 2003) evaluaron el efecto antimicrobiano residual de la activación pasiva ultrasónica de la clorhexidina al 2% y del hipoclorito sódico al 5,25%. Se utilizaron 94 dientes recién extraídos con raíces que tenían un único conducto, y se prepararon con la técnica de step-down. Se crearon 5 grupos: El grupo 1 consistía en 21 conductos irrigados con CLX 2%; El grupo 2 consistía en 21 conductos irrigados con CLX 2% más 1 minuto de activación con PUI; El grupo 3 consistía en 21 conductos con NaOCl 5'25%; El grupo 4 consistía en 21 conductos irrigados con NaOCl seguido de 1 minuto de activación con PUI, y el grupo 5 (grupo control) consistía en 10 canales con solución salina tamponada con fosfato (PBS). La zona apical de 3-5 mm se cubrió con una capa de esmalte de uñas. Tras el procedimiento, los conductos se lavaron con PBS, se secaron, se rellenaron con PBS, y se almacenaron. A las 6 h, se pipetearon 20µL de líquido de cada canal y se colocaron en pocillos en placas de agar, que fueron inoculados con *Streptococcus sanguinis*. Las placas se incubaron y se midieron las zonas de inhibición. El muestreo se repitió a las 24, 48, 72, 96, 120, 144, y 168 h. Los mejores resultados de actividad residual antibacteriana se obtuvieron para el grupo 2 (CLX seguido de 1 min de PUI), y los peores para el grupo control. Todos

los resultados fueron estadísticamente significativos ( $p < 0'001$ ). Los autores sugieren que al utilizar CLX junto con activación por PUI, quizás no sea necesario emplear tiempo adicional interconsulta con una medicación intraconducto con hidróxido cálcico.

En el mismo año, Spoletti et al. (Spoletti et al. 2003) evaluaron la influencia de la activación por PUI sobre la desinfección de los canales radiculares. Se tomaron 60 dientes y se dividieron en 3 grupos principales: Grupo A: incisivos superiores; Grupo B: caninos superiores; Grupo C: raíces disto-vestibulares de primeros molares superiores, y cada uno de ellos subdivididos en 2 subgrupos: subgrupo 1 (SS), irrigación con solución salina estéril, y subgrupo 2 (SU), irrigación con solución salina estéril y activación por PUI. Todas las piezas fueron esterilizadas en una autoclave. Previo al tratamiento de las piezas, se realizó un inóculo estándar en el interior de los conductos, y se incubaron durante 72h a 37°C. Las piezas fueron instrumentadas mediante la técnica Crown-down, y se llevó a cabo la identificación de las colonias supervivientes. El número de las mismas fue mayor ( $p = 0'001$ ) en los subgrupos en los que no se utilizó la activación con PUI (subgrupos SS).

En un estudio prospectivo, randomizado y doble ciego, Carver et al. compararon en 2007 (Carver et al. 2007) la eficacia antibacteriana in vivo de una técnica manual/rotatoria frente a otra manual/rotatoria/ultrasónica en conductos mesiales de molares mandibulares necróticos de 31 pacientes adultos. Los 31 dientes se dividieron en 2 grupos: El grupo 1 estaba formado por 16 dientes preparados con instrumentación manual y rotatoria e irrigados con NaOCl 6% mediante jeringa. El grupo 2 estaba compuesto por 15 dientes preparados de igual forma que el primero, pero se añadió posteriormente 1 minuto de irrigación continua ultrasónica (CUI; MiniEndo) por conducto. Se tomaron muestras antes y después de la instrumentación y tras aplicar el sistema ultrasónico. Las muestras se incubaron de durante 1 semana a 37°C en ambiente

anaeróbico, y se contabilizaron las colonias CFUs (unidades formadoras de colonias). Se llegó a la conclusión de que la adición de 1 minuto de irrigación ultrasónica resultó en una reducción significativa ( $p=0'0006$ ) del recuento de CFUs y cultivos positivos ( $p= 0'0047$ ).

En 2009, Townsend y Maki realizaron un estudio in vitro (Townsend & Maki 2009) en el que compararon la eliminación mecánica de bacterias mediante 3 sistemas de agitación y 2 de irrigación frente a la agitación ultrasónica (PUI) en un conducto de un modelo de resina. Un total de 42 modelos se dividieron en 7 grupos. El grupo control (C) con medio de cultivo de infusión de cerebro y corazón (BHI) recibió sólo irrigación convencional con jeringa. Los demás grupos inocularon con *Enterococcus faecalis* y se incubaron también con BHI. Los sistemas de irrigación y agitación utilizados fueron: ultrasonidos (MiniEndo II ultrasonic unit), jeringa convencional (Max-i-Probe), EndoVac, EndoActivator, F-File y sistema sónico (pieza de mano sónica Micromega 1500). La agitación del irrigante (agua estéril) se llevó a cabo durante 30 segundos. Las conclusiones del estudio fueron que la agitación ultrasónica fue significativamente más efectiva que la irrigación convencional y el sistema EndoVac en la eliminación bacteriana ( $p<0'05$ ). Sin embargo, no había diferencia estadísticamente significativa entre la agitación ultrasónica y el uso de EndoActivator, F-File y la agitación sónica, y ninguno de los sistemas eliminó por completo todas las bacterias de los modelos.

En 2010, Harrison et al. (Harrison et al. 2010) investigaron la capacidad de un sistema ultrasónico (CUI) para eliminar bacterias de las paredes del conducto radicular y túbulos dentinarios de dientes extraídos. Se inoculó 130 dientes uni-radiculares extraídos con *E. faecalis* durante 4 semanas, utilizando el mismo medio de cultivo que en el estudio anterior (Townsend y Maki 2009), el BHI. Los conductos fueron asignados al azar a un grupo control ( $n = 25$ ) o sometidos a procedimientos de limpieza y

conformación de rutina (n = 105). Tras esto, se crearon 2 subgrupos: En el primero se aplicó irrigación ultrasónica con hipoclorito al 1% durante 1 min (n = 35) o a 1 semana de medicación intraconducto con hidróxido de calcio (n = 35). Las raíces se procesaron para microscopía de luz (tinción Brown&Brenn) (n = 28) o microscopía electrónica de barrido (n = 7). Se efectuaron cortes histológicos por triplicado de cada uno de los tercios apicales, medios y coronales para observar la presencia de bacterias utilizando criterios predefinidos. El estudio concluyó que 1 minuto de irrigación ultrasónica con NaOCl 1% tras la preparación de conductos rectos es un procedimiento altamente eficaz para el control bacteriano, y que se obtenían así resultados equivalentes a 1 semana de medicación intraconducto con hidróxido cálcico. Sin embargo, ninguno de los dos métodos elimina las bacterias en su totalidad.

En el mismo año, Bhuva et al. (Bhuva et al. 2010) realizaron un estudio in vitro para comparar la efectividad de la irrigación de 1% NaOCl con PUI respecto a la misma concentración de dicho irrigante aplicado con jeringa convencional en la erradicación de biofilms de *E. faecalis* en dientes extraídos. Se cultivaron biofilms de *E. faecalis* en 48 mitades de raíces que fueron previamente seccionadas. Tras reensamblar dichas mitades, las raíces se dividieron en 4 grupos (n=12): Los dos grupos experimentales se trataron con 1% NaOCl y jeringa convencional (Grupo experimental A); y 1% NaOCl junto con PUI (Grupo experimental B). De los dos grupos control, en el primero se utilizó una solución salina junto con jeringa convencional (Grupo control C), mientras que el segundo grupo no recibió ningún protocolo de irrigación (Grupo control D). Las mitades se observaron mediante microscopio electrónico de barrido. Las imágenes fueron evaluadas por tres examinadores calibrados. Se determinó que tanto la jeringa convencional como la agitación mediante PUI son igualmente efectivas, eliminando por completo la los biofilms de *E. faecalis*, pero sin existir diferencias estadísticamente

significativas entre ambas técnicas. Es importante señalar que en este estudio se utilizaron sólo 40 segundos de PUI frente a 2 minutos de irrigación mediante jeringa convencional.

Alves et al. realizaron un estudio en 2011 (Alves et al. 2011) para comparar la capacidad de distintos enfoques para complementar el efecto antibacteriano de la preparación químico-mecánica en conductos ovalados. Se tomaron 54 dientes extraídos (incisivos mandibulares y segundos premolares maxilares, todos uni-radiculares y con un solo conducto). Los dientes se infectaron con *E. faecalis*, se prepararon utilizando instrumentación rotatoria e irrigando con NaOCl 2'5% y después se sometieron a dos protocolos adicionales. En un primer grupo se llevó a cabo un lavado final con CLX 0'2% junto con activación mediante PUI (que también se empleó para activar el NaOCl en este grupo). En un segundo grupo, los conductos recibieron conformación extra con limas Hedström. Las muestras bacterianas se tomaron antes y después de la preparación de los conductos, después de la instrumentación con Hedström y de la activación con PUI, y después del lavado final con CLX. La preparación químico-mecánica y los protocolos adicionales consiguieron una reducción bacteriana altamente significativa ( $p < 0'001$ ). Los análisis cualitativos y cuantitativos de las muestras revelaron que el efecto antibacteriano acumulativo de la irrigación final con CLX y PUI resultó efectivo ( $p = 0'04$ ).

Halford et al. realizaron en 2012 un estudio (Halford et al. 2012) para examinar los efectos de la emulsión de micro-burbujas (ME) combinado con la agitación sónica y ultrasónica, y la reducción de biofilm bacteriano en el interior de modelos de conductos radiculares. Para ello se realizaron dos experimentos. En el primero, se utilizaron imágenes a alta velocidad para caracterizar las burbujas generadas por los sistemas de agitación, y en el segundo, se utilizaron 40 conductos de dientes unirradiculares recién



extraídos, inoculados con biofilms de *E. faecalis* con 7 días de crecimiento, y se agitó una solución de NaOCl 5'25% o ME de forma sónica y ultrasónica (PUI). Se formaron 6 grupos experimentales y 1 control (n=10). Se realizaron cortes dentinarios a 1 y 3mm del foramen apical, y se contabilizaron las CFUs. Las conclusiones informan de un efecto sinérgico de ME combinado con la agitación ultrasónica, debido a una mejora del movimiento de las burbujas y de la eficacia antibacteriana frente al biofilm.

Paiva et al. realizaron en 2012 un estudio in vivo (Paiva et al. 2012) para evaluar la capacidad de 2 técnicas diferentes para complementar los efectos antimicrobianos del desbridamiento químico-mecánico. En el estudio participaron 31 pacientes, a cada uno de los cuales se le trató un diente unirradicular de un único conducto con periodontitis apical. Las muestras de los conductos se tomaron al inicio del estudio (grupo S1), después de la preparación con instrumental rotatorio Ni-Ti BioRaCe y de irrigación con NaOCl 2,5% (grupo S2), y a continuación, después de la irrigación con NaOCl 2'5% y activación con PUI (n = 13) y de un lavado final con clorhexidina 2% (n = 14) (grupo S3). Se determinó la incidencia de cultivos positivos para bacterias y hongos, así como (PCR) positiva para bacterias, hongos, y arqueas. Tras el estudio, se llegó a la conclusión de que tanto la activación con PUI como un lavado final con CLX redujeron la incidencia de resultados bacteriológicos positivos cuando se compararon con las muestras tomadas tras la instrumentación, pero no hubo diferencias estadísticamente significativas entre ambos grupos ( $P>0'05$ ).

Discusión: En la mayoría de los estudios analizados se empleó la irrigación pasiva ultrasónica, y se observó que su empleo después de la instrumentación provoca una reducción significativa del número de bacterias, alcanzando resultados mucho mejores que con la jeringa clásica y otros métodos de activación de irrigantes. Este sistema

también causó una reducción considerable en la cantidad de unidades formadoras de colonias (CFU). Estos resultados positivos podrían atribuirse a dos factores principales: la potencia ultrasónica provoca la separación de los biofilms de la pared del conducto, y que la bacteria se hace más permeable al hipoclorito sódico gracias a un debilitamiento temporal de la membrana, es decir, el efecto antibacteriano de la irrigación ultrasónica radica en el efecto sinérgico junto con el irrigante. Por otro lado, si bien la mayoría de los estudios avalan la eficacia de este método, un único artículo de los 9 afirma que la agitación con PUI resultó igual de efectiva que la jeringa convencional (Bhuva et al. 2010), pero como se dijo al comentar dicho estudio, sólo se aplicó la irrigación ultrasónica durante 40 segundos, frente a los 2 minutos durante los que se irrigó con la jeringa convencional en otro grupo. A pesar de la importante efectividad de los ultrasonidos para eliminar las bacterias, algunos reivindican que la erradicación de las mismas de las paredes del conducto no es completa (Spoleti et al. 2003, Townsend & Maki 2009, Harrison et al. 2010).

## 5.2. CAPACIDAD DE ELIMINACIÓN DEL TEJIDO PULPAR Y RESTOS DE DENTINA.

Año	Autor	Tipo ultrasonido	Tiempo de irrigación	Tipo de estudio
2002	Mayer et al.	PUI	1 min	In vitro
2003	Sabins et al.	PUI	30seg-1min	Ex vivo
2004	Ferreira et al.	PUI	1 min	Ex vivo
2004	Lee et al.	PUI	3 min	In vitro
2004	Lee et al.	PUI	3 min	Ex vivo
2005	Gutarts et al.	CUI	1 min	In vivo
2005	Van der Sluis et al.	PUI	3 min	Ex vivo
2006	Van der Sluis et al.	PUI	3 min	Ex vivo
2006	Passarinho-Neto et al.	PUI	1-5 min	In vitro
2007	Burleson et al.	CUI	1 min	In vivo
2007	Lui et al.	PUI	1 min	In vitro
2009	Al-Jadaa et al.	PUI	1 min	In vitro
2009	Kuah et al.	PUI	1-3 min	In vitro
2010	Klyn et al.	PUI	30 seg	In vitro
2010	Rödig et al.	PUI	3 min	Ex vivo
2010	Rödig et al.	PUI	1 min	Ex vivo
2010	Rödig et al.	PUI	1 min	Ex vivo
2011	Adcock et al.	CUI	2 min	Ex vivo
2011	Paqué et al.	PUI	1 min	Ex vivo
2011	Howard et al.	CUI	-	Ex vivo
2012	Jiang et al.	CUI	30 seg	Ex vivo
2012	Curtis et al.	CUI	60 seg	In vitro
2012	Ribeiro et al.	PUI	1 min	Ex vivo

Tabla 3. Resumen de contenidos apartado 2.

En 2002, Mayer et al. (Mayer et al. 2002) evaluaron no sólo la capacidad de los ultrasonidos para eliminar los restos pulpares, sino también para eliminar el barrillo dentinario (este último aspecto será tratado en el siguiente apartado). De un total de 42 dientes unirradiculares de 1 solo conducto (caninos y premolares) obtenidos, se crearon 6 grupos. Los grupos 1, 2 y 3 se instrumentaron con Profile .04 (PF), mientras que los grupos 4, 5 y 6 se instrumentaron con Lightspeed (LS). Todos los conductos fueron irrigados con NaOCl 5'25% y EDTA 17%. Para la activación ultrasónica del irrigante (PUI), en los grupos 2 y 5 se utilizó una lima K n°15 de acero, mientras que en los

grupos 3 y 6 se empleó una lima flexible de Ni-Ti con punta roma. Los grupos 1 y 4 se utilizaron como controles negativos. Las raíces se separaron y las paredes del conducto se examinaron a distintos aumentos mediante un microscopio óptico de barrido. El barrillo dentinario y los restos de tejido se midieron a 3, 6 y 9mm. Aunque todos los grupos tenían significativamente mayor cantidad de barrillo y restos de tejidos a los 3mm comparados con los 9mm ( $p < 0.05$ ), no se encontraron diferencias estadísticamente significativas respecto al empleo de un sistema u otro. Esto puede deberse a que el EDTA se introdujo en el conducto antes de la activación del hipoclorito con ultrasonidos. En este estudio, el EDTA se dejó en el conducto antes de la activación ultrasónica del hipoclorito sódico. No se mencionó que el EDTA fue eliminado previo a introducir el hipoclorito, lo que pudo haber causado que los autores obtuvieran dichos resultados.

Un año más tarde, Sabins et al. realizaron un estudio (Sabins et al. 2003) para determinar si la irrigación sónica y ultrasónica aplicada de forma pasiva durante 30 o 60 segundos podría reducir de forma significativa la cantidad de restos en los conductos de molares maxilares tras instrumentarlos manualmente, y si de ésta manera se podría disminuir el tiempo empleado en la preparación del conducto. Se tomaron 100 conductos de molares superiores y se instrumentaron de forma manual. Los canales se dividieron aleatoriamente en 5 grupos: Grupo 1 (n=20) no recibió tratamiento; Grupos 2 y 3 (n=40) recibieron irrigación sónica durante 30 y 60 segundos respectivamente; Grupos 4 y 5 (n=40) recibieron irrigación ultrasónica (PUI) durante 30 y 60 segundos respectivamente. Las raíces se separaron de forma longitudinal y se fotografiaron con una cámara digital. Se calculó la cantidad de restos pulpares para los últimos 3 y 6mm apicales. El estudio demostró que ambos métodos fueron significativamente más eficaces en la limpieza de los conductos que la instrumentación por sí sola en tan sólo

30 segundos. Al realizar la comparación entre la irrigación sónica y la ultrasónica, esta última resultó ser significativamente más efectiva.

Ferreira et al. realizaron en 2004 un estudio (Ferreira et al. 2004) para evaluar la capacidad de limpieza de los conductos radiculares de la instrumentación rotatoria y la irrigación ultrasónica (PUI). Se utilizaron 12 incisivos mandibulares con un solo conducto y se dividieron de forma aleatoria en 3 grupos según el método de irrigación empleado (todas las piezas se irrigaron con NaOCl 1%): El grupo 1 se irrigó con 5ml de NaOCl mediante jeringa convencional entre cada instrumento; El grupo 2 se irrigó con 5ml de NaOCl, activado durante 1 minuto con ultrasonidos entre cada lima; El grupo 3 se irrigó con 5ml NaOCl con jeringa convencional entre cada lima, y se realizó un lavado final activado por ultrasonidos durante 3 minutos. Tras la preparación químico-mecánica, los tercios apicales se observaron al microscopio. El estudio mostró resultados significativamente más positivos en el grupo 3 (instrumentación rotatoria más 3 minutos de activación ultrasónica final).

Ese mismo año, Lee et al. realizaron un estudio (Lee et al. 2004) para investigar la influencia del diámetro y la conicidad de los conductos radiculares en la efectividad de la irrigación ultrasónica (PUI) para eliminar restos dentinarios colocados de forma artificial en canales radiculares artificiales secundarios no instrumentados. Se utilizaron 36 bloques de resina que se dividieron en 3 grupos (n=12), según se instrumentaran a 20/.04 ProFile (grupo 1), a 20/.06 rotary GT (grupo 2) o a 20/.08 rotary GT (grupo 3). Cada pieza se dividió en 2 mitades longitudinales y se creó en una de las paredes un surco de 4mm de longitud entre los 2-6mm apicales, que posteriormente se rellenó con restos de dentina. Posteriormente se volvieron a unir las 2 mitades y se recubrieron con cera. Para la irrigación se utilizó NaOCl 2% activado ultrasónicamente durante 3 minutos. Se tomaron imágenes con un microscopio y una cámara digital antes y después

de la irrigación. Tras el estudio, los resultados mostraron que la mayor cantidad de restos de dentina se encontraron en el grupo con menor conicidad, pero no hubo diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de mayor conicidad.

En el mismo año, dichos autores realizaron otro estudio, esta vez *ex vivo* (Lee et al. 2004), para comparar la capacidad de la jeringa convencional y la irrigación ultrasónica para eliminar restos dentinarios colocados en irregulares simuladas en el interior de conductos. Se tomaron 12 caninos superiores e inferiores, que se separaron de forma longitudinal. Se creó un surco y 3 pequeños agujeros en cada conducto, en los que se colocó los restos de dentina. Se unieron las mitades de igual forma que en el estudio anterior. Todas las piezas se instrumentaron de igual forma (limas FlexoFile, con la técnica de las fuerzas balanceadas de Roanne), irrigando con 2ml NaOCl 2% entre cada instrumento. La irrigación final con ultrasonidos (PUI) se realizó en 8 piezas, y en las 4 restantes se efectuó la irrigación con jeringa convencional, efectuándose el proceso 2 veces en cada diente, para obtener igual número de piezas tratadas que en el grupo de ultrasonidos, dado que la con la jeringa convencional no se alteran las paredes del conducto. Tras el estudio, se concluyó que la irrigación con ultrasonidos es más efectiva que la jeringa convencional para eliminar restos de dentina en lugares no instrumentados del conducto.

Gutarts et al. realizaron en 2005 un estudio *in vivo* (Gutarts et al. 2005) para comparar la eficacia de eliminar restos de tejido de una preparación manual/rotatoria frente a otra manual/rotatoria/ultrasónica en conductos mesiales de molares mandibulares vitales. El grupo 1 estaba formado por 16 dientes preparados con una técnica manual/rotatoria, mientras que el grupo 2 estaba formado por 15 dientes preparados de igual forma pero seguidos de 1 minuto de irrigación ultrasónica por conducto (CUI). Se utilizaron 5 molares sin instrumentar como grupo control. Tras la

extracción y la preparación histológica, se realizaron cortes transversales cada 0'2mm de 1 a 3mm del ápice. Los resultados revelaron que los porcentajes de limpieza del conducto y del istmo fueron significativamente mayores para el grupo en el que se agitó el irrigante con ultrasonidos, a todos los niveles del ápice. Por tanto, la utilización de 1 minuto de agitación ultrasónica tras la preparación del conducto resulta muy eficaz en la limpieza del conducto radicular (Tablas 4 y 5).

**TABLE 1.** Summary of mean percentage of canal cleanliness ( $\pm$ SE)

Level (mm)	N	(Group 1) Hand/Rotary No Ultrasound	N	(Group 2) Hand/Rotary Ultrasound	p- Value*
1.0	30	75.1 $\pm$ 28.0	25	99.0 $\pm$ 2.4	0.0010
1.2	30	85.1 $\pm$ 20.9	26	99.2 $\pm$ 2.1	0.0328
1.4	31	83.9 $\pm$ 29.0	26	99.5 $\pm$ 1.5	0.0010
1.6	31	88.7 $\pm$ 22.9	26	99.5 $\pm$ 1.9	0.0402
1.8	30	94.5 $\pm$ 12.9	27	99.3 $\pm$ 3.3	0.0024
2.0	29	96.5 $\pm$ 6.1	28	100 $\pm$ 0.1	0.0010
2.2	29	98.6 $\pm$ 3.0	28	99.9 $\pm$ 0.4	0.0402
2.4	29	98.6 $\pm$ 2.1	27	100 $\pm$ 0.1	0.0056
2.6	28	99.0 $\pm$ 2.0	27	100 $\pm$ 0.0	0.0320
2.8	29	99.6 $\pm$ 1.3	27	100 $\pm$ 0.0	0.0056
3.0	29	99.7 $\pm$ 0.6	28	99.8 $\pm$ 0.5	0.1169

\* Bonferroni adjusted p-value.

**TABLE 2.** Summary of mean percentage of isthmus cleanliness ( $\pm$ SE)

Level (mm)	N	(Group 1) Hand/Rotary No Ultrasound	N	(Group 2) Hand/Rotary Ultrasound	p- Value*
1.0	8	15.0 $\pm$ 17.6	3	96.5 $\pm$ 3.5	0.0285
1.2	8	27.7 $\pm$ 31.6	5	89.7 $\pm$ 14.1	0.0285
1.4	9	24.8 $\pm$ 29.4	8	82.9 $\pm$ 29.8	0.0144
1.6	8	37.9 $\pm$ 35.4	8	77.2 $\pm$ 31.8	0.0482
1.8	7	34.3 $\pm$ 35.4	8	91.7 $\pm$ 9.5	0.0285
2.0	9	27.8 $\pm$ 32.9	11	73.3 $\pm$ 37.3	0.0412
2.2	10	27.5 $\pm$ 32.2	10	85.4 $\pm$ 30.5	0.0049
2.4	10	30.9 $\pm$ 34.9	10	86.3 $\pm$ 21.8	0.0030
2.6	10	28.0 $\pm$ 34.4	11	81.8 $\pm$ 29.1	0.0010
2.8	12	32.8 $\pm$ 35.8	11	91.8 $\pm$ 15.3	0.0048
3.0	11	34.1 $\pm$ 35.0	11	94.2 $\pm$ 13.3	0.0030

\* Bonferroni adjusted p-value.

Tablas 4 y 5. Resumen de los porcentajes de limpieza del conducto y del istmo comparando ambos grupos. (113).

En el mismo año, van der Sluis et al. (van der Sluis et al. 2005) realizaron un estudio ex vivo para evaluar la influencia de la conicidad de los conductos en la eficacia de la irrigación ultrasónica para eliminar restos dentinarios colocados artificialmente. Se tomaron 44 caninos superiores e inferiores, y se dividieron en 3 grupos: Grupo 1 (n=14), se instrumentó a 20/.06 System GT; Grupo 2 (n=14) se instrumentó a 20/.08 System GT; Grupo 3 (n=16) se instrumentó a 20/.10 System GT. Cada conducto se

dividió en 2 mitades. En una mitad se creó un surco a 2-6mm del ápice, que se rellenó con restos de dentina. Las mitades se volvieron a unir y se recubrieron con cera. En cada canal se aplicó irrigación ultrasónica (PUI) utilizando NaOCl 2%. Se tomaron imágenes antes y después con un microscopio y una cámara digital. Tras el estudio se llegó a la conclusión de que la irrigación ultrasónica fue más eficaz al eliminar restos de dentina en los molares instrumentados con mayor conicidad.

Un año después, los mismos autores (van der Sluis et al. 2005), realizaron un estudio similar, pero esta vez para determinar la influencia del volumen, irrigante y método de irrigación en la eliminación de restos de dentina de la zona apical de los conductos durante la irrigación pasiva ultrasónica. Se tomaron 15 caninos, y se instrumentaron todos a 20/.10 GT. Al igual que en el estudio anterior, las piezas se separaron en 2 mitades longitudinalmente y se creó un surco en el interior. En el grupo 1, el canal se lavó con flujo continuo de 50ml NaOCl 2% activado ultrasónicamente (PUI); En el grupo 2, no se usó flujo una jeringa convencional con 12ml NaOCl 2%, a 2ml/30 seg; En el grupo 3, se efectuó el mismo procedimiento que en el 2, pero con 6ml NaOCl 2% a 2ml/min. El grupo 4 se trató de la misma forma que el 1, pero utilizando agua como irrigante (grupo control). Dado que las puntas ultrasónicas no dañan la dentina radicular, el proceso se realizó en los mismos 15 dientes. Se tomaron imágenes antes y después de la irrigación. Como conclusiones, se observó que el grupo control (agua como irrigante) no eliminó los restos de dentina de los surcos, mientras que los demás procedimientos sí. Sin embargo, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre los distintos grupos.

En 2006, Passarinho-Neto et al. (Passarinho-Neto et al. 2006) llevaron a cabo un estudio in vitro para evaluar la capacidad de limpieza de la instrumentación rotatoria Ni-Ti (ProFile GT) junto con la irrigación ultrasónica. Se utilizaron 36 incisivos



mandibulares, que fueron instrumentados mediante la técnica Crown-down. Los dientes se asignaron de forma aleatoria a 4 grupos: El grupo 1 se irrigó con 100ml NaOCl 1% mediante jeringa convencional (grupo control); Los grupos 2, 3 y 4 se irrigaron de igual forma que el grupo anterior, pero con 1, 3 y 5 minutos de activación ultrasónica adicional (PUI). Tras la preparación, se realizó una observación histológica de las muestras. Se llegó a la conclusión de que el grupo que eliminó menor cantidad de restos fue el grupo control, mientras que el que mayor cantidad eliminó fue el grupo 4 (5 minutos de irrigación ultrasónica adicional).

Burleson et al. realizaron en 2007 un estudio in vivo, prospectivo, randomizado y simple-ciego (Burleson et al. 2007) para comparar histológicamente la eficacia de eliminación de biofilm y restos de tejido de raíces mesiales de molares necróticos mediante técnica manual/rotatoria frente a otra manual/rotatoria/rotatoria. En el estudio participaron 20 pacientes, tratándose en cada uno un molar inferior. Los dos grupos se instrumentaron de igual forma, pero en el segundo se llevó a cabo una irrigación final adicional mediante ultrasonidos (CUI) durante 1 minuto. Tras la extracción, se realizaron preparaciones histológicas y las tinciones, y se realizaron cortes transversales de 0'2µm de los últimos 1-3mm apicales. Los resultados mostraron que el grupo activado mediante ultrasonidos poseía significativamente mayor capacidad de limpieza tanto en los canales como en los istmos (fig. 7).

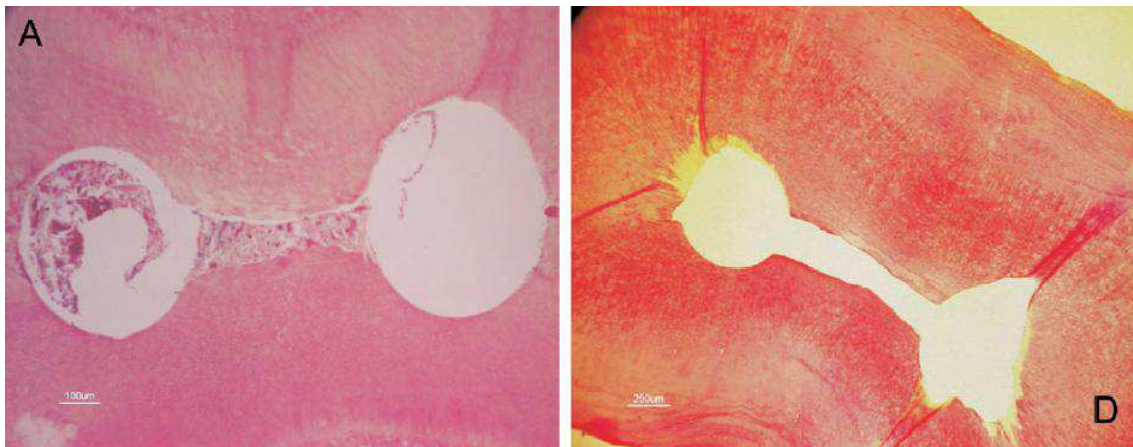


Figura 7. Imágenes histológicas comparativas entre el grupo no activado ultrasónicamente (A) y el grupo activado ultrasónicamente (D). (Burlison et al. 2007).

Lui et al. realizaron en 2007 un estudio in vitro (Lui et al. 2007) para comparar la eficacia de Smear Clear (EDTA 17% con surfactantes añadidos), con y sin el uso de ultrasonidos para la eliminación de restos de tejido y barrillo dentinario. Se extrajeron 75 dientes y se distribuyeron entre 5 grupos. Todos se trabajaron utilizando instrumentación rotatoria (Profile) y se sometieron a distintos regímenes irrigadores finales: El grupo A recibió NaOCl 1%; El grupo B, EDTA 17%; El grupo C EDTA 17% con ultrasonidos (PUI); El grupo D, Smear Clear; y grupo E, Smear Clear con PUI. Las muestras se observaron con microscopio electrónico de barrido y se midió la eliminación de restos de tejido y de barrillo dentinario. Los análisis estadísticos mostraron que los grupos D (sólo Smear Clear) y E (Smear Clear + PUI) no aportaron resultados significativamente mejores que los grupos B y C. Se obtuvieron mejores resultados con el grupo C que con el B.

Al-Jadaa et al. realizaron en 2009 un estudio in vitro (Al-Jadaa et al. 2009) para evaluar si la irrigación pasiva ultrasónica (PUI) de NaOCl 2'5% eliminaría mejor que la disposición pasiva del irrigante los restos necróticos de tejido de los canales accesorios cuando se equilibra la temperatura entre los dos tratamientos. Se tomaron para el estudio

6 modelos de resina, en los que se crearon canales accesorios que fueron rellenados con tejido pulpar necrótico de bovino. Se realizó la agitación por PUI 5 veces durante 1 minuto cada una, reponiendo el irrigante cada vez. Se midió la temperatura del conducto principal cada minuto, y se tomó una fotografía digital. En el grupo control, no se realizó la agitación ultrasónica, sino que se calentó el hipoclorito a la temperatura que alcanzó el grupo experimental, para imitar la temperatura conseguida. Los experimentos se repitieron 5 veces. La conclusión del estudio fue que la irrigación pasiva ultrasónica consiguió significativamente mayor disolución de tejido ( $p < 0,05$ ).

En el mismo año, Kuah et al. (Kuah et al. 2009) evaluaron la efectividad *in vitro* de EDTA 17% con y sin agitación por PUI (Satelec P-Max; Satelac, Merignac, France) para la eliminación de restos de tejido y barrillo dentinario. Se extrajeron 105 premolares que se distribuyeron al azar en 7 grupos. Todos ellos se instrumentaron e irrigaron con diferentes técnicas de lavado final: En el grupo A (Sal3US) se activó una solución salina con ultrasonidos durante 3 minutos; Los grupos B (Na3) y C (Na3US), se irrigaron con NaOCl 1% durante 3 minutos sin y con ultrasonidos respectivamente. Los grupos D (ED3) y E (ED3US) se irrigaron con EDTA 17% durante 3 minutos sin y con ultrasonidos respectivamente. Los grupos F (ED1) y G (ED1US) se irrigaron con EDTA 17% durante 1 minuto sin y con ultrasonidos respectivamente. Las piezas dentales se examinaron con microscopio electrónico de barrido y se evaluó la eliminación de barrillo dentinario y restos de tejido. El estudio mostró que los grupos en los que se aplicó EDTA e irrigación ultrasónica (grupos E y G) tenían significativamente mayor número de piezas con completa remoción de restos de tejido y barrillo dentinario, sin haber diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos. Por tanto, se concluye que la aplicación de 1 minuto de EDTA 17% junto con

activación ultrasónica es eficaz en la eliminación de restos de tejido y barrillo dentinario en la zona apical del conducto radicular.

En 2010, Klyn et al. realizaron un estudio in vitro (Klyn et al. 2010) para comparar la eficacia de eliminación de restos de tejido de EndoActivator, F file, irrigación ultrasónica (PUI) o NaOCl 6% por sí solo en molares inferiores tras la instrumentación manual-rotatoria. Se utilizaron 40 molares inferiores, que se incluyeron en un bloque de resina para simular las condiciones reales, y se seccionaron a 1, 3 y 5mm del ápice, para posteriormente volver a ensamblar las partes. Todos recibieron el mismo procedimiento para la instrumentación rotatoria (Profile GT). Posteriormente se distribuyeron en 4 grupos experimentales (n=10) según el lavado final: Grupo 1, se usó el sistema F file durante 30 segundos para activar 2ml NaOCl 6%; Grupo 2, se usó EndoActivator® durante 30 segundos para activar 2ml NaOCl 6%; Grupo 3, se usó la irrigación ultrasónica (PUI) para activar 2ml NaOCl 6%; Grupo 4, se activó el mismo irrigante mediante una jeringa convencional. Los resultados no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los distintos grupos en la limpieza de los conductos.

En el mismo año, Rödiger et al. (Rödiger et al. 2010) realizaron un estudio ex vivo para comparar la eficacia de la jeringa convencional, RinsEndo® y la irrigación pasiva ultrasónica (PUI) para eliminar los restos de tejido de irregularidades simuladas en conductos radiculares con distintos tamaños de ápice. Se utilizaron para el estudio 30 premolares, que fueron divididos de forma aleatoria entre 3 grupos (n=10), y preparados con instrumentación rotatoria de Ni-Ti (Flex-Master®) a 30/.02, 40/.02 y 50/.02. Los dientes se separaron longitudinalmente y se creó un surco y 3 pequeñas cavidades que se rellenaron con restos de dentina. Posteriormente las partes se volvieron a ensamblar. Para la irrigación se utilizó 30ml NaOCl 1% y activación mediante jeringa

convencional, RinsEndo® y PUI. La cantidad de restos de dentina se evaluó al microscopio con 30x de aumento. La conclusión del estudio fue que la irrigación pasiva ultrasónica es más efectiva que la jeringa convencional y el RinsEndo® en la eliminación de restos de tejido.

De nuevo el mismo año, estos autores desarrollaron un estudio ex vivo (Rödig et al. 2010) para comparar la eficiencia de un sistema sónico (Vibringe), irrigación convencional e irrigación pasiva ultrasónica (PUI) en la eliminación de residuos de irregularidades simuladas en el conducto radicular. Se utilizaron para el estudio 10 incisivos laterales superiores, en los que se crearon dos surcos en las partes apical y coronal, y que se rellenaron con restos de dentina. El irrigante utilizado fue NaOCl 1%. Las muestras se observaron mediante un microscopio a 30x de aumento por dos dentistas calibrados. Las conclusiones del estudio fueron que la irrigación pasiva ultrasónica es significativamente más efectiva que los otros 2 sistemas ( $p < 0'0001$ ), y que la irrigación sónica aportó mejores resultados que la jeringa convencional.

Nuevamente, los mismos autores realizó en 2010 un estudio ex vivo (Rödig et al. 2010) para evaluar la capacidad de diferentes técnicas de agitación para eliminar los detritus y barrillo dentinario en raíces curvas. Se tomaron raíces curvas de 108 molares mandibulares, y se prepararon con instrumentos de Ni-Ti y un lavado final de NaOCl y EDTA. Las muestras se asignaron a 4 grupos ( $n=20$ ) y se sometieron a los distintos regímenes de irrigación-agitación: No agitación (control), ultrasonidos (PUI), EndoActivator y cepillo CanalBrush. Las raíces se separaron en sentido longitudinal y se observaron con el microscopio electrónico de barrido. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los distintos grupos en cuanto a la eliminación de detritus. EndoActivator resultó más efectivo que la agitación ultrasónica y el CanalBrush.

En 2011, Adcock et al. (Adcock et al. 2011) compararon en un estudio ex vivo la eficacia de la jeringa convencional y la irrigación continua ultrasónica para eliminar restos en raíces mesiales de primeros molares inferiores con istmos estrechos utilizando un sistema cerrado de conductos. Se seleccionaron 20 piezas, las cuales se sellaron en el ápice con polinivilsiloxano para simular un sistema de conductos cerrados, y se instrumentaron a 40/04 con limas rotatorias ProFile Vortex de Ni-Ti. Se crearon dos grupos: Grupo 1 (n=10), los conductos se irrigaron con 15ml NaOCl 6%, seguido de EDTA 17% mediante jeringa convencional; Grupo 2 (n=10), se realizó el mismo procedimiento que en el grupo 1, pero activando los irrigantes mediante irrigación ultrasónica (CUI) durante 2 minutos. Las piezas se desmineralizaron, se prepararon histológicamente, y se seccionaron transversalmente de 1 a 2'8mm del ápice. Se tomaron imágenes para analizar las muestras. Los análisis indicaron que no había diferencias estadísticamente significativas entre los dos métodos en cuanto a la limpieza general del conducto, pero la agitación mediante CUI sí mostró ser significativamente superior a la jeringa convencional en la limpieza de los istmos (fig. 8)

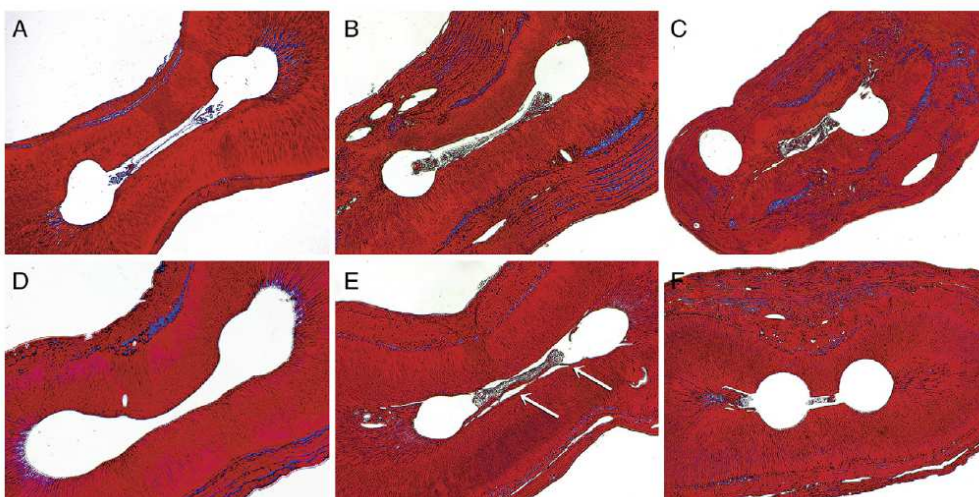


Figura 8. Comparación entre cortes histológicos de conductos irrigados con jeringa convencional a 2'8 (A), 2 (B) y 1mm (C) del ápice y de conductos cuyo irrigante se activó con ultrasonidos a 2'8 (D), 2 (E) y 1mm (F) del ápice. (Adcock 2011).

En el mismo año, Paqué et al. (Paqué et al. 2011) realizaron un estudio ex vivo para investigar el impacto de procedimientos de irrigación secuencial en los niveles de restos de tejidos duros acumulados en el sistema de conductos de raíces mesiales de molares inferiores. Se utilizaron para el estudio 20 molares inferiores, que fueron instrumentados utilizando el sistema rotatorio ProTaper, e irrigados con 1ml NaOCl 1%, seguidos de un lavado final con 5ml de la misma solución y EDTA 17%. Para simular un sistema cerrado de conductos, los ápices se sellaron con cera. A continuación, se utilizó la irrigación pasiva ultrasónica (PUI) durante 3 ciclos de 20 segundos para activar el irrigante. Para el análisis de las muestras se realizó un escáner  $\mu$ CT (al principio, tras la instrumentación e irrigación con NaOCl, tras la irrigación con EDTA y después de PUI). Los resultados mostraron que el EDTA y la irrigación con PUI producen un efecto estadísticamente significativo en la eliminación de los restos de tejido, aunque quedaron muchas zonas del conducto sin limpiar.

Howard et al. realizaron ese mismo año un estudio in vitro (Howard et al. 2011) para comparar la efectividad de la capacidad de eliminar detritus de EndoVac y PiezoFlow (CUI), y la jeringa convencional (Max-i-Probe) en molares mandibulares. Se tomaron las raíces mesiales de 30 molares mandibulares, que se incluyeron en resina utilizando el K-Kube, y se seccionaron a 2 y 4mm del ápice. Las muestras se volvieron a ensamblar y se instrumentaron. Se tomaron imágenes de los conductos y los istmos antes de la fase de lavado final. El porcentaje de limpieza de cada canal e istmo se calculó mediante un software interactivo. Las muestras se volvieron a ensamblar para el lavado final con EndoVac, PiezoFlow y Max-i-Probe con los mismos volúmenes de irrigante (2ml de 2% NaOCl y 2ml de 17% EDTA). Se volvieron a tomar imágenes para evaluar la cantidad de detritus eliminada. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la limpieza de los conductos e istmos entre las 3

técnicas antes y después del lavado final. Cabe señalar que en este estudio no se tuvo en cuenta un aspecto tan importante como es el tiempo de aplicación de cada sistema de agitación de irrigantes.

En 2012, Jiang et al. realizaron un estudio *ex vivo* (Jiang et al. 2012) para comparar la eficacia de eliminación de restos de dentina de surcos artificiales creados en conductos radiculares mediante seis técnicas diferentes de irrigación final. Se tomaron 20 caninos superiores que se incluyeron en resina y se separaron longitudinalmente para crear un surco longitudinal de 4mm de longitud a 2-6mm del ápice que se rellenó con restos de dentina. Las partes se volvieron a ensamblar y se instrumentaron con sistema rotatorio GT. Los sistemas evaluados fueron: Irrigación convencional con jeringa, irrigación dinámica manual con gutapercha, el sistema por presión Safety Irrigator (estos tres durante 1 minuto), la irrigación continua ultrasónica (CUI) (durante 30 segundos) y un sistema por presión negativa (ANP) (durante 50 segundos). El irrigante que se utilizó fue 2ml NaOCl 6%. Tras esto, se fotografiaron los surcos y se evaluó la cantidad de restos de dentina restantes. Al finalizar el estudio se concluyó que el sistema CUI fue el más efectivo de todos ( $p < 0'001$ ), y la jeringa convencional fue el menos efectivo ( $p < 0'005$ ).

En el mismo año, Curtis et al. realizaron un estudio *in vitro* (Curtis et al. 2012) para comparar un sistema de irrigación continua ultrasónica con la irrigación convencional con jeringa como métodos de irrigación final en la limpieza de la zona apical del conducto radicular. Se extrajeron 46 dientes (incisivos centrales superiores, laterales, caninos, incisivos centrales inferiores, laterales y primeros premolares), de los cuales se emparejaron 40. Los conductos se prepararon con instrumental rotatorio Profile a 29/.04 e irrigación con NaOCl 6%. Un diente de cada par se asignó al azar para recibir irrigación final con jeringa convencional o CUI. Se emplearon 5 ml de NaOCl 6%, 5 ml



de EDTA 15%, y 5ml NaOCl 6%. Se obtuvieron secciones a 1 y 3 mm de la longitud de trabajo, se tiñeron con hematoxilina-eosina, y se observó al microscopio a 100x la presencia de residuos. Tras el estudio se concluyó que la irrigación final con CUI en comparación con la irrigación convencional con jeringa deja significativamente menos desechos presentes en los conductos radiculares a 1 y 3 mm de la longitud de trabajo.

Ribeiro et al. realizaron en el mismo año un estudio ex vivo (Ribeiro et al. 2012) para evaluar tanto la eliminación de restos de tejido como de barrillo dentinario por parte de distintas técnicas de irrigación. Cincuenta incisivos inferiores se dividieron en 5 grupos (n=10) según la técnica utilizada: irrigación convencional con jeringa, irrigación con jeringa cubierta por cepillo NaviTip, irrigación dinámica manual, irrigación pasiva ultrasónica, y sistema de irrigación por presión negativa (EndoVac). Como solución irrigadora se utilizó 5ml NaOCl 2'5% entre cada instrumento y se realizó un lavado final con EDTA 17% durante 1 minuto. Tras la instrumentación, las raíces se separaron en sentido longitudinal y se observaron por tres examinadores calibrados con un microscopio electrónico de barrido, haciendo distinción entre tercios radiculares. Tras el estudio se concluyó que la irrigación dinámica manual dejó mayor cantidad de restos que los demás métodos, mientras que la irrigación ultrasónica (PUI) y EndoVac fueron los más efectivos ( $p < 0'05$ ).

Discusión: En la mayoría de los estudios analizados se empleó la irrigación pasiva ultrasónica. Hay un consenso general de que la irrigación con PUI es más efectiva en la eliminación de detritus que la jeringa convencional, lo que puede deberse a la mayor velocidad y volumen de irrigante. Además, la oscilación de la lima puede provocar que los irrigantes lleguen a zonas poco accesibles así como tener una mayor capacidad para eliminar una mayor cantidad de detritus. El empleo de CUI también avala estos resultados, especialmente en la limpieza de los istmos (Adcock et al. 2011).

### 5.3. CAPACIDAD DE ELIMINACIÓN DEL BARRILLO DENTINARIO.

<b>Año</b>	<b>Autor</b>	<b>Tipo ultrasonido</b>	<b>Tiempo de irrigación</b>	<b>Tipo de estudio</b>
2002	Mayer et al.	PUI	1 min	In vitro
2002	Guerisoli et al.	PUI	1 min	Ex vivo
2007	Lui et al.	PUI	1 min	In vitro
2008	Chopra et al.	PUI	1 min	Ex vivo
2009	Kuah et al.	PUI	1-3 min	In vitro
2010	Rödig et al.	PUI	1 min	Ex vivo
2011	Blank-Gonçalves et al.	PUI	1 min	Ex vivo
2011	Saber et al.	PUI	30 seg	Ex vivo
2012	Ribeiro et al.	PUI	1 min	Ex vivo

Tabla 6. Resumen de contenidos apartado 3.

En el estudio de Mayer et al. comentado en el apartado anterior (Mayer et al. 2002), además de evaluar la capacidad de los ultrasonidos para eliminar los restos pulpares, también evaluaron la eliminación del barrillo. Como se dijo anteriormente, aunque todos los grupos tenían significativamente mayor cantidad de barrillo a los 3mm comparados con los 9mm ( $p < 0.05$ ), no se encontraron diferencias estadísticamente significativas respecto al empleo de un sistema u otro, lo que puede deberse al protocolo seguido en la realización del estudio.

En el año 2002, Guerisoli et al. (Guerisoli et al. 2002) evaluaron la capacidad de diferentes soluciones irrigadoras acompañadas de agitación con ultrasonidos (PUI) para la eliminación del barrillo dentinario. Se tomaron 20 incisivos mandibulares recién extraídos con un solo conducto y se dividieron en 4 grupos iguales. Se instrumentaron tres de los grupos usando la técnica modificada de doble conicidad, y un cuarto grupo no se instrumentó. Las paredes de los conductos de los grupos 1 y 2 se cubrieron con barrillo dentinario (controles positivos). El primer grupo se irrigó con agua destilada, el segundo sólo con NaOCl 1% y en el tercer grupo se asoció NaOCl 1% con EDTAC

15% entre cada lima. El cuarto grupo (control negativo), que no se instrumentó, se irrigó con NaOCl 1% y EDTAC 15%. En todos los grupos se empleó una lima nº15 para agitar de forma ultrasónica durante 1 minuto los distintos irrigantes. Los dientes se dividieron longitudinalmente y se midieron las raíces para obtener tres secciones del mismo tamaño (cervical, medio y apical). Las muestras fueron examinadas bajo el microscopio electrónico de barrido y se evaluó la cantidad de barrillo dentinario por tres examinadores independientes y calibrados. El sistema de puntuación oscilaba desde 1 (sin capa de barrillo) a 4 (todas las regiones cubiertas por la capa de barrillo). Finalmente, se concluyó que los conductos irrigados con NaOCl 1% y EDTAC 15% seguido de agitación ultrasónica tenían menos barrillo dentinario ( $p < 0'001$ ), mientras que en el grupo en el que sólo se utilizó agua destilada y NaOCl 1% sólo no se eliminó el barrillo. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los distintos grupos respecto a los tercios radiculares.

En el artículo de Lui et al. ya comentado en el apartado anterior (Lui et al. 2007), realizaron un estudio in vitro para comparar la eficacia de Smear Clear (EDTA 17% con surfactantes añadidos), con y sin el uso de ultrasonidos para la eliminación de restos de tejido y barrillo dentinario. Los análisis estadísticos mostraron que los grupos D (sólo Smear Clear) y E (Smear Clear + PUI) no aportaron resultados significativamente mejores que los grupos B y C. Se obtuvieron mejores resultados en el grupo C que en el B. La adición de surfactantes al EDTA (Smear Clear) no ofreció resultados mejores en la eliminación del barrillo dentinario. El uso de EDTA 17% con PUI mejoró la eliminación del barrillo dentinario, especialmente en la zona apical.

Un año más tarde, Chopra et al. (Chopra et al. 2008) compararon la efectividad de limas F ProTaper y ultrasonidos para eliminar el barrillo dentinario de conductos instrumentados cuando se irrigaron con NaOCl y EDTA. Sesenta premolares sanos se

instrumentaron y se dividieron en 6 grupos iguales: Los grupos 1, 2 y 3 se irrigaron con un lavado final de 10ml EDTA 17% y 10 ml NaOCl 6%. En el grupo 1 se utilizó la lima F-file ProTaper durante 30 segundos para activar los irrigantes; En el grupo 2, se usó una lima K n°20 con el aparato de ultrasonidos (PUI) durante 1 minuto; En el grupo 3, se empleó únicamente la técnica convencional con jeringa. El grupo 4 (grupo control) se utilizó una solución salina, introducida en el conducto mediante la técnica convencional con jeringa, sin lavado final. Los grupos 5 y 6 se irrigaron únicamente con 10ml NaOCl 6% como lavado final, sin utilizar EDTA. En el grupo 5 el irrigante se activó mediante la lima F-file ProTaper durante 30 segundos y el grupo 6 se activó mediante una lima K n°20 con el aparato de ultrasonidos (PUI) durante 1 minuto. La eliminación del barrillo dentinario se visualizó mediante microscopio electrónico de barrillo. Se mostró poca diferencia entre los grupos cuyos irrigantes fueron activados con sistema ProTaper y PUI. El efecto de la activación ultrasónica parece ser auto limitante con alto volumen de irrigante. Los tratamientos más efectivos para eliminar el barrillo dentinario fueron aquellos en los que se utilizó el EDTA, es decir, la eliminación del barrillo dentinario está principalmente influenciado por el empleo de EDTA, no por el sistema de activación.

En el estudio ya comentado en el apartado anterior de Kuah et al. (Kuah et al. 2009) se evaluó la efectividad in vitro de EDTA 17% con y sin agitación por PUI (Satelec P-Max; Satelac, Merignac, France) para la eliminación del barrillo dentinario. Como dijimos anteriormente, el estudio mostró que los grupos en los que se aplicó EDTA e irrigación ultrasónica (grupos E y G) tenían significativamente mayor número de piezas con completa remoción de barrillo dentinario y restos de tejido, sin haber diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos. Por tanto, se concluye que la aplicación de 1 minuto de EDTA 17% junto con activación ultrasónica es eficiente y eficaz en la eliminación de barrillo dentinario y restos de tejido en la zona apical del conducto radicular.

Como ya se comentó en el apartado anterior, en el tercer artículo de Rödíg et al., estos autores realizaron en 2010 un estudio ex vivo (Rödíg et al. 2010) para evaluar la capacidad de diferentes técnicas de agitación para eliminar los detritus y barrillo dentinario en raíces curvas. En la zona coronal, la agitación de irrigantes produjo una eliminación mayor de barrillo dentinario que en el grupo control. EndoActivator resultó más efectivo que la agitación ultrasónica y el CanalBrush.

Blank-Gonçalves et al. realizaron un estudio en 2011 (Blank-Gonçalves et al. 2011) para evaluar la efectividad de diferentes técnicas agitadoras de irrigantes en la eliminación de barrillo dentinario conductos curvos. Se tomaron conductos mesio-vestibulares de 62 molares inferiores y se instrumentaron con el sistema ProTaper. Las muestras se dividieron en 3 grupos de acuerdo a la técnica irrigadora final: irrigación convencional, sónica (EndoActivator) o irrigación pasiva ultrasónica (P5 Satelec; Dentsply) acompañada de lima K nº15 de acero inoxidable. El grupo control estaba compuesto por 2 piezas que no recibieron ninguna irrigación final. En todos los grupos se utilizó 5ml EDTA 17% durante 1 minuto y 5ml de NaOCl 2'5% durante 30 segundos. El análisis de la zona apical se realizó mediante microscopía electrónica por 3 examinadores. Como conclusión se obtuvo que la agitación sónica y ultrasónica eliminaron significativamente más barrillo dentinario en el tercio apical que la irrigación convencional, siendo el método PUI ligeramente superior (80% eliminación de barrillo frente a 75% de irrigación sónica) (fig. 9).

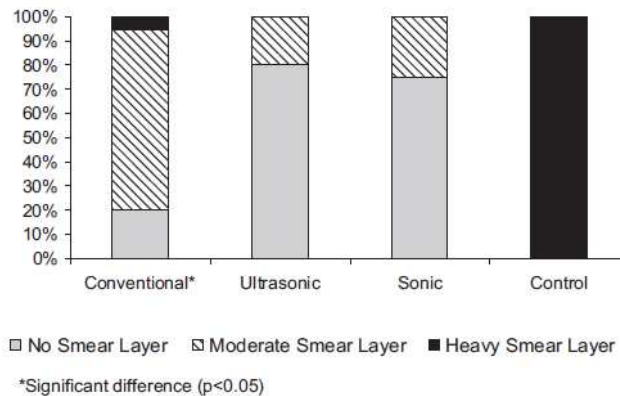


Figura 9. Comparación entre grupos según la cantidad de barrillo dentinario. (Blank-Gonçalves et al. 2011)

En 2011, Saber et al. (Saber et al. 2011) realizaron un estudio para comparar la eliminación de barrillo dentinario después de la activación final del irrigante con presión negativa (ANP), agitación dinámica manual (MDA) e irrigación pasiva ultrasónica (PUI). Para ello se utilizaron 40 premolares mandibulares unirradiculares que se decoronaron a la longitud estandarizada de 16mm. Se prepararon mediante el sistema ProTaper y 2'5% NaOCl. Las muestras se dividieron en 4 grupos iguales (n=10) de acuerdo con la técnica de irrigación final: Grupo 1, irrigación pasiva; Grupo 2, presión negativa (EndoVac); Grupo 3, agitación dinámica manual; Grupo 4, irrigación pasiva ultrasónica (PUI). Las raíces se separaron longitudinalmente y se examinó la presencia de barrillo dentinario mediante microscopio electrónico de barrido. Tras el estudio se concluyó que la activación final con presión negativa y la agitación manual eliminaron más barrillo dentinario que la irrigación pasiva y PUI. Esta falta de eficacia en la eliminación del barrillo por parte de los ultrasonidos, probablemente se deba al tamaño de la punta ultrasónica utilizada (25/00), que era muy pequeña para el diámetro de la preparación de los conductos (40/06), además de que la potencia empleada durante la aplicación de este sistema fue demasiado débil como para permitir una adecuada transmisión de los ultrasonidos con una punta tan pequeña.

En el estudio de Ribeiro et al. comentado anteriormente (Ribeiro et al. 2012), se evaluó tanto la eliminación de restos de tejido como de barrillo dentinario por parte de distintas técnicas de irrigación. Tras el estudio se concluyó que respecto a la eliminación del barrillo, no hubo diferencia estadísticamente significativa entre grupos (a pesar de que las imágenes obtenidas mostraran túbulos mucho más abiertos en el grupo irrigado con PUI).

Discusión: En todos los estudios analizados se empleó la irrigación pasiva ultrasónica. Hay un consenso general de que la irrigación con PUI es más efectiva en la eliminación del barrillo dentinario que cuando esta técnica de activación no se utiliza, y que es ligeramente superior a otros métodos de agitación de irrigantes. Sin embargo, en uno de los estudios se dice que es el irrigante (normalmente EDTA) el que realmente ejerce la eliminación del barrillo dentinario, y que la acción del PUI es potenciadora de la actividad quelante (Chopra et al. 2008). En uno de los artículos en los que no se aprecian buenos resultados en la eliminación del barrillo por parte de los ultrasonidos, se afirma que dicho hallazgo se deba al empleo de una punta ultrasónica pequeña y a una potencia demasiado baja para dicho tamaño (Saber et al. 2011).

**5.4. CAPACIDAD DE PENETRACIÓN DE LA SOLUCIÓN IRRIGADORA: EN CONDUCTOS LATERALES, TÚBULOS DENTINARIOS Y A LA LONGITUD DE TRABAJO. SEGURIDAD DE LA IRRIGACIÓN ULTRASÓNICA: EXTRUSIÓN APICAL.**

<b>Año</b>	<b>Autor</b>	<b>Tipo ultrasonido</b>	<b>Tiempo de irrigación</b>	<b>Tipo de estudio</b>
<b>2009</b>	Desai & Himel	CUI	30 seg	In vitro
<b>2009</b>	De Gregorio et al.	PUI	1 min	In vitro
<b>2010</b>	De Gregorio et al.	PUI	30 seg	In vitro
<b>2010</b>	Paragliola et al.	PUI	20 seg	Ex vivo
<b>2011</b>	Mitchell et al.	PUI	30 seg	In vitro
<b>2012</b>	Castelo-Baz et al.	PUI-CUI	1 min	In vitro
<b>2012</b>	Muñoz & Camacho-Cuadra	PUI	30 seg	In vivo

Tabla 7. Resumen de contenidos apartado 4.

Desai y Himel evaluaron en 2009 la seguridad de varios sistemas de irrigación intraconducto midiendo la extrusión apical del irrigante (Desai & Himel 2009). Para el estudio se tomaron 22 dientes unirradiculares, que fueron instrumentados y asegurados a través de la tapa de un vial de centelleo para recoger todo el irrigante extruido apicalmente. Una bomba de presión liberó cantidades controladas de irrigante a un flujo constante. Los sistemas de irrigación utilizados fueron EndoVac Micro y Macro Cánula, EndoActivator, irrigación dinámica manual con jeringa Max-I-Probe, irrigación continua ultrasónica (CUI; Spartan MTS) y RinsEndo. Todos los irrigantes se probaron en los mismos 22 dientes para evitar diferencias en la anatomía de conductos y diámetro apical. Como conclusiones, los grupos de los sistemas EndoVac Micro y Macro cánulas no provocaron extrusión del irrigante, no existiendo diferencia estadísticamente significativa entre ambos grupos y el grupo del sistema EndoActivator. Entre los grupos que provocaron extrusión del irrigante, el EndoActivator causó menor extrusión que los grupos de irrigación manual, ultrasónica



y sónica de manera estadísticamente significativa. El problema principal respecto al protocolo de este estudio (y que reconocen los propios autores) es que no se simulan las condiciones normales de la clínica, en las que el tejido periodontal y el hueso proporcionan resistencia a la extrusión apical, debido al fenómeno de vapor lock. En este caso, el modelo correspondería a una situación en la que el ápice del diente está abierto a la presión atmosférica, como sería el caso de un conducto incluido en el seno maxilar, donde no hay recubrimiento ni resistencia apical.

En un estudio realizado por de Gregorio et al. en 2009 (de Gregorio et al. 2009), se evaluó la penetración del hipoclorito de sodio al 5'25% solo y en combinación con EDTA 17% en conductos laterales simulados mediante activación sónica y ultrasónica. Se crearon 480 conductos laterales en 80 dientes extraídos y posteriormente diafanizados, mediante limas K 06 a 2, 4'5 y 6mm de la longitud de trabajo. Las muestras se rodearon de silicona transparente para simular la presencia circundante de los tejidos periodontales. Las piezas se asignaron de forma aleatoria a cuatro grupos: Grupo 1 (n=20), irrigado con NaOCl 5'25% activado sónicamente; Grupo 2 (n=20) irrigado con NaOCl 5'25% activado ultrasónicamente; Grupo 3 (n=20) irrigado con NaOCl 5'25% más EDTA 17% activados sónicamente; y grupo 4 (n=20), irrigado con NaOCl 5'25% más EDTA 17% activados ultrasónicamente. La irrigación sónica se efectuó con Endoactivator, liberando el irrigante a 2mm de la longitud de trabajo durante 1 minuto. La irrigación mediante ultrasonidos (PUI) se realizó con una punta ultrasónica de acero inoxidable, a 2mm de la longitud de trabajo y a 3 ciclos de 20 segundos. Las muestras se evaluaron mediante la observación directa de las imágenes grabadas con un microscopio y por la evaluación radiográfica posterior a la irrigación con una solución de contraste. De la realización del estudio se concluyó que tanto la activación sónica como la ultrasónica ofrecieron una mejor

irrigación de los conductos laterales a 2 y 4'5 mm de la longitud de trabajo en comparación con la irrigación convencional. No se observó diferencia estadísticamente significativa entre la irrigación sónica y la ultrasónica, ambos resultaron igual de efectivos. La adición de EDTA no favoreció la mejor penetración de los irrigantes en los canales laterales.

El mismo autor, en un trabajo realizado un año después (de Gregorio et al. 2010), evaluó el efecto de distintos sistemas de irrigación y activación en la penetración del hipoclorito de sodio en conductos laterales simulados y a la longitud de trabajo en un sistema cerrado. Se utilizaron 100 dientes unirradiculares, creándose un total de 600 canales laterales a las mismas distancias de la longitud de trabajo que en el estudio anterior (2, 4'5 y 6mm). Para simular la situación clínica real, se creó un sistema cerrado cubriendo cada raíz con cera de verano. Las raíces se asignaron aleatoriamente a 4 grupos experimentales: El grupo 1 (n=20) recibió activación sónica; El grupo 2 (n=20) recibió activación por PUI; El grupo 3 (n=20) recibió activación mediante sistema F file (lima de plástico de superficie lisa); El grupo 4 (n=20) recibió irrigación mediante un sistema de presión negativa; y por último el grupo 5 (n=20) recibió irrigación mediante un sistema de presión positiva (grupo control). Las muestras se evaluaron de igual forma al trabajo anterior. Los resultados demostraron que el grupo que recibió la irrigación por presión negativa fue el que más se acercó a la longitud de trabajo, mientras que el grupo activado mediante el sistema PUI fue el más efectivo en la penetración de canales laterales.

En el mismo año, Paragliola et al. (Paragliola et al. 2010) examinaron el efecto de distintos protocolos de agitación de irrigantes en la penetración de un irrigante endodóntico en los túbulos dentinarios. 56 dientes unirradiculares se prepararon con instrumentos de NiTi, y un lavado final con NaOCl 5% marcado con alizarina roja

02%. Para imitar la situación real, la zona exterior del tercio apical se cubrió con cera para evitar la salida del irrigante a través del foramen. Las piezas se asignaron a 7 grupos (n=8) y se sometieron a los distintos protocolos de activación de irrigantes: Grupo 1 (control), no recibió agitación del irrigante; Grupo 2, agitación con sistema K-file; Grupo 3, agitación dinámica manual con gutapercha; Grupo 4, agitación sónica con Plastic Endo; Grupo 5, agitación sónica con EndoActivator; Grupo 6, agitación ultrasónica con Satelec (PUI); Grupo 7, agitación ultrasónica con EMS (PUI). Las piezas se seccionaron a 1, 3 y 5mm del ápex y se prepararon para microscopía por fluorescencia. Los grupos que aportaron mejores resultados fueron aquellos cuyo irrigante fue agitado mediante ultrasonidos, sin haber diferencia entre ambos. A 1mm del ápice, el mejor resultado se obtuvo en el grupo EMS. Por tanto, los resultados apoyan el uso de agitación ultrasónica para aumentar la efectividad del lavado final en las paredes del conducto en el tercio apical (fig. 10).

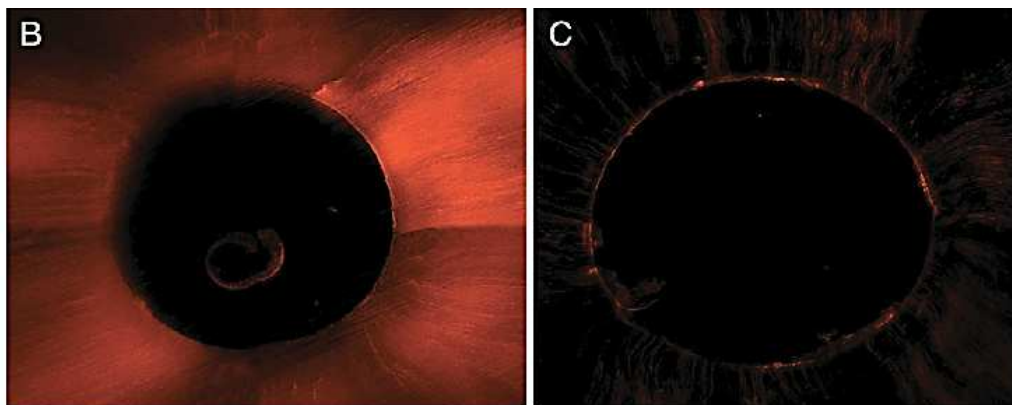


Figura 10. Comparación histológica de la penetración del colorante en el grupo irrigado mediante el sistema ultrasónico EMS (A), y en el grupo irrigado mediante sistema sónico Plastic Endo (C), ambos a 1mm del ápice. (Paragliola et al. 2009).

Mitchell et al. realizaron un estudio en 2011 (Mitchell et al. 2011) para comparar distintos sistemas de irrigación en 10 pares de dientes unirradiculares emparejados, que fueron instrumentados. Se midió la frecuencia y el grado de extrusión apical del

hipoclorito de sodio en un ambiente periapical simulado. Se crearon dos grupos principales, según los dientes fueron instrumentados a un diámetro de 35.06 ó 50.06. Cada diente se incluyó en un recipiente de plástico transparente, relleno con un gel que contiene el colorante sensible al pH M-Cresol púrpura, que cambia de amarillo a un pH de 7.4 a púrpura a un pH de 9. Los conductos se irrigaron con NaOCl 6% mediante EndoActivator, EndoVac, Rispi-Sonic/MicroMega 1500, irrigación ultrasónica (PUI; Irrisafe) y jeringa convencional, de modo que cada diente se sometió a todos los procedimientos de irrigación en un diseño cruzado aleatorio. La extrusión apical se evaluó por análisis de imagen. Como resultado del estudio, se observó que la frecuencia de extrusión fue menor en los dientes con el tamaño de la preparación apical menor (36%), ( $p=0.014$ ), en el que la extrusión dependió según el sistema de irrigación utilizado, al contrario de lo que ocurrió con los dientes con la preparación apical de 50.06. En el grupo de 35.06, la frecuencia de extrusión fue menor en la irrigación con EndoVac. El sistema PUI se situó en un grado intermedio tanto en la frecuencia como en el grado de extrusión.

Un año más tarde, Castelo-Baz et al. (Castelo-Baz et al. 2012) realizaron una comparación in vitro del efecto de dos técnicas de irrigación ultrasónica en la penetración del hipoclorito de sodio en el conducto principal y conductos laterales simulados de dientes extraídos. Se tomó un total de 60 dientes unirradiculares, en cada uno de los cuales se creó un par de conductos laterales a 2, 4, 6 mm de la longitud de trabajo (6 canales por conducto,  $n=360$ ). Para simular la situación clínica, se creó un sistema cerrado en cada diente. Los dientes se asignaron de forma aleatoria a 3 grupos: Grupo 1 ( $n=20$ ), irrigación por presión positiva; Grupo 2 ( $n=20$ ), irrigación pasiva ultrasónica (PUI); Grupo 3 ( $n=20$ ), irrigación continua ultrasónica (CUI). Las muestras se evaluaron mediante observación directa de imágenes obtenidas con

microscopio. Para examinar la penetración de las soluciones irrigadoras se le añadió tinta china 20% a NaOCl 5%. Los resultados mostraron una penetración significativamente mayor ( $p < 0.05$ ) de los irrigantes en los conductos laterales en el grupo irrigado con CUI. No hubo diferencia estadísticamente significativa entre los sistemas PUI y CUI en cuanto a la penetración en los tercios apicales de los conductos principales.

Muñoz y Camacho-Cuadra realizaron en el mismo año (Muñoz & Camacho-Cuadra 2012) un estudio in vivo para comparar la eficacia de la irrigación convencional, la irrigación pasiva ultrasónica (PUI), y un sistema de presión negativa para la dispensación del irrigante a la longitud de trabajo en raíces mesiales de molares mandibulares. Se tomaron 30 raíces mesiales de 30 molares mandibulares, que fueron aleatoriamente distribuidas en 3 grupos: Grupo 1 ( $n=10$ ), jeringa convencional; Grupo 2, Irrisafe (PUI); y grupo 3, sistema EndoVac. Todos los conductos se prepararon hasta un diámetro 35/.04 utilizando NaOCl 5'25% como irrigante durante la instrumentación. Antes de la obturación, los canales se irrigaron con 1ml de solución radiopaca con el correspondiente sistema de irrigación, y se tomó una radiografía periapical con técnica paralela. Con la ayuda de un software editor de imágenes se midió la distancia entre la longitud de trabajo y la penetración máxima del irrigante. Las medias de las distancias para Monoject, PUI y EndoVac fueron 1'51, 0'21 y 0'42 respectivamente. A pesar de que los datos resultados eran mejores en el grupo activado ultrasónicamente, no hubo diferencia estadísticamente significativa entre éste y el grupo activado mediante EndoVac, por lo que ambos son igualmente más efectivos que la irrigación convencional en cuanto a la dispensación del irrigante a la longitud de trabajo de los conductos radiculares.

Discusión: En la mayoría de los estudios analizados se empleó la irrigación pasiva ultrasónica. En los estudios en los que se evaluaba la extrusión apical se llegó a la conclusión de que la irrigación ultrasónica produce extrusión del irrigante, lo cual puede deberse en gran medida a que no se crearon unas condiciones que simulen a la perfección la situación real clínica. Por otra parte, en cuanto a la penetración de los conductos laterales, túbulos dentinarios y el alcance del irrigante a la longitud de trabajo, la mayoría de los estudios afirman que la irrigación ultrasónica es eficaz a la hora de penetrar en los conductos laterales y túbulos dentinarios, pero no hay evidencias claras sobre la capacidad del irrigante para llegar a la longitud de trabajo (de modo que contradicen los estudios en los que se afirma que incluso hay extrusión apical). Por tanto, no hay una demostración clara de si el irrigante activado por PUI llega realmente a la longitud de trabajo, probablemente por la dificultad de simular las condiciones reales.

## 6. CONCLUSIONES.

1) La activación ultrasónica de las soluciones irrigadoras (en especial, mediante la técnica PUI), es una manera eficaz de eliminar las bacterias del sistema de conductos, de manera superior a la irrigación convencional con jeringa e igual o incluso superior a otros métodos mecanizados, si bien la erradicación de la bacterias no ocurre por completo.

2) La activación ultrasónica de las soluciones irrigadoras (en especial, mediante la técnica PUI), elimina de forma eficaz los detritus del sistema de conductos, de manera superior a la irrigación convencional con jeringa e igual o incluso superior a otros métodos mecanizados, especialmente en el istmo.

3) La activación ultrasónica de las soluciones irrigadoras (en especial, mediante la técnica PUI), elimina de forma eficaz el barrillo dentinario del sistema de conductos, siendo ligeramente superior a otros métodos de agitación de irrigantes. Esto puede deberse a la acción potenciadora de la actividad quelante propia del irrigante.

4) La activación ultrasónica de las soluciones irrigadoras (en especial, mediante la técnica PUI), permite a éstas penetrar en los conductos laterales y túbulos dentinarios de forma eficaz, de manera superior a la irrigación convencional con jeringa e igual o incluso superior a otros métodos mecanizados. Respecto a si facilita el alcance del irrigante a la longitud de trabajo o si provoca extrusión apical del mismo no hay evidencias claras, debido a la dificultad de crear un sistema que emule con total precisión la situación real.

## 7. BIBLIOGRAFÍA.

1. Abd-Elmeguid A, Yu D. Dental pulp neurophysiology: Part 2. current diagnostic tests to assess pulp vitality. *J Can Dent Assoc.* 2009 Mar 2009;75:139-43.
2. Adcock JM, Sidow SJ, Looney SW, Liu Y, McNally K, Lindsey K, et al.. Histologic evaluation of canal and isthmus debridement efficacies of two different irrigant delivery techniques in a closed system. *J Endod.* 2011;37:544-8.
3. Ahmad IA. Rubber dam usage for endodontic treatment: A review. *Int Endod J.* 2009;42:963-72.
4. Al-Hadlaq SM, Al-Turaiki SA, Al-Sulami U, Saad AY. Efficacy of a new brush-covered irrigation needle in removing root canal debris: A scanning electron microscopic study. *J Endod.* 2006 12;32:1181-4.
5. Al-Jadaa A, Paqué F, Attin T, Zehnder M. Necrotic pulp tissue dissolution by passive ultrasonic irrigation in simulated accessory canals: Impact of canal location and angulation. *Int Endod J.* 2009;42:59-65.
6. Alves FRF, Almeida BM, Neves MAS, Moreno JO, Rôças IN, Siqueira Jr. JF. Disinfecting oval-shaped root canals: Effectiveness of different supplementary approaches. *J Endod.* 2011 4;37:496-501.
7. American Association of Endodontists (AAE). Glossary of Endodontic Terms. 8th edition. 2012. <http://www.nxtbook.com/nxtbooks/aae/endodonticglossary/>
8. Anabtawi M, Gilbert G, Bauer M, Reams G, Makhija S, Benjamin P, et al.. Rubber dam use during routine operative dentistry procedures: findings from the dental PBRN. *Oper Dent.* 2010 Sept 2011;35:491-9.
9. Basrani BR, Manek S, Fillery E. Using diazotization to characterize the effect of heat or sodium hypochlorite on 2.0% chlorhexidine. *J Endod.* 2009 9;35:1296-9.
10. Basrani BR, Manek S, Sodhi RNS, Fillery E, Manzur A. Interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate. *J Endod.* 2007 8;33:966-9.



11. Bhuvu B, Patel S, Wilson R, Niazi S, Beighton D, Mannocci F. The effectiveness of passive ultrasonic irrigation on intraradicular enterococcus faecalis biofilms in extracted single-rooted human teeth. *Int Endod J.* 2010;43:241-50.
12. Boutsoukis C, Lambrianidis T, Kastrinakis E, Bekiaroglou P. Measurement of pressure and flow rates during irrigation of a root canal ex vivo with three endodontic needles. *Int Endod J.* 2007;40:504-13.
13. Bryce G, O'Donnell D, Ready D, Ng Y, Pratten J, Gulabivala K. Contemporary root canal irrigants are able to disrupt and eradicate single- and dual-species biofilms. *J Endod.* 2009 9;35:1243-8.
14. Burleson A, Nusstein J, Reader A, Beck M. The in vivo evaluation of Hand/Rotary/Ultrasound instrumentation in necrotic, human mandibular molars. *J Endod.* 2007 7;33:782-7.
15. Çalt S, Serper A. Time-dependent effects of EDTA on dentin structures. *J Endod.* 2002 1;28:17-9.
16. Canalda, SC. Técnicas clínicas y bases científicas, 2da edición. España. Editorial Masson 2006.
17. Carver K, Nusstein J, Reader A, Beck M. In vivo antibacterial efficacy of ultrasound after hand and rotary instrumentation in human mandibular molars. *J Endod.* 2007 9;33:1038-43.
18. Case PD, Bird PS, Kahler WA, George R, Walsh LJ. Treatment of root canal biofilms of enterococcus faecalis with ozone gas and passive ultrasound activation. *J Endod.* 2012 4;38:523-6.
19. Castelo-Baz P, Martín-Biedma B, Cantatore G, Ruíz-Piñón M, Bahillo J, Rivas-Mundiña B, et al.. In Vitro comparison of passive and continuous ultrasonic irrigation in simulated lateral canals of extracted teeth. *J Endod.* 2012 5;38:688-91.
20. Chandra A. Discuss the factors that affect the outcome of endodontic treatment. *Australian Endodontic Journal.* 2009;35:98-107.

21. Charrotte P. Endodontics: Part 6. rubber dam and access cavities. *Br Dent J.* 2004 Nov 2004;197:527-34.
22. Chávez de Paz LE, Dahlén G, Molander A, Möller Å, Bergenholtz G. Bacteria recovered from teeth with apical periodontitis after antimicrobial endodontic treatment. *Int Endod J.* 2003;36:500-8.
23. Chen Z, Ben-xiang H, Huan-ying Z, Zheng S. Microbial diversity in failed endodontic root-filled teeth. *Chin Med J.* 2012 Mar;125:1163-8.
24. Chogle SMA, Goodis HE, Kinaia BM. Pulpal and periradicular response to caries: Current management and regenerative options. *Dent Clin North Am.* 2012 7;56:521-36.
25. Chopra S, Murray PE, Namerow KN. A scanning electron microscopic evaluation of the effectiveness of the F-file versus ultrasonic activation of a K-file to remove smear layer. *J Endod.* 2008 10;34:1243-5.
26. Cunningham WT, Balekjian AY. Effect of temperature on collagen-dissolving ability of sodium hypochlorite endodontic irrigant. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology.* 1980 2;49:175-7.
27. Curtis TO, Sedgley CM. Comparison of a continuous ultrasonic irrigation device and Conventional needle irrigation in the removal of root canal debris. *J Endod.* 2012 9;38:1261-4.
28. Dakin H. On the use of certain antiseptic substances in treatment of infected wounds. *BMJ.* 1915 1915;2:318-20.
29. de Gregorio C, Estevez R, Cisneros R, Heilborn C, Cohenca N. Effect of EDTA, sonic, and ultrasonic activation on the penetration of sodium hypochlorite into simulated lateral canals: An in vitro study. *J Endod.* 2009;35:891-5.
30. de Gregorio C, Estevez R, Cisneros R, Paranjpe A, Cohenca N. Efficacy of different irrigation and activation systems on the penetration of sodium hypochlorite into

- simulated lateral canals and up to working length: An in vitro study. *J Endod.* 2010 7;36:1216-21.
31. Desai P, Himel V. Comparative safety of various intracanal irrigation systems. *J Endod.* 2009 4;35:545-9.
32. Evanov C, Liewehr F, Buxton TB, Joyce AP. Antibacterial efficacy of calcium hydroxide and chlorhexidine gluconate irrigants at 37°C and 46°C. *J Endod.* 2004 9;30:653-7.
33. Ferreira RB, Alfredo E, De Arruda MP, Sousa YTCS, Sousa-Neto MD. Histological analysis of the cleaning capacity of nickel-titanium rotary instrumentation with ultrasonic irrigation in root canals. *Australian Endodontic Journal.* 2004;30:56-8.
34. Figdor D, Sundqvist G. A big role for the very small - understanding the endodontic microbial flora. *Aust Dent J.* 2007 Mar 2007;52:38-51.
35. Frai S, Ng Y, Gulabivala K. Some factors affecting the concentration of available chlorine in commercial sources of sodium hypochlorite. *Int Endod J.* 2001;34:206-15.
36. Gajan EB, Aghazadeh M, Abashov R, Salem Milani A, Moosavi Z. Microbial flora of root canals of pulpally-infected teeth: *Enterococcus faecalis* a prevalent species. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects.* 2009 Winter;3:24-7.
37. Gomes BPFA, Ferraz CCR, M. E. V, Berber VB, Teixeira FB, Souza-Filho FJ. In vitro antimicrobial activity of several concentrations of sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate in the elimination of *enterococcus faecalis*. *Int Endod J.* 2001;34:424-8.
38. Gomes BPFA, Pinheiro ET, Jacinto RC, Zaia AA, Ferraz CCR, Souza-Filho FJ. Microbial analysis of canals of root-filled teeth with periapical lesions using polymerase chain reaction. *J Endod.* 2008 5;34:537-40.
39. Gopikrishna V, Pradeep G, Venkateshbabu N. Assessment of pulp vitality: A review. *International Journal of Paediatric Dentistry.* 2009;19:3-15.
40. Gu L, Kim JR, Ling J, Choi KK, Pashley DH, Tay FR. Review of contemporary irrigant agitation techniques and devices. *J Endod.* 2009 6;35:791-804.

41. Guerisoli DMZ, Marchesan MA, Walmsley AD, Lumley PJ, Pecora JD. Evaluation of smear layer removal by EDTAC and sodium hypochlorite with ultrasonic agitation. *Int Endod J.* 2002;35:418-21.
42. Gulabivala K, Patel B, Evans G, Ng Y. Effects of mechanical and chemical procedures on root canal surfaces. *Endodontic Topics.* 2005;10:103-22.
43. Gutarts R, Nusstein J, Reader A, Beck M. In vivo debridement efficacy of ultrasonic irrigation following hand-rotary instrumentation in human mandibular molars. *J Endod.* 2005 3;31:166-70.
44. Haapasalo M, Endal U, Zandi H, Coil JM. Eradication of endodontic infection by instrumentation and irrigation solutions. *Endodontic Topics.* 2005;10:77-102.
45. Haapasalo M, Shen Y, Qian W, Gao Y. Irrigation in endodontics. *Dent Clin North Am.* 2010 4;54:291-312.
46. Haikel Y, Serfaty R, Wilson P, Speisser JM, Allemann C. Cutting efficiency of nickel-titanium endodontic instruments and the effect of sodium hypochlorite treatment. *J Endod.* 1998 11;24:736-9.
47. Halford A, Ohl C, Azarpazhooh A, Basrani B, Friedman S, Kishen A. Synergistic effect of microbubble emulsion and sonic or ultrasonic agitation on endodontic biofilm in Vitro. *J Endod.* 2012 11;38:1530-4.
48. Harrison AJ, Chivatxaranukul P, Parashos P, Messer HH. The effect of ultrasonically activated irrigation on reduction of enterococcus faecalis in experimentally infected root canals. *Int Endod J.* 2010;43:968-77.
49. Hauser V, Braun A, Frentzen M. Penetration depth of a dye marker into dentine using a novel hydrodynamic system (RinsEndo®). *Int Endod J.* 2007;40:644-52.
50. Heling I, Chandler NP. Antimicrobial effect of irrigant combinations within dentinal tubules. *Int Endod J.* 1998;31:8-14.
51. Howard RK, Kirkpatrick TC, Rutledge RE, Yaccino JM. Comparison of debris removal with three different irrigation techniques. *J Endod.* 2011 9;37:1301-5.

52. Huang TY, Gulabivala K, Ng YL. A bio-molecular film ex-vivo model to evaluate the influence of canal dimensions and irrigation variables on the efficacy of irrigation. *Int Endod J.* 2008;41:60-71.
53. Hülsmann M, Hahn W. Complications during root canal irrigation-literature review and case reports. *Int Endod J.* 2000;33:186-93.
54. Jensen SA, Walker TL, Hutter JW, Nicoll BK. Comparison of the cleaning efficacy of passive sonic activation and passive ultrasonic activation after hand instrumentation in molar root canals. *J Endod.* 1999 11;25:735-8.
55. Jiang L, Lak B, Eijsvogels LM, Wesselink P, van der Sluis LWM. Comparison of the cleaning efficacy of different final irrigation techniques. *J Endod.* 2012 6;38:838-41.
56. Kahn FH, Rosenberg PA, Gliksberg J. An in vitro evaluation of the irrigating characteristics of ultrasonic and subsonic handpieces and irrigating needles and probes. *J Endod.* 1995 5;21:277-80.
57. Kamburis JJ, Barker TH, Barfield RD, Eleazer PD. Removal of organic debris from bovine dentin shavings. *J Endod.* 2003 9;29:559-61.
58. Klyn SL, Kirkpatrick TC, Rutledge RE. In vitro comparisons of debris removal of the EndoActivator™ system, the F File™, ultrasonic irrigation, and NaOCl irrigation alone after hand-rotary instrumentation in human mandibular molars. *J Endod.* 2010 8;36:1367-71.
59. Kuah H, Lui J, Tseng PSK, Chen N. The effect of EDTA with and without ultrasonics on removal of the smear layer. *J Endod.* 2009 3;35:393-6.
60. Kuphasuk C, Oshida Y, Andres CJ, Hovijitra ST, Barco MT, Brown DT. Electrochemical corrosion of titanium and titanium-based alloys. *J Prosthet Dent.* 2001 2;85:195-202.
61. Lasa I, Del Pozo JL, Penades JR, Leiva J. Bacterial biofilms and infection. *An Sist Sanit Navar.* 2005 May-Aug;28:163-75.

62. Lee SJ, Wu MK, Wesselink PR. The effectiveness of syringe irrigation and ultrasonics to remove debris from simulated irregularities within prepared root canal walls. *Int Endod J.* 2004;37:672-8.
63. Lee SJ, Wu MK, Wesselink PR. The efficacy of ultrasonic irrigation to remove artificially placed dentine debris from different-sized simulated plastic root canals. *Int Endod J.* 2004;37:607-12.
64. López-Marcos J. Etiología, clasificación y patogenia de la patología pulpar y periapical. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2004 2004;9:Suppl:S52-62.
65. Lui J, Kuah H, Chen N. Effect of EDTA with and without surfactants or ultrasonics on removal of smear layer. *J Endod.* 2007 4;33:472-5.
66. Marending M, Luder HU, Brunner TJ, Knecht S, Stark WJ, Zehnder M. Effect of sodium hypochlorite on human root dentine-mechanical, chemical and structural evaluation. *Int Endod J.* 2007;40:786-93.
67. Martin H, Cunningham WT, Norris JP, Cotton WR. Ultrasonic versus hand filing of dentin: A quantitative study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1980 1;49:79-81.
68. Mayer BE, Peters OA, Barbakow F. Effects of rotary instruments and ultrasonic irrigation on debris and smear layer scores: A scanning electron microscopic study. *Int Endod J.* 2002;35:582-9.
69. McGill S, Gulabivala K, Mordan N, Ng Y-. The efficacy of dynamic irrigation using a commercially available system (RinsEndo®) determined by removal of a collagen 'bio-molecular film' from an ex vivo model. *Int Endod J.* 2008;41:602-8.
70. Mitchell RP, Baumgartner JC, Sedgley CM. Apical extrusion of sodium hypochlorite using different root canal irrigation systems. *J Endod.* 2011 12;37:1677-81.
71. Mozo S, Llana C, Forner L. Review of ultrasonic irrigation in endodontics: Increasing action of irrigating solutions. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal.* 2012 May 1;17:e512-6.

72. Muñoz HR, Camacho-Cuadra K. In Vivo efficacy of three different endodontic irrigation systems for irrigant delivery to working length of mesial canals of mandibular molars. *J Endod.* 2012 4;38:445-8.
73. Naenni N, Thoma K, Zehnder M. Soft tissue dissolution capacity of currently used and potential endodontic irrigants. *J Endod.* 2004 11;30:785-7.
74. Nair P. Pathogenesis of apical periodontitis and the causes of endodontic failures. *Crit Rev Oral Biol Med.* 2004 Nov 2004;15:348-81.
75. Ordinola-Zapata R, Bramante CM, Cavenago B, Graeff MSZ, Gomes de Moraes I, Marciano M, et al.. Antimicrobial effect of endodontic solutions used as final irrigants on a dentine biofilm model. *Int Endod J.* 2012;45:162-8.
76. Ørstavik D, Pitt Ford TR. Apical periodontitis: microbial infection and host responses. In: Ørstavik D, Pitt Ford TR, editors. *Essential Endodontology. Prevention and treatment of apical periodontitis.* 2nd edition. London, UK: Wiley-Blackwell; 2007; pp. 179-91.
77. Ørstavik D. Root canal disinfection: A review of concepts and recent developments. *Australian Endodontic Journal.* 2003;29:70-4.
78. Paiva SSM, Siqueira Jr. JF, Rôças IN, Carmo FL, Ferreira DC, Curvelo JAR, et al.. Supplementing the antimicrobial effects of chemomechanical debridement with either passive ultrasonic irrigation or a final rinse with chlorhexidine: A clinical study. *J Endod.* 2012 9;38:1202-6.
79. Paqué F, Boessler C, Zehnder M. Accumulated hard tissue debris levels in mesial roots of mandibular molars after sequential irrigation steps. *Int Endod J.* 2011;44:148-53.
80. Paragliola R, Franco V, Fabiani C, Mazzone A, Nato F, Tay FR, et al.. Final rinse optimization: Influence of different agitation protocols. *J Endod.* 2010 2;36:282-5.
81. Parsons GJ, Patterson SS, Miller CH, Katz S, Kafrawy AH, Newton CW. Uptake and release of chlorhexidine by bovine pulp and dentin specimens and their subsequent

- acquisition of antibacterial properties. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. 1980 5;49:455-9.
82. Passarinho-Neto JG, Marchesan MA, Ferreira RB, Silva RG, Silva-Sousa YTC, Sousa-Neto MD. In vitro evaluation of endodontic debris removal as obtained by rotary instrumentation coupled with ultrasonic irrigation. *Australian Endodontic Journal*. 2006;32:123-8.
83. Patterson SS. In vivo and in vitro studies of the effect of the disodium salt of ethylenediamine tetra-acetate on human dentine and its endodontic implications. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. 1963 1;16:83-103.
84. Pesse AV, Warriar GR, Dhir VK. An experimental study of the gas entrapment process in closed-end microchannels. *Int J Heat Mass Transfer*. 2005 12;48:5150-65.
85. Peters LB, Wesselink PR, Van Winkelhoff AJ. Combinations of bacterial species in endodontic infections. *Int Endod J*. 2002;35:698-702.
86. Peters OA, Boessler C, Zehnder M. Effect of liquid and paste-type lubricants on torque values during simulated rotary root canal instrumentation. *Int Endod J*. 2005;38:223-9.
87. Peters OA, Schönenberger K, Laib A. Effects of four ni-ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. *Int Endod J*. 2001;34:221-30.
88. Peterson K, Söderström C, Kiani-Anaraki M, Lévy G. Evaluation of the ability of thermal and electrical tests to register pulp vitality. *Dental Traumatology*. 1999;15:127-31.
89. Plotino G, Pameijer CH, Maria Grande N, Somma F. Ultrasonics in endodontics: A review of the literature. *J Endod*. 2007 2;33:81-95.
90. Radcliffe CE, Potouridou L, Qureshi R, Hababbeh N, Qualtrough A, Worthington H, et al.. Antimicrobial activity of varying concentrations of sodium hypochlorite on the



- endodontic microorganisms actinomyces israelii, A. naeslundii, candida albicans and enterococcus faecalis. *Int Endod J.* 2004;37:438-46.
91. Ram Z. Effectiveness of root canal irrigation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1977 8;44:306-12.
92. Ribeiro EM, Silva-Sousa YTC, Souza-Gabriel AE, Sousa-Neto MD, Lorencetti KT, Silva SRC. Debris and smear removal in flattened root canals after use of different irrigant agitation protocols. *Microsc Res Tech.* 2012;75:781-90.
93. Ricucci D, Siqueira JF, Jr. Biofilms and apical periodontitis: Study of prevalence and association with clinical and histopathologic findings. *J Endod.* 2010 Aug;36:1277-88.
94. Rödiger T, Döllmann S, Konietschke F, Drebenstedt S, Hülsmann M. Effectiveness of different irrigant agitation techniques on debris and smear layer removal in curved root canals: A scanning electron microscopy study. *J Endod.* 2010 12;36:1983-7.
95. Rödiger T, Hirschleb M, Zapf A, Hülsmann M. Comparison of ultrasonic irrigation and RinsEndo for the removal of calcium hydroxide and ledermix paste from root canals. *Int Endod J.* 2011;44:1155-61.
96. Rödiger T, Sedghi M, Konietschke F, Lange K, Ziebolz D, Hülsmann M. Efficacy of syringe irrigation, RinsEndo® and passive ultrasonic irrigation in removing debris from irregularities in root canals with different apical sizes. *Int Endod J.* 2010;43:581-9.
97. Rølla G, Løe H, Schiøtt CR. Retention of chlorhexidine in the human oral cavity. *Arch Oral Biol.* 1971 9;16:1109-IN33.
98. Russell AD, Day MJ. Antibacterial activity of chlorhexidine. *J Hosp Infect.* 1993 12;25:229-38.
99. Saber SE, Hashem AAR. Efficacy of different final irrigation activation techniques on smear layer removal. *J Endod.* 2011 9;37:1272-5.

100. Sabins RA, Johnson JD, Hellstein JW. A comparison of the cleaning efficacy of short-term sonic and ultrasonic passive irrigation after hand instrumentation in molar root canals. *J Endod.* 2003 10;29:674-8.
101. Sedgley C, Applegate B, Nagel A, Hall D. Real-time imaging and quantification of bioluminescent bacteria in root canals in vitro. *J Endod.* 2004 12;30:893-8.
102. Sedgley CM, Nagel AC, Hall D, Applegate B. Influence of irrigant needle depth in removing bioluminescent bacteria inoculated into instrumented root canals using real-time imaging in vitro. *Int Endod J.* 2005;38:97-104.
103. Segura-Egea JJ, Calvo JR, Guerrero JM, Jimenez-Planas A, Sampedro C. EDTA inhibits in vitro substrate adherence capacity of macrophages: endodontic implications. *Journal of Endodontics* 1997; 23:205-208.
104. Segura-Egea JJ, Jiménez-Rubio A, Guerrero JM, Calvo JR. Comparative effects of two endodontic irrigants, chlorhexidine digluconate and sodium hypochlorite, on macrophage adhesion to plastic surfaces. *Journal of Endodontics* 1999; 25:243-246.
105. Segura-Egea JJ., Calvo JR, Guerrero JM, Sampedro C, Jimenez A, Llamas R. The disodium salt of EDTA inhibits the binding of vasoactive intestinal peptide to macrophage membranes: endodontic implications. *Journal of Endodontics*, 1996; 22:337-340.
106. Senia ES, Marshall FJ, Rosen S. The solvent action of sodium hypochlorite on pulp tissue of extracted teeth. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology.* 1971 1;31:96-103.
107. Sim TPC, Knowles JC, Ng Y, Shelton J, Gulabivala K. Effect of sodium hypochlorite on mechanical properties of dentine and tooth surface strain. *Int Endod J.* 2001;34:120-32.
108. Siqueira Jr JF, Rôças IN. Clinical implications and microbiology of bacterial persistence after treatment procedures. *J Endod.* 2008 11;34:1291,1301.e3.

109. Sirtes G, Waltimo T, Schaetzle M, Zehnder M. The effects of temperature on sodium hypochlorite short-term stability, pulp dissolution capacity, and antimicrobial efficacy. *J Endod.* 2005 9;31:669-71.
110. Spoleti P, Siragusa M, Spoleti MJ. Bacteriological evaluation of passive ultrasonic activation. *J Endod.* 2003 1;29:12-4.
111. Steinberg D, Heling I, Daniel I, Ginsburg I. Antibacterial synergistic effect of chlorhexidine and hydrogen peroxide against streptococcus sobrinus, streptococcus faecalis and staphylococcus aureus. *J Oral Rehabil.* 1999;26:151-6.
112. Stojicic S, Zivkovic S, Qian W, Zhang H, Haapasalo M. Tissue dissolution by sodium hypochlorite: Effect of concentration, temperature, agitation, and surfactant. *J Endod.* 2010 9;36:1558-62.
113. Stuart CH, Schwartz SA, Beeson TJ, Owatz CB. Enterococcus faecalis: Its role in root canal treatment failure and current concepts in retreatment. *J Endod.* 2006 2;32:93-8.
114. Sundqvist G. Taxonomy, ecology, and pathogenicity of the root canal flora. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology.* 1994 10;78:522-30.
115. Tay FR, Gu L, Schoeffel GJ, Wimmer C, Susin L, Zhang K, et al.. Effect of vapor lock on root canal debridement by using a side-vented needle for positive-pressure irrigant delivery. *J Endod.* 2010 4;36:745-50.
116. Torabinejad M, Khademi AA, Babagoli J, Cho Y, Johnson WB, Bozhilov K, et al.. A new solution for the removal of the smear layer. *J Endod.* 2003 3;29:170-5.
117. Townsend C, Maki J. An in vitro comparison of new irrigation and agitation techniques to ultrasonic agitation in removing bacteria from a simulated root canal. *J Endod.* 2009;35:1040-3.
118. Uroz-Torres D, González-Rodríguez MP, Ferrer-Luque CM. Effectiveness of the EndoActivator system in removing the smear layer after root canal instrumentation. *J Endod.* 2010 2;36:308-11.

119. Van Der Sluis LWM, Gambarini G, Wu MK, Wesselink PR. The influence of volume, type of irrigant and flushing method on removing artificially placed dentine debris from the apical root canal during passive ultrasonic irrigation. *Int Endod J.* 2006;39:472-6.
120. Van Der Sluis LWM, Versluis M, Wu MK, Wesselink PR. Passive ultrasonic irrigation of the root canal: A review of the literature. *Int Endod J.* 2007;40:415-26.
121. Van Der Sluis LWM, Wu M, Wesselink PR. The efficacy of ultrasonic irrigation to remove artificially placed dentine debris from human root canals prepared using instruments of varying taper. *Int Endod J.* 2005;38:764-8.
122. Walmsley AD. Applications of ultrasound in dentistry. *Ultrasound Med Biol.* 1988;14:7-14
123. Waltimo TMT, Ørstavik D, Sirén EK, Haapasalo MPP. In vitro susceptibility of candida albicans to four disinfectants and their combinations. *Int Endod J.* 1999;32:421-9.
124. Weber CD, McClanahan SB, Miller GA, Diener-West M, Johnson JD. The effect of passive ultrasonic activation of 2% chlorhexidine or 5.25% sodium hypochlorite irrigant on residual antimicrobial activity in root canals. *J Endod.* 2003 9;29:562-4.
125. Weller R, Brady J, Bernier W. Efficacy of ultrasonic cleaning. *J Endod.* 1980 1980;6:740-3.
126. Wu M, Dummer PMH, Wesselink PR. Consequences of and strategies to deal with residual post-treatment root canal infection. *Int Endod J.* 2006;39:343-56.
127. Wu M, Wesselink PR. A primary observation on the preparation and obturation of oval canals. *Int Endod J.* 2001;34:137-41.
128. Xie Q, Johnson BR, Wenckus CS, Fayad MI, Wu CD. Efficacy of berberine, an antimicrobial plant alkaloid, as an endodontic irrigant against a mixed-culture biofilm in an In Vitro tooth model. *J Endod.* 2012 8;38:1114-7.

129. Yoshida T, Shibata T, Shinohara T, Gomyo S, Sekine I. Clinical evaluation of the efficacy of EDTA solution as an endodontic irrigant. *J Endod.* 1995 12;21:592-3.
130. Zaccaro Scelza MF, Antoniazzi JH, Scelza P. Efficacy of final Irrigation—A scanning electron microscopic evaluation. *J Endod.* 2000 6;26:355-8.
131. Zehnder M, Gold SI, Hasselgren G. Pathologic interactions in pulpal and periodontal tissues. *J Clin Periodontol.* 2002;29:663-71.
132. Zehnder M, Schmidlin P, Sener B, Waltimo T. Chelation in root canal therapy reconsidered. *J Endod.* 2005 11;31:817-20.
133. Zehnder M. Root canal irrigants. *J Endod.* 2006 5;32:389-98.
134. Zukoski EE. Influence of viscosity, surface tension, and inclination angle on motion of long bubbles in closed tubes. *J Fluid Mech.* 1966 1966;25:821-37.