

**UNIVERSIDAD DE CIENCIAS Y  
ARTES DE CHIAPAS**

**FACULTAD DE CIENCIAS ODONTOLÓGICAS Y SALÚD PÚBLICA**

**TESINA**

**SISTEMAS DE TOMOGRAFÍA  
COMPUTARIZADA DE HAZ CÓNICO Y SU  
APLICACIÓN EN ENDODONCIA**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
ESPECIALISTA **EN ENDODONCIA**

PRESENTA

**TAMARA CABRERA PONS**

DIRECTOR DE TESIS:

M.E. Paulo Cesar Ramos Núñez

*A papá y mamá,  
mi esposo,  
mi hermano mayor  
y mi manada.*

# Sistemas de Tomografía Computarizada de Haz Cónico y su Aplicación en Endodoncia

*Cone-Beam Computed Tomography Systems and Their Application in Endodontics*

C.D. Tamara Cabrera<sup>1</sup>, MsC.E.E. Paulo Cesar Ramos Nuñez<sup>2</sup>

## RESUMEN

La tomografía computarizada de haz cónico (TCHC) es un sistema de imagenología tridimensional radiológico diseñado específicamente para el área maxilofacial. Este sistema proporciona una imagen tridimensional del objeto a estudiar, lo que supera las limitaciones de las radiografías convencionales. Las imágenes se observan y manipulan en un software disponible para computadores de uso personal, lo que las hace de particular interés en la endodoncia. El clínico puede apreciar la completa anatomía del órgano dental y de las estructuras que lo rodean lo que le permite un mejor diagnóstico y plan de tratamiento. En este trabajo se revisa la literatura actual sobre el sistema de TCHC, sus usos y limitaciones en el área endodóncica.

**Palabras clave:** Tomografía computarizada de haz cónico, Radiología, Radiografía convencional, Endodoncia, Diagnóstico, Manejo endodóntico, Radiología tridimensional.

## ABSTRACT

Cone-beam computed tomography (CBCT) is a radiological tridimensional imaging system designed specifically for the maxillofacial area. This system produce a tridimensional images of the object of interest, which overcomes the limitations of conventional radiography. This images can be observed and manipulated with a software available for any computer, which make it specially suitable for the practice of endodontics. The clinician can appreciate the complete anatomy of the tooth and the surrounded structures which allows to make a more precise diagnostic and treatment planning. This paper is a review of the current literature about CBCT systems relating their applications and limitations in the endodontic area.

**Key words:** Cone-beam compute tomography, Radiology, Conventional radiology, Endodontic, Diagnosis, Endodontic management, Tridimensional radiology.

<sup>1</sup>. Cirujano dentista. Alumna de la especialidad en endodoncia, Facultad de Ciencias Odontológicas y de Salud Pública, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

<sup>2</sup>. Maestro en endodoncia en la Facultad de Estomatología, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. PTC en la Facultad de Ciencias Odontológicas y de Salud Pública, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas, Tuxtla Gutiérrez, Chiapas.

Correspondencia:

C.D. Tamara Cabrera Pons

Email: [cdtamaracabrera@gmail.com](mailto:cdtamaracabrera@gmail.com)

## INTRODUCCIÓN

Gran parte del éxito de los tratamientos endodóncicos y del manejo de los problemas en endodoncia depende de un diagnóstico exacto, y, a su vez, un diagnóstico exacto en endodoncia depende de la examinación radiográfica<sup>1,2,3</sup>. El diagnóstico es el acto de identificar una enfermedad por sus síntomas y signos<sup>4</sup>. En endodoncia el diagnóstico se logra identificando la queja principal, los signos y síntomas como: sensibilidad a la masticación, presencia de caries, inflamación, tractos fistulosos, dolor espontáneo; y reproduciendo los síntomas con pruebas térmicas y percusiones. Gran parte del diagnóstico se basa en la ayuda de auxiliares diagnósticos, como el láser doppler, las pruebas eléctricas y principalmente en imágenes radiográficas<sup>2,4</sup>. Estas imágenes proveen información indispensable del órgano dental a tratar y de las estructuras anatómicas que lo rodean. Las radiografías se utilizan en endodoncia para determinar el diagnóstico, el plan de tratamiento, la realización del tratamiento, el control y seguimiento de los casos<sup>3</sup>.

Desde que apareció la radiología convencional ha sido el pilar de la endodoncia. Se conoce que la primera radiografía intraoral fue tomada en 1896 por Otto Walkhoff<sup>4</sup>. En 1899 Kell midió por primera vez la longitud de un conducto colocando un cable dentro de este y tomando una radiografía, a esta técnica la llamó radiograma<sup>5</sup>. A principios de la década de 1960 Seltzer y Bender demostraron que existen discrepancias usando radiografías convencionales para diagnosticar la periodontitis apical, ya que la evidencia radiográfica solo existe si se ha perdido el 40% de la cortical ósea y el tamaño histológico de las lesiones no coincide con el tamaño radiográfico<sup>4</sup>. Posteriormente Bender demostró que debe existir mínimo un 7.1% de pérdida mineral del hueso cortical para producir una radiolucidez<sup>6</sup>. Brynolf demostró que utilizar tres angulaciones diferentes al tomar las radiografías, una hacia mesial, una hacia distal y una paralela, ayuda a un mejor diagnóstico<sup>4</sup>. Con el paso de los años la imagenología médica ha avanzado exitosamente. Entre las técnicas que se han propuesto para usar en endodoncia están: la radiología digital, resonancias magnéticas y las tomografías computarizadas (TC). La radiología convencional sigue siendo la opción de elección en el campo endodóncico a pesar de sus limitaciones.

El concepto de la Tomografía Computarizada de Haz Cónico (TCHC) se introdujo en odontología a la mitad de la década de 1990, desde entonces ha puesto en evidencia las limitaciones de las radiografías convencionales y se ha posicionado rápidamente en el área

odontológica como una herramienta útil en implantología, cirugía maxilofacial, endodoncia y ortodoncia<sup>2,6,8,9</sup>. La TCHC es una forma de TC, que con una sola rotación logra el escaneo de la región de interés dando como resultado una imagen tridimensional<sup>8</sup>. Es importante tener un entendimiento completo de los principios de la imagenología con TCHC para poder aprovechar al máximo los beneficios de esta técnica y mantener al mínimo los riesgos relacionados con la radiación. Este trabajo pretende exponer los fundamentos de la TCHC y específicamente los usos de este sistema en la práctica de la endodoncia. Su estructura contempla tres partes, en la primera se abordan las limitaciones de las imágenes radiográficas convencionales, en la segunda se exponen las características, ventajas y desventajas que presente el uso de las TCHC en tratamientos endodóncicos y en la tercera parte se analizan las posibilidades que brindan estas para el tratamiento de diferentes casos.

## **LIMITACIONES DE LAS RADIOGRAFÍAS CONVENCIONALES**

Las limitaciones de las imágenes radiográficas convencionales han sido reportadas en varias investigaciones<sup>3</sup>. Estas se atribuyen a la falta de exactitud diagnóstica que prevalece en las imágenes en dos dimensiones, a la distorsión geométrica y el ruido anatómico.

### **Estructuras Tridimensionales**

Una de las desventajas principales de la radiología convencional, es que presenta una imagen en dos dimensiones de una estructura tridimensional, por lo que solo se puede observar una vista del plano mesiodistal, y muy poca visualización del plano bucolingual, imposibilitando la apreciación de la relación espacial de las raíces del diente con la anatomía que la rodea y las posibles lesiones existentes. Esto hace que las anatomías complejas, las patologías de los tejidos duros y algunos accidentes operatorios no se puedan apreciar adecuadamente usando este tipo de imágenes, consecuentemente, la exactitud del diagnóstico se ve afectada.

Las radiografías tomadas con ligeros cambios en la angulación horizontal respecto al área de interés, presentan una mejoría en la percepción de la profundidad espacial y contribuyen a la exactitud del diagnóstico.

## **Distorsión Geométrica**

La técnica de radiografía intraoral perirradicular que provee una representación geométrica de la imagen más exacta es la técnica de paralelismo. Esta técnica consiste en colocar al receptor de la imagen en posición paralela al diente de interés y en posición perpendicular al haz de rayos X. A pesar de la existencia de sostenedores de películas, lograr posicionar la película completamente paralela al órgano dental es difícil por la anatomía de la cavidad oral, y aun más difícil con los dispositivos rígidos de las radiografías digitales. En la imagen final se puede esperar al menos un 5% de magnificación de los objetos plasmados en la imagen incluso si el procedimiento se ejecutó a la perfección. Esta magnificación se da por la separación que existe entre el receptor de la imagen, el objeto de interés y la naturaleza divergente del haz de rayos X durante la toma. El resultado de las radiografías convencionales es una geometría distorsionada que no reproduce con completa exactitud el objeto de interés.

## **Ruido Anatómico**

Cuando el valor de un pixel no corresponde con el de la realidad y es producto de una mala adquisición de la imagen o de un error de transmisión de la información, causa una distorsión en la imagen. A esta distorsión se le conoce como ruido<sup>10</sup>.

La anatomía proyectada sobrepuesta al órgano de interés durante la radiología convencional puede complicar la interpretación radiográfica. Esta interferencia anatómica puede variar en radio densidad y produce ruido en la imagen llamado "ruido anatómico". Brynolf detectó que el ruido anatómico es causado por el hueso alveolar que se superpone a la imagen, el trabeculado y los espacios estrechos han sido específicamente reportados como factores que complican la detección de lesiones perirradiculares y resorciones radiculares externas<sup>2</sup>.

## **TOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA DE HAZ CÓNICO (TCHC)**

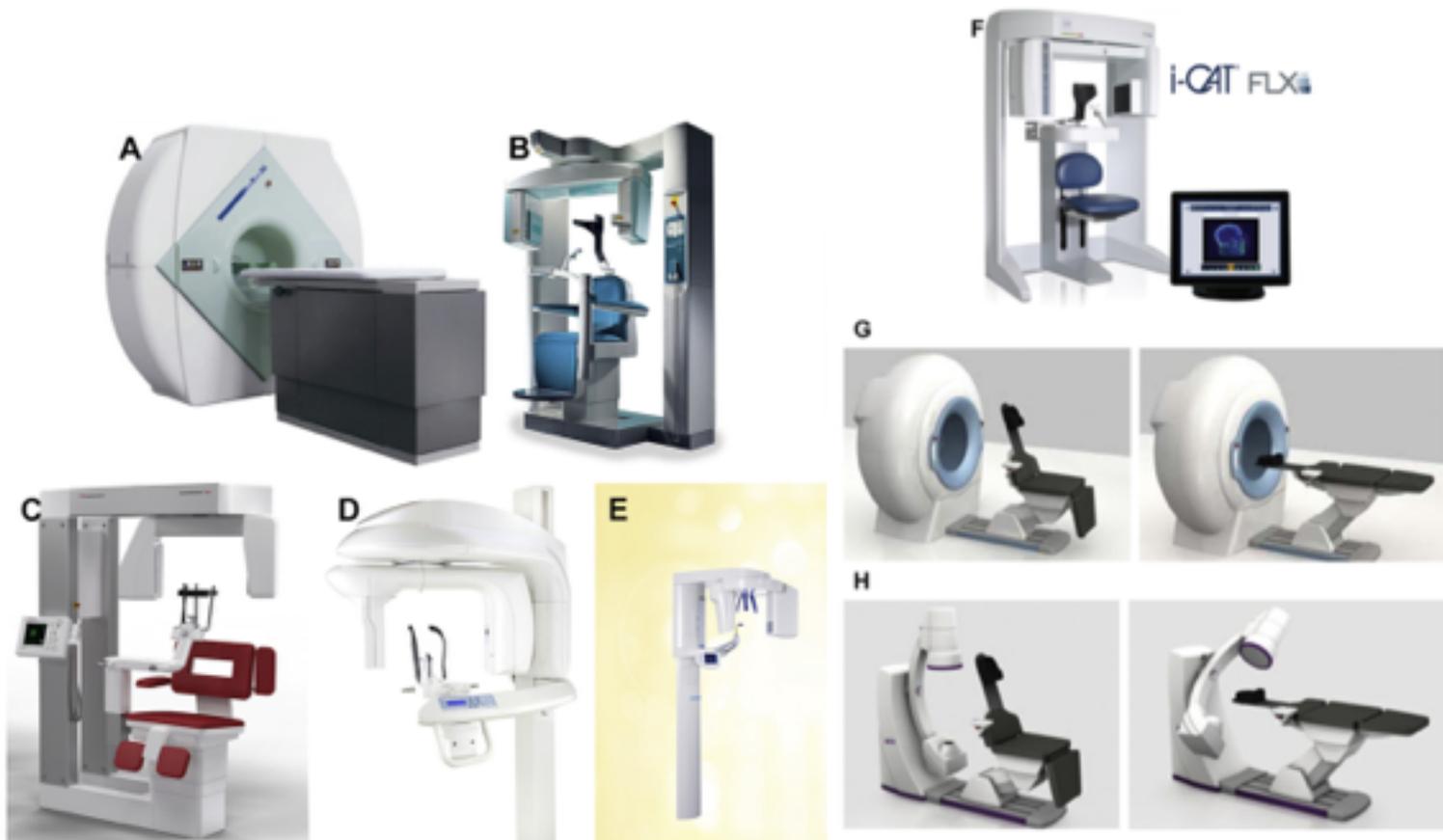
La Tomografía Computarizada de Haz Cónico, referida por sus siglas TCHC, también se conoce como Tomografía Digital Volumétrica. Esta es un sistema de diagnóstico

tridimensional en imagenología, específicamente diseñado para ser usado en el área del esqueleto maxilofacial<sup>11</sup>.

## Historia y Conceptos

Se originó basada en la Tomografía Convencional (TC), sin embargo difiere de esta en varios aspectos que la hacen óptima para la imagenología dental. La TC fue desarrollada por el ingeniero británico y ganador del premio novel Sir Godfrey Hounsfield en la década e 1970<sup>8</sup>. El primer reporte de una TC utilizada en endodoncia fue en 1990 por Tachibana y Matsumoto<sup>2</sup>. A finales de esta década un grupo de italianos y un grupo de japoneses desarrollan las sistemas de TCHC<sup>5</sup>. Estos se empezaron a comercializar en Europa desde 1996 y en Estados Unidos desde el año 2000<sup>12</sup>. El primer TCHC comercial fue el *NewTom*

**Fig. 1.** (A) El sistema *NewTom* 3G fue de los primeros comercializados en América donde el paciente se colocaba en posición supina. (B) El sistema *Accuitomo* 170 de la casa Morita es uno de los sistemas que remplazaron a los de posición supina, el paciente se coloca sentado. (C) El *Canora* 3Dx. (D) Sistema CS 9300. (E) El sistema *Orthophos* XG 3D de Sirona. (F) El iCAT FLX. (G) El sistema *NewTom* 5G posición inicial a la izquierda y la posición de escaneo a la derecha. (H) EL sistema de TCHC *SkyView*, posición inicial en la izquierda y posición de escaneo en la derecha<sup>8</sup>.



9000, en este sistema el paciente debía estar acostado, conforme fueron actualizando la tecnología la posición del paciente cambió a estar sentado o parado. Actualmente hay 40 sistemas de TCHC disponibles para dentistas<sup>11</sup>, los de mayor venta son el *NewTom 5G* y el *SkyView*<sup>8</sup>.

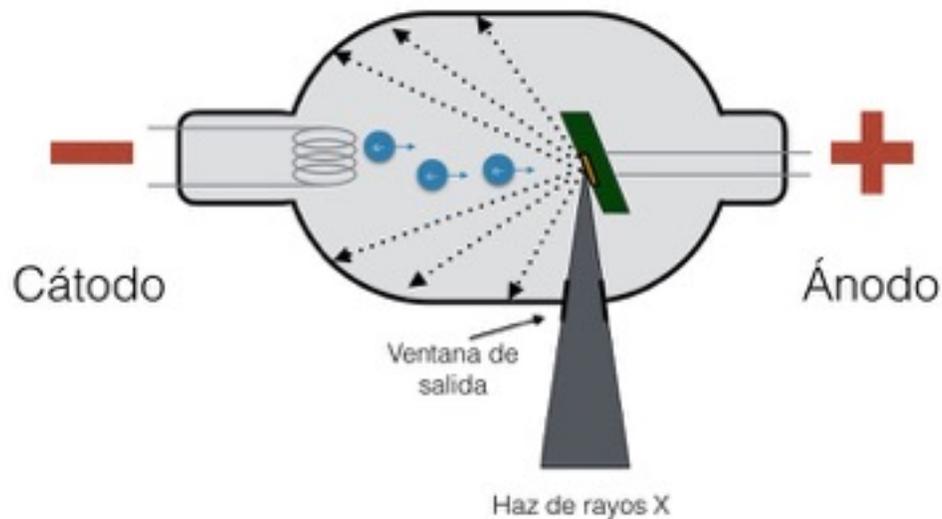
## **Adquisición y reconstrucción de imágenes**

El sistema del TCHC consiste en un hardware y un software. El hardware esta formado de una fuente de rayos X y un detector o sensor, montados en un sistema de rotación. Durante la rotación, un haz de rayos X en forma cónica, es emitido por la fuente de rayos X en dirección al área de interés. Una vez que pasa por el área de interés, el haz de rayos X llega al detector tomando cientos de imágenes en dos dimensiones que posteriormente formaran una imagen tridimensional<sup>7,8</sup>. Durante estos eventos, la fuente de rayos X y el detector giran sincronizadamente, ya sea en 180° o 360°. El tiempo normal de escaneo es de 10 a 40 segundos<sup>7</sup>, depende del equipo y de los parámetros de exposición configurados.

Los rayos X se generan dentro de un tubo que contiene un circuito eléctrico con dos electrodos separados: un ánodo y un cátodo. Al aplicarse una corriente eléctrica el cátodo se calienta y libera electrones que son acelerados por el ánodo para colisionar en el punto focal. En los sistemas de TCHC el punto focal es de 0.5mm. Parte de la energía generada en la coalición se convierte en rayos X, la otra parte se convierte en calor y se pierde. El haz de rayos X emitido por el tubo es polienergético, consiste en fotones con energías variables. Los fotones de poca energía no contribuyen a la formación de la imagen pero sí a la radiación del paciente. Antes de salir del tubo los fotones interactúan con el recubrimiento de este y los de poca energía son absorbidos, de esta manera el paciente no los absorberá<sup>8</sup>. Los tubos de los TCHC tienen recubrimientos de aluminio de 2 a 10mm, entre más ancho sea aumenta la energía efectiva para generar la imagen. La cantidad de fotones representa la dosis de radiación y es proporcional a la corriente del tubo (mA) y el tiempo de exposición (cuadros por segundo)<sup>7,8</sup>.

Lo que permite la rotación horizontal es un brazo en forma de C, esta forma permite que el paciente esté sentado o parado. Este brazo determina la distancia entre el punto focal y el objeto. Entre más larga sea esta distancia la imagen será más nítida<sup>7</sup>.

**Fig. 2.** Esquema del mecanismo del tubo de rayos X. Una corriente calienta el filamento del cátodo ocasionando la liberación de electrones ( $e^-$ ). Estos son acelerados por el ánodo. La colisión de electrones se producen los rayos X. Solo los rayos X que van en la dirección correcta logran salir del tubo; el resto de los rayos X son bloqueados por el tubo.



El detector de rayos X convierte los fotones en señales eléctricas. Existen dos tipos de detectores utilizados como sensores de imagen en los sistemas de TCHC: 1) es un dispositivo de carga acoplada con intensificador de fibra óptica y 2) un panel plano amorfo de silicon. El dispositivo con intensificador es de mayor tamaño, más sensible y susceptible a los campos magnéticos por lo que genera más distorsiones y requiere de una calibración más frecuente, lo que genera un mayor costo de mantenimiento. Los paneles planos son delgados, amorfos y tienen una capa de material centelleante que mantiene la distorsión al mínimo. El material centelleante amplifica la señal eléctrica de la atenuación de los rayos X<sup>8</sup>. Otro aspecto relevante de los detectores es la profundidad de *bits*, esta determina el número de grises detectado. Un detector de 14 *bits* muestra 16,384 tonos de grises. Los detectores comerciales van de 12 a 16 *bits*. Según el *American College of Radiology* no existe beneficio para la interpretación diagnóstica usando más de 8 bits de profundidad<sup>8</sup>.

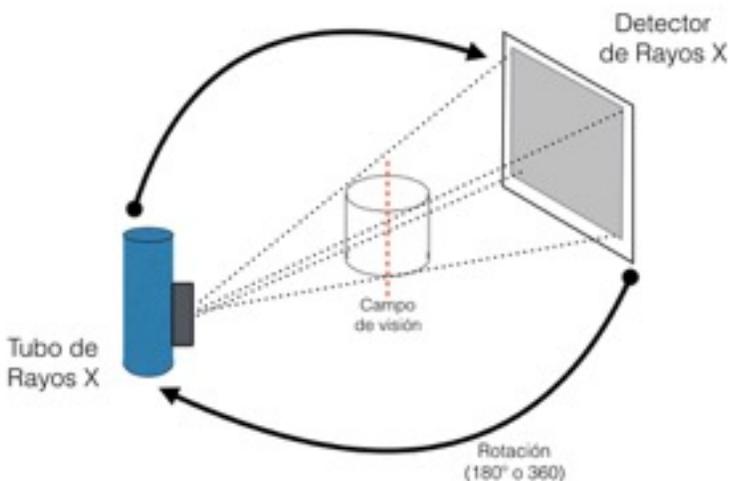
Los sistemas de TCHC actuales utilizan detectores indirectos con una capa de material centelleante, ya sea oxisulfuro de gadolinio o yoduro de cesio, para convertir los fotones de rayos X en fotones de luz que se transforman en señales eléctricas para generar la imagen. Hay diferentes métodos y parámetros para obtener una imagen. Algunos sistemas de TCHC usan exposiciones pulsadas y otros continuas. Con los de exposición pulsátil el tiempo real de exposición del paciente puede ser de 2 a 5 segundos. Los TCHC tiene arcos que pueden

realizar la rotación en 180° o 360°, las rotaciones de 180° disminuyen la radiación en un 50%<sup>7</sup> pero también disminuye la calidad de la imagen.

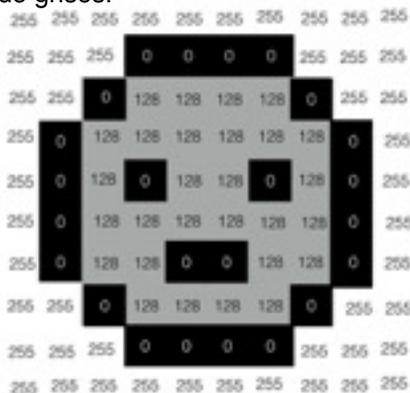
Durante la secuencia de exposición se adquiere un set de imágenes que contiene de 100 a 600 imágenes bidimensionales del área de interés<sup>8,11</sup>. Entre más imágenes mejor será la calidad pero mayor es el tiempo de escaneo y por lo tanto la radiación es mayor<sup>8</sup>. El software es el programa encargado de procesar las imágenes

bidimensionales y reconstruir una imagen tridimensional usando todas las tomas obtenidas, resultando en un molde de voxeles. Cada sistema TCHC tiene un software de la misma casa comercial, pero también se pueden adquirir softwares de otras marcas compatibles para los sistemas<sup>8</sup>. Los voxeles en los TCHC son isotrópicos, es decir que la altura, el ancho y la profundidad de cada voxel mide lo mismo. Entre más pequeño sea el voxel mas nítida será la imagen<sup>13</sup>. Cada voxel tiene asignado un tono de gris. Los valores de gris se miden con números, entre menor es el número más oscuro es el tono de gris<sup>13</sup>. Estos tonos de gris se calibran en Unidades Hounsfield (HU)<sup>7</sup>. La reconstrucción puede ser en forma cilíndrica o esférica, y se le llama "campo de visión" (CV). El molde tridimensional que se obtiene puede

**Fig. 3.** Para obtener las proyecciones, el tubo de rayos X y el detector se mueven sincronizadamente al rededor del eje del objeto a escanear.



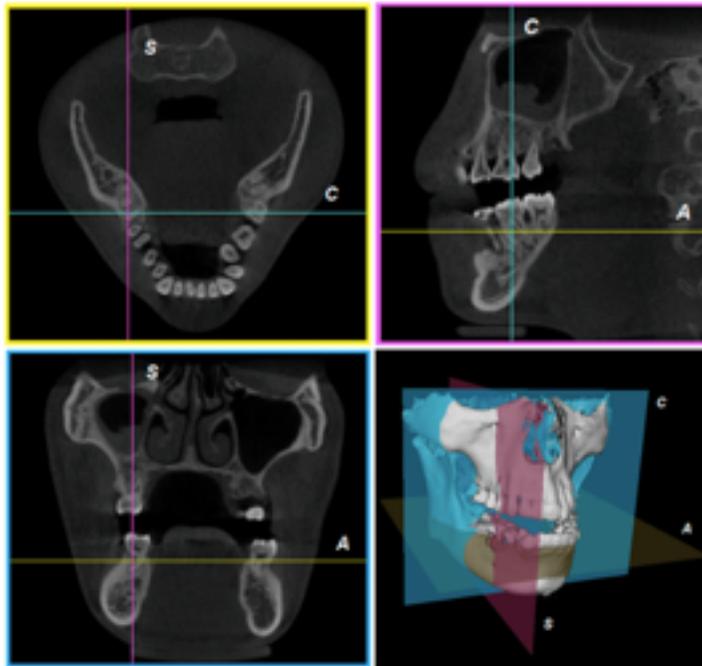
**Fig. 4.** Valores de gris utilizados para crear una imagen. En este caso solo se utilizaron tres valores de grises.



ser presentado en series de cortes bidimensionales que pueden manipularse de varias maneras para aislar alguna estructura o lesión y para optimizar el contraste. Las imágenes se deben de observar en un monitor con una resolución mínima de 1200x1200 pixeles<sup>1</sup>. Se pueden proyectar los planos axial, sagital y coronal simultáneamente, lo que le da al clínico una imagen tridimensional del objeto a analizar<sup>5</sup>.

El efecto *window/level* es el más común, consiste en optimizar el contraste de la imagen mostrando solo cierto

**Fig. 5.** Tomografía coputarizada de haz cónico donde se pueden observar los diferentes planos que se obtienen: axial (amarillo), agital (rosa) y coronal (azul)<sup>7</sup>.



rango de grises. Otro efecto consiste en poner filtros a la imagen. Para suavizar la imagen se deben realizar cortes más gruesos y para resaltar detalles se pueden realizar acercamientos. La calidad de la imagen va a depender de varios factores: la resolución espacial, el contraste, los tipos de ruido y los artefactos presentes en la imagen. La resolución espacial está determinada por el punto focal, el tamaño del detector, del voxel y el filtro utilizado; y permite distinguir pequeñas estructuras en la imagen. El contraste permite distinguir tejidos o materiales de diferentes densidades, y es determinado por el rango dinámico del detector, los factores de exposición y la profundidad de *bits* utilizados para reconstruir la imagen. La variabilidad aleatoria en los valores de voxeles en una imagen se conoce como ruido. Podemos encontrar dos tipos de ruido causados por el TCHC: el ruido cuántico provocado por las interacciones durante la producción y atenuación de rayos X; y el ruido electrónico que resulta de la conversión y transmisión de la señal del detector. Los artefactos en una imagen son las zonas aberrantes que no corresponden al objeto real. La causa más común es la dispersión de rayos X<sup>1</sup>.

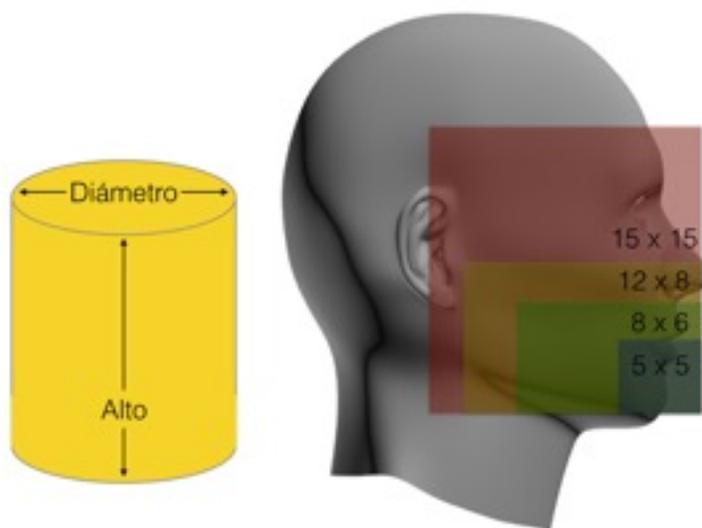
## Clasificación de TCHC

Los sistemas de TCHC se pueden clasificar según las dimensiones de CV como de volumen limitado, mediano o grande.

Los TCHC de CV limitado también se conocen como de volumen pequeño, campo pequeño o campo limitado. Tienen un volumen de escaneo máximo de 5cm. Los de CV mediano tienen un volumen de escaneo de 5 a 10 cm. Algunos autores los dividen en dos tipos: de arco sencillo (de 5 a 7cm) y de arco completo (de 7 a 10cm). Los TCHC de CV grande escanean un volumen de más de 10cm. Cuando el escaneo es de más de 15 cm se les conoce como TCHC craneofaciales<sup>5</sup>. El rango más pequeño que se puede escanear es de 3cm x 3cm<sup>8</sup>.

Existen otras clasificaciones menos utilizadas basadas en la posición del paciente durante el escaneo: posición supina, sentado o parado; y por sus funciones, los sistemas multimodal tienen la función de tomografías digitales panorámicas.

**Fig. 6.** Características de altura y diámetro de un campo de visión cilíndrico (izquierda) y los diferentes tamaños de campos de visión (derecha).



## Dosis Efectiva

La dosis producida por un TCHC es igual a la de dos o tres radiografías periapicales<sup>14</sup> y depende de varios factores entre los que se encuentran los siguientes: la naturaleza del haz de rayos X, si es continuo la dosis es mayor que si es pulsada; el grado de rotación de la fuente de rayos X y del detector, las rotaciones de 360° producen mayor dosis que las de 180°; el tamaño del CV también altera la dosis, los sistemas de CV limitado son los que producen menos dosis de radiación. La dosis producida también se determinara por el tipo de filtro del haz, los kV, mA y el tamaño de voxel configurados. La forma del haz es piramidal con un voltaje de 60 a 120 kV. El conjunto de estos factores se conoce como parámetros de exposición. Los factores de parámetros como el tipo de filtro, la naturaleza del haz y el volumen del CV son particulares de cada sistema y vienen predeterminados. Los parámetros como los grados de rotación, kV y mA pueden configurarse manualmente en la mayoría de los sistemas.

Algunos tejidos son más sensibles a la radiación que otros y los diferentes CV radian diferentes tejidos. Los tejidos calcificados absorben los rayos X de 2 a 4 veces más que los tejidos blandos<sup>12</sup>. Para apreciar los efectos biológicos que la radiación tiene en los pacientes, los tejidos humanos son ponderados según su sensibilidad. La dosis efectiva toma en cuenta la dosis de radiación producida por el sistema y la sensibilidad a la radiación de los tejidos que los rayos X van a atravesar durante la secuencia de exposiciones. La dosis efectiva se mide en Sieverts (Sv), y puede ser expresada en mili Sieverts o micro Sieverts ya que las figuras involucradas son muy pequeñas. Dosis de 10 a 50 mSv aumentan el riesgo de cáncer<sup>12</sup>.

La dosis absorbida se expresa en Unidades Internacionales. La dosis equivalente es la dosis absorbida ajustada por la atenuación de la radiación involucrada. La dosis absorbida y la dosis equivalente son las mismas<sup>12</sup>.

Los TCHC de CV limitado son los más adecuados en endodoncia porque el área de interés es fácil de captar ya que es de tamaño pequeño. La dosis efectiva promedio asociada al TCHC es 13uSv en el área anterior y de 44uSv en el área posterior, mientras que la dosis efectiva de una radiografía periapical convencional es de 1 a 5 uSv.

Todos las tomas de los sistemas TCHC deben de cumplir con el principio ALARA estipulado en el título 10 de la sección 20 del código federal de regulaciones. El principio ALARA,

denominado por las siglas en inglés de “As Low As is Reasonably Achievable”, consiste en hacer cualquier esfuerzo razonable por mantener la dosis de exposición a la radiación lo más baja posible sin comprometer la práctica<sup>1,4,6,12,13,15</sup>.

## **Ventajas**

TCHC supera las desventajas de la radiología convencional produciendo una imagen tridimensional que permite apreciar la anatomía completa y la relación espacial del tejido destruido en caso de existir una patología. El clínico puede seleccionar cortes ortogonales o no ortogonales lo que permite eliminar fácilmente el ruido anatómico. Los voxeles de las TCHC son isotrópicos y varían de tamaño (0.076 a 0.4mm) por lo que la geometría y las mediciones de la imagen son exactas en cualquier plano y libres de distorsión<sup>11</sup>. La exactitud geométrica de las imágenes tridimensionales producidas por el TCHC ha sido comprobada en numerosos estudios<sup>16,17</sup>.

Las diferencias entre un TC convencional y el TCHC son varias, a diferencia del TCHC en el TC los voxeles son anisotrópicos, lo que limita la exactitud geométrica. Las ventajas principales que tiene el TCHC sobre el TC son la reducción de exposición a la radiación del paciente y la calidad superior de imagen de los tejidos duros dentales. Además de que el hardware del TCHC es más pequeño y barato que una máquina de TC<sup>5</sup>. La fuente de rayos X puede ser dirigida únicamente al área de interés, produciendo un CV específico, apropiado y relevante a las necesidades del paciente. Este aspecto y el hecho de que los grados de rotación pueden ser modificados también reducen la cantidad de radiación al paciente.

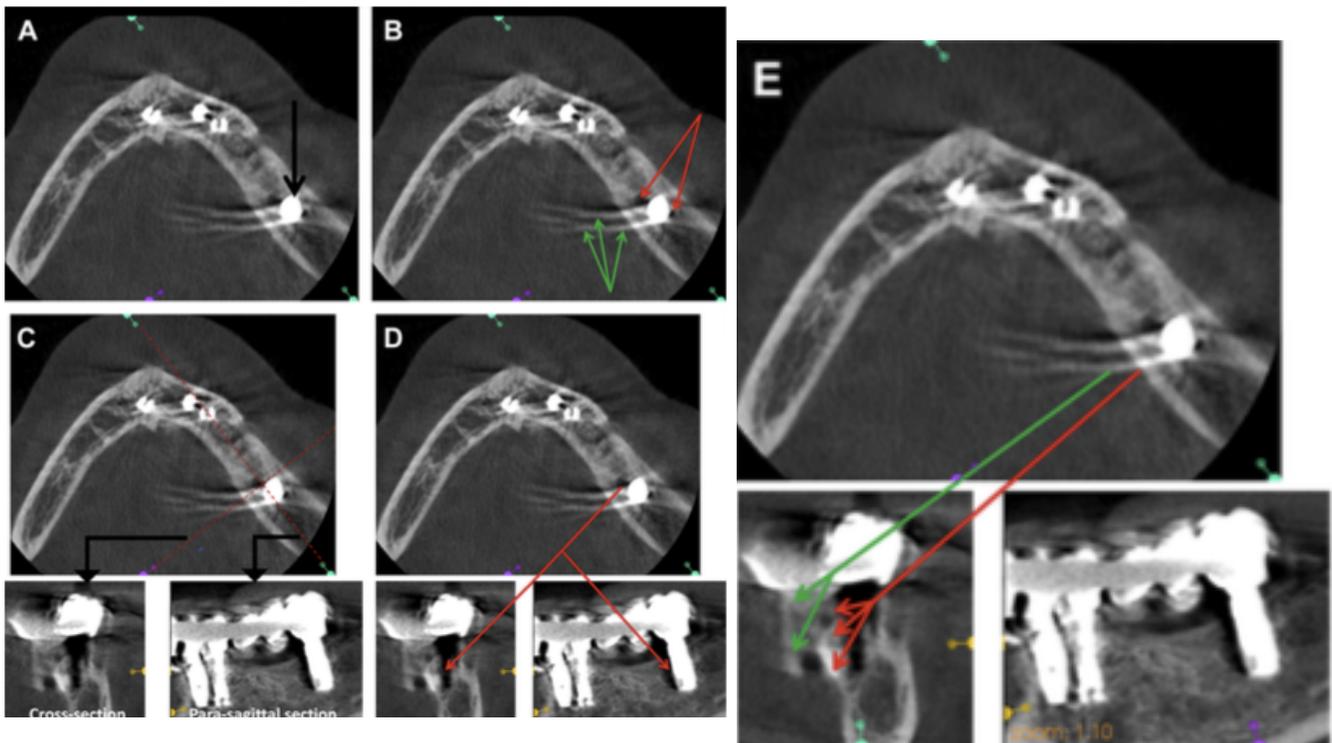
Los softwares necesarios para la reconstrucción de la imagen pueden operarse en cualquier computadora. Se pueden realizar múltiples cortes y mediciones de la imagen en tiempo real. Se pueden ajustar áreas específicas, magnificarlas y realizar anotaciones.

Los tiempos de escaneo del TCHC son cortos, comparables a los tiempos de toma de una radiografía panorámica, pero en el TCHC la exposición no es constante, son varios disparos<sup>3,8</sup>. Esto es un beneficio ya que el paciente debe permanecer quieto durante la rotación.

## Limitaciones

Las imágenes del TCHC pueden verse afectadas algunas veces por artefactos radiográficos. Cuando el haz de rayos X se dirige a un objeto de muy alta densidad, como el esmalte o alguna restauración metálica, los fotones de baja intensidad del haz son absorbidos por esta estructura en lugar de los de energía alta, dando como resultado que la energía del haz disminuya<sup>5,18</sup>. A este fenómeno se le conoce como “endurecimiento del haz” y produce dos tipos de artefactos: distorsión de estructuras metálicas conocida como “artefactos de dispersión” y la aparición de “rayas y bandas oscuras” entre dos estructuras<sup>5,8</sup>. Estos artefactos pueden disminuir el valor diagnóstico de las imágenes. Otros objetos que pueden causar artefactos de dispersión son la amalgama, los implantes y la gutapercha. Para evitar estos se debe de mantener el CV lo más pequeño posible para que queden fuera de este<sup>8</sup>. El

**Fig. 7.** Artefactos en la reconstrucción de imágenes. (A) En el corte axial se observa un implante dental (flecha negra), (B) Los artefactos causados por distorsión de estructuras metálicas están marcados por las flechas verdes, los artefactos en forma de rayas y bandas oscuras están marcados con rayas rojas. (C) Se muestran los cortes transversal y parasagital. (D) El efecto causado por el endurecimiento de haz simulando una periimplantitis y pérdida de hueso alveolar. (E) El efecto creando que se observe un implante “fantasma”. Imágenes cortesía del Dr. Abramovitch<sup>8</sup>.



movimiento del paciente durante el escaneo puede afectar de manera adversa la nitidez de la imagen<sup>18</sup>.

La resolución espacial del TCHC es de aproximadamente 2 líneas pares por mm<sup>-1</sup>, lo que es inferior a las radiografías dentales convencionales, las cuales tienen una resolución espacial de 15 a 20 líneas pares por mm<sup>-1</sup>.

Aunque la dosis efectiva del TCHC es menor a la del TC, es mayor a la de las radiografías intraorales convencionales pero en algunos escenarios puede ser muy cercana a la de las radiografías periapicales.

## **USOS DE TCHC EN ENDODONCIA**

Las enfermedades pulpares y periapicales pueden afectar la calidad de vida de las personas<sup>1</sup>. La llegada del TCHC ha hecho posible visualizar la dentición y la relación de esta con otras estructuras anatómicas en tres dimensiones lo que es un gran beneficio en la práctica endodóntica ya que el éxito y manejo de estos tratamiento dependen del diagnóstico radiográfico<sup>1,5</sup>. Como toda tecnología, el TCHC tiene desventajas incluyendo dosis de radiación<sup>1</sup> y costos más altos para los pacientes<sup>5</sup>. Normalmente los casos donde se requiere realizar un TCHC son los casos que requieren de tratamientos costosos como retratamientos<sup>19</sup>. Por lo tanto, el TCHC solo debe ser utilizado en casos donde la historia y el examen clínico demuestren que el beneficio es mayor para el paciente que los riesgos potenciales<sup>7,6</sup>. Es decir, los clínicos solo deben apoyarse de un TCHC cuando la necesidad imagenológica no se puede satisfacer con radiografías convencionales.

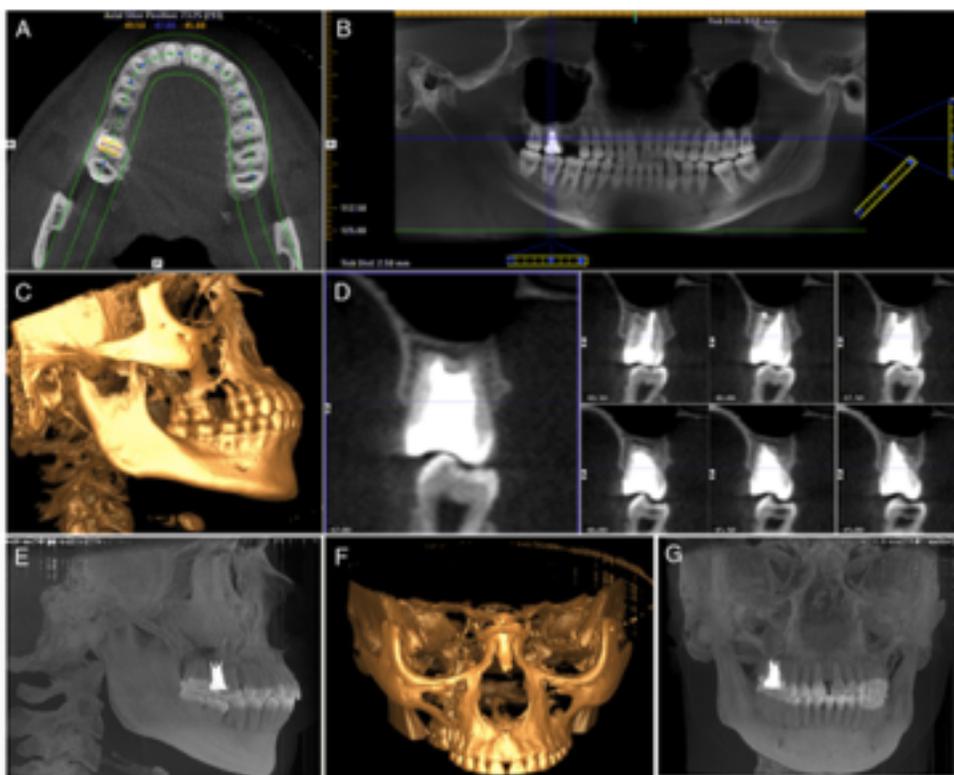
En endodoncia el área de interés se determina antes de la toma radiográfica y normalmente es de un tamaño pequeño. Por lo tanto en endodoncia es preferible usar TCHC de CV limitado, con estos la dosis de radiación es menor y la resolución espacial es mayor. Para su uso en endodoncia las tomas de TCHC se deben configurar tomando en cuenta el principio ALARA<sup>4,7,12,13</sup> y pensando que al realizar un TCHC se elimina la necesidad de realizar tomas radiográficas adicionales durante el procedimiento. Es recomendable utilizar el CV más pequeño posible, el tamaño de voxel más pequeño, la configuración de mA más baja considerando el tamaño del paciente y el tiempo de exposición más corto<sup>1</sup>. El modo de tomas pulsátil es el mas recomendable. Si se sospecha del origen del dolor o de la patología se

recomienda realizar la toma con un CV largo para apreciar toda la anatomía adyacente al diente<sup>1</sup>.

Se debe considerar la edad del paciente, ya que existe una preocupación sobre la exposición a la radiación en menores de 18 años<sup>1,20</sup>. En los niños la periferia del cerebro y la tiroides se encuentran más cerca del área dental, los órganos y células siguen en crecimiento, lo que los hace más radiosensibles que en los adultos<sup>12</sup>. Cada que se mande a un paciente infantil a tomar un TCHC debe de ser porque las tomas radiográficas convencionales no ayudan en el tratamiento de la patología.

En el 2015 un comité especial de la *Academia Americana de Radiología Oral y Maxilofacial* junto con un comité de la *Asociación Americana de Endodoncia* se reunieron para realizar una revisión de la literatura que había surgido desde la publicación del 2010 de la declaración de los usos del TCHC en endodoncia<sup>1</sup>. En este nuevo manuscrito realizado por Nair y colaboradores establecen las recomendaciones específicas de los usos del TCHC en endodoncia. La radiografía convencional está indicada para la evaluación inicial en todos los casos, para la evaluación postoperatoria inmediata y para el seguimiento de los casos sin signos patológicos y que se encuentren asintomáticos<sup>1</sup>.

**Fig. 8.** TCHC de un paciente con múltiples taurodontismos. (A) Vista axial del tercio cervical. (B) Vista panorámica. (C) Vista lateral del modelo tridimensional. (D) Vistas sagitales del segundo molar superior derecho. (E) Vista sagital del modo cefalométrico. (F) Vista frontal del modelo tridimensional. (G) Vista coronal del modo cefalométrico<sup>15</sup>.



El TCHC se puede utilizar en varias etapas del tratamiento: En la etapa inicial del tratamiento se utiliza para el diagnóstico y plan de tratamiento en casos de dientes que serán tratados por primera vez o casos de dientes ya tratados que requieran de un retratamiento. Para etapas donde el tratamiento y retratamiento no quirúrgico han fracasado o ya no son una opción viable y necesitan la realización de retratamientos quirúrgico. También se recomienda su uso en casos de condiciones especiales como traumas dentoalveolares y resorciones<sup>18,20</sup>.

### **Diagnóstico**

En algunos casos, el examen clínico y radiográfico no nos llevan a un diagnóstico certero. Si no se puede determinar de manera confiable el factor etiológico de la patología a tratar se puede comprometer el resultado del tratamiento<sup>1,18</sup>. Con el uso del TCHC se pueden detectar patologías periapicales antes de que sean evidentes en una radiografía convencional<sup>21,6</sup>. Nosart dice que 62% de las veces el diagnóstico cambia después de realizar un TCHC<sup>22</sup>. El dolor persistente después de realizado un tratamiento de conductos está relacionado con varios factores, la mayoría difíciles de detectar clínicamente o con una radiografía convencional. Las radiografías convencionales y el TCHC han sido comparados para ver su capacidad de diferenciar entre odontologías atípicas y periodontitis apical, TCHC detectó 17% más dientes con pérdida de hueso apical que las radiografías convencionales<sup>1</sup>. Las variaciones anatómicas existen en todos los tipos de dientes<sup>1</sup>. El éxito de la terapéutica endodóntica depende de la identificación, limpieza, conformación y obturación de todo el sistema de conductos. Las imágenes en dos dimensiones no revelan por completo el número de raíces y/o conductos.

### **Detección de Lesiones Periapicales**

El resultado del tratamiento endodóntico puede mejorar si se realiza antes de que se desarrollen los signos y síntomas de la periodontitis apical. La destrucción del hueso asociada a una patología endodóntica se puede identificar usando TCHC antes de que se pueda observar evidencia de la lesión en una radiografía convencional<sup>2,5</sup>. Lofthang-Hansen en un estudio *in vivo* encontró que el TCHC detecta 62% más lesiones periapicales que las radiografías convencionales<sup>23</sup>. Patel en un estudio *in vitro* con lesiones simuladas encontró 100% de sensibilidad del TCHC para detectarlas<sup>24</sup>. Con el TCHC se puede identificar la ubicación exacta de la lesión, la cantidad de hueso destruido y la raíz asociada a la lesión<sup>25</sup>.

Weismann<sup>6</sup> encontró un 79% de probabilidad de encontrar una lesión periapical con TCHC en pacientes con síntomas clínicos, mientras que la probabilidad con las radiografías convencionales es de 57%.

El TCHC es considerado como la mejor herramienta para detectar defectos óseos apicales<sup>26</sup> pero debe existir consideración en su uso por el aumento de la dosis de radiación<sup>26,27</sup>. Para detectar lesiones periapicales se pueden realizar TCHC con rotación de 180°. Lennon comparó el uso de rotaciones de 360° y 180° y encontró que existía la misma sensibilidad de detección de lesiones periapicales con las dos rotaciones<sup>28</sup>. Sin embargo la rotación de 180° disminuye el tiempo de exposición y la dosis efectiva de radiación al paciente<sup>12</sup>.

**Fig. 9.** Lesión periapical de un incisivo central superior. (A) imagen 2D y (B) imagen 3D



### ***IDENTIFICACIÓN DE QUISTES Y GRANULOMAS***

Hasta la fecha no existe un método válido preoperativo para diferenciar un quiste de un granuloma<sup>29</sup>, la única manera de confirmar un diagnóstico es con la extirpación quirúrgica y la evaluación histológica de este<sup>30</sup>. Aggarwal<sup>31</sup> realizó un estudio donde evaluó 17 lesiones e identificó correctamente 12 de estas utilizando TCHC indicando que esta técnica radiográfica podría servir para diferenciar un quiste de un granuloma sin necesidad de procedimiento invasivos ni estudios histológicos. Los criterios radiográficos que se pueden considerar para diferenciar un quiste de un granuloma son los siguientes: los bordes de la cortical, la forma

de la lesión, el tamaño de la lesión y hacia dónde se extiende<sup>29</sup>. Cuando los bordes de la cortical están bien definidos o escleróticos se puede tratar de un quiste, cuando están más difusos normalmente es un granuloma. En cuanto al tamaño y la forma, los quistes son redondos u ovals mayores a 5mm y los granulomas tienen una apariencia no homogénea menor a 5mm. Los quistes pueden expandirse y perforar la cortical mientras que los granulomas normalmente no perforan la cortical<sup>29</sup>. Guo<sup>30</sup> realizó un estudio para evaluar los criterios diagnósticos para diferenciar un quiste de un granuloma en una TCHC, donde encontró que las TCHC tienen una exactitud moderada para poder diferenciar estas lesiones cuando tengan un diámetro mayor de 5mm. Según Bornstein<sup>29</sup> para las lesiones apicales el criterio dimensional debe ser modificado a 10mm en lugar de los 5mm. Shrouf<sup>32</sup> indicó que los granulomas tienen rangos más estrechos y valores de grises más bajos que los quistes. Nair<sup>33</sup> encontró en un estudio que el 85% de las lesiones periapicales son granulomas lo que concuerda con el estudio realizado por Bornstein<sup>29</sup> en el que se encontró solo 5.2% de quistes. Ya que el granuloma puede presentar características radiográficas de quiste, la única

**Fig. 10.** Incisivo lateral superior con cuatro conductos y dens invaginatus. (A) Vista labial. (B) Vista palatina. (C) Vista sagital del lado mesial que muestra los conductos mesiolabial, mesiopalatino y en medio el dens invaginatus. (D) Vista sagital del lado distal que muestra los conductos distolabial, distopalatino y en medio el dens invaginatus. (E) Vista sagital del lado distal mostrando el foramen apical del conducto distolabial. (F) Vista axial del tercio coronal de la corona mostrando los cuernos pulpares y el dens invaginatus. (G) Vista axial del tercio medio de la corona mostrando el sistema de conductos rodeando al dens invaginatus. (H) Vista axial del tercio apical de la corona mostrando los cuernos pulpares palatinos<sup>22</sup>.



manera de confirmar el diagnóstico es con una biopsia de la lesión el diagnóstico final siempre debe de ser histológico<sup>29,30</sup>.

### **Anatomía del Sistema de Conductos**

Las radiografías convencionales normalmente no revelan la anatomía completa del órgano dental ni del sistema de conductos radiculares. Al no identificar los conductos accesorios el resultado del tratamiento puede verse negativamente influenciado. El conocimiento de la anatomía del sistema de conductos radiculares es un prerequisite para realizar un tratamiento endodóntico<sup>2</sup>. Este conocimiento previo incluye el número y posición de los conductos lo que ayuda a la realización de una cavidad de acceso más conservadora y a evitar las transportaciones de los conductos, perforaciones radiculares y otras iatrogenias. Existen numerosos reportes que presentan al TCHC como una herramienta confiable y exacta para evaluar la anatomía dental y el grado de las curvaturas radiculares<sup>4,15</sup>. Esta información es esencial para planear el tratamiento, especialmente de dientes con anomalías anatómicas y morfológicas como dents in dent<sup>19</sup>, dents invaginas<sup>20</sup>, dientes con conductos extras<sup>22,34</sup>, casos de hipertaurodontismo<sup>15</sup>, dientes fusionado<sup>35</sup> e identificar al conducto medio mesial en los primeros molares inferiores<sup>36</sup>.

Aunque el uso del TCHC ha demostrado ser una técnica más exacta para analizar la anatomía que las técnicas in vitro<sup>2,37</sup> su uso solo se recomienda en casos de anatomías complejas y no se justifica en todos los casos<sup>5</sup>.

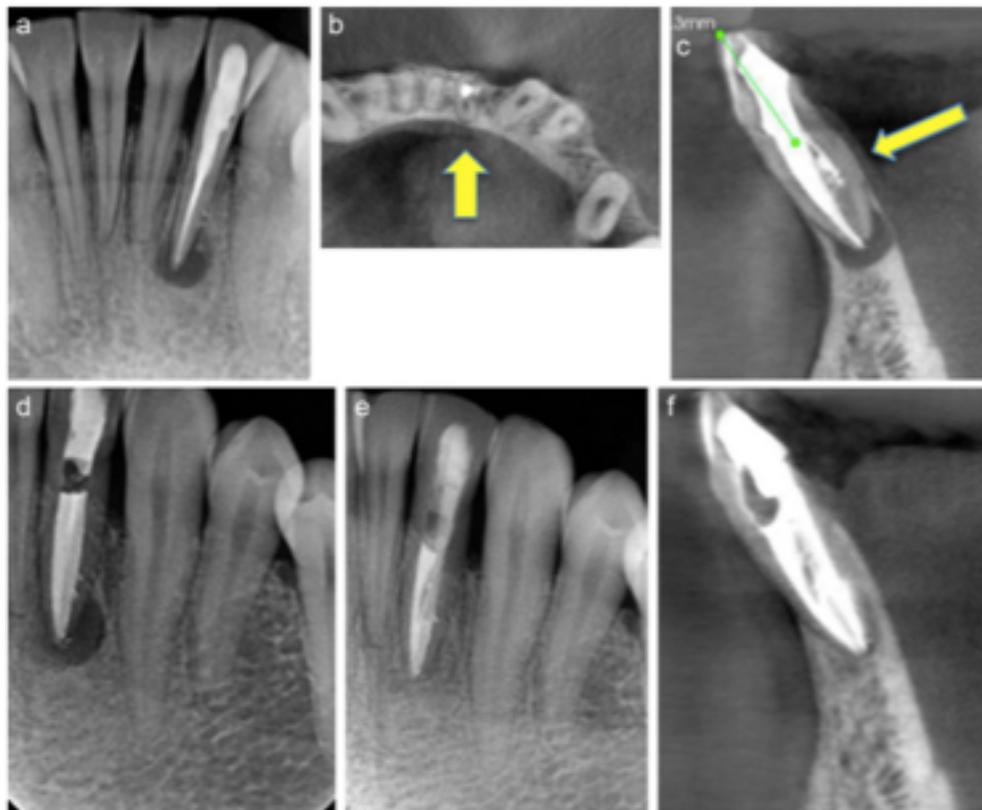
### **Retratamiento Quirúrgico**

El uso del TCHC ha sido recomendado para planear el procedimiento quirúrgico en endodoncia<sup>1,2,5,18</sup>. La raíz o raíces afectada(s) puede estar en contacto con el seno maxilar, el nervio dental inferior y el foramen mental. También un TCHC prequirúrgico puede ayudar a localizar fracturas verticales o dehiscencias sin la necesidad de una cirugía exploratoria<sup>4</sup>. Cuando se ha llevado a cabo la extrusión no intencional de algún material, el TCHC puede ayudar a localizarlo y observar si han sido introducidos al seno maxilar o conducto mandibular y planear el abordaje quirúrgico<sup>38</sup>.

Como se ha mencionado, un material que provoca artefactos en las imágenes es la gutapercha, y los dientes a los que se les realizará un TCHC prequirúrgico idealmente deben tener una obturación radicular con este material. Para evitar estos artefactos se deben de

realizar cortes en las imágenes hasta lograr disminuir las distorsiones al mínimo<sup>15,18</sup>. Aún así el TCHC sigue siendo superior a las radiografías convencionales<sup>15</sup>.

**Fig. 11.** Localización de conducto omitido con TCHC. a, Radiografía convencional preoperatoria del incisivo lateral inferior. b, Vista axial de la TCHC preoperatoria. c, Vista sagital de la TCHC preoperatoria. d, Radiografía convencional postoperatoria. e, Radiografía convencional de seguimiento a los 6 meses. f, Vista sagital de la TCHC de seguimiento a los 6 meses<sup>50</sup>.



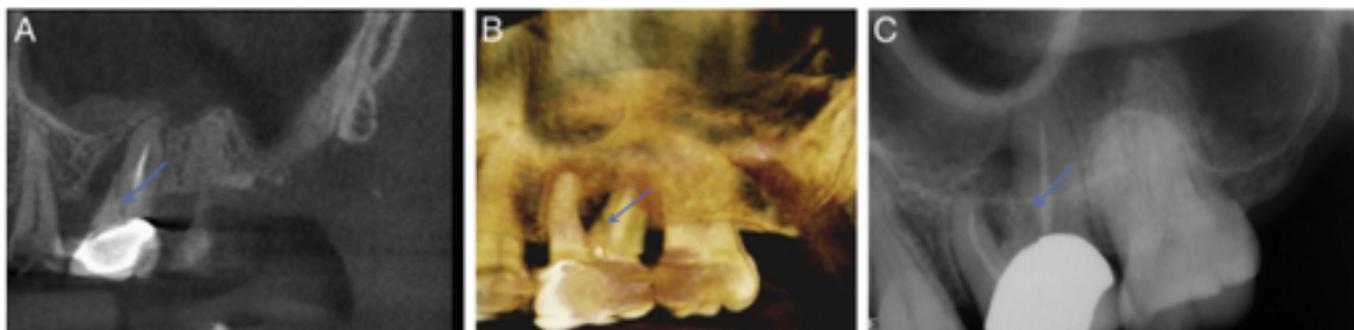
### **Cirugía Periapical**

En los TCHC se puede visualizar la verdadera extensión de la lesión y la relación exacta con las estructuras anatómicas adyacentes. En algunos casos se puede identificar la causa del fracaso como conductos omitidos<sup>2</sup>. Identificar y excluir los casos inadecuados puede reducir la tasa de morbilidad de las cirugías. En los casos que son aptos para cirugías, se pueden conseguir mediciones relevantes para el procedimiento quirúrgico: la longitud de la raíz, el ángulo de la raíz, el grosor y arquitectura de la cortical, la distancia entre la placa cortical y el ápice de las raíces palatinas y la distancia del ápice a alguna estructura anatómica importante<sup>2</sup>. Con estas medidas se puede localizar fácilmente el lugar donde se realizará la osteotomía<sup>4</sup>, mejorar el manejo del caso y evitar daños iatrogénicos.

## Fracturas Verticales

Un reto para los endodoncistas es la identificación de las fracturas verticales (FV) ya que la evidencia clínica no se presenta en todos los casos hasta que la fractura ya ha estado presente por un largo tiempo<sup>39</sup>. Las FV disminuyen el buen pronóstico del tratamiento<sup>1</sup>. Los signos clínicos que se pueden presentar como un tracto fístulas no son signos patognómicos de una FV. La localización de una bolsa periodontal estrecha, profunda y aislada puede sugerir la presencia de una FV, pero a veces la presencia de enfermedad periodontal hace que se pase por alto este signo. En las radiografías convencionales la presencia de una lesión en forma de “J” puede ser señal de una FV presente, pero para que esta lesión sea visible tiene que haber una destrucción ósea importante.

**Fig. 12.** Fractura vertical en la raíz palatina de un molar superior. (A) Vista sagital mostrando la línea de fractura (Flecha). (B) Reconstrucción tridimensional. (C) Radiografía periapical<sup>39</sup>.



El TCHC está indicado como una herramienta útil para localizar o detectar FV<sup>2,4,5,19</sup>. Estudios *in vitro* han demostrado que la sensibilidad en la detección de FV es mayor en el TCHC que en las radiografías convencionales<sup>2,39</sup>. Las fracturas horizontales, en cambio, tienen un 100% de posibilidad de ser detectadas tanto con TCHC como con radiografías convencionales si están ubicadas en el tercio cervical; el porcentaje va disminuyendo conforme la fractura se localice más apical pero sigue siendo igual para los dos métodos radiográficos<sup>40</sup>. Sin embargo se debe tener cuidado al examinar los dientes obturados ya que la gutapercha produce artefactos que pudiesen parecer fracturas<sup>15,39</sup>. Según Fayad existen 4 hallazgos en las tomas de TCHC que son consistentes con FV: la pérdida del hueso en el tercio medio de la raíz mientras que en los demás tercios el hueso esta intacto, la ausencia de hueso cortical, una radiolucidez alrededor del lugar donde termina el endoposte y la visualización de la línea radiolucida correspondiente a la línea de fractura<sup>39</sup>.

## **Condiciones especiales**

La TCHC va a ser útil en el tratamiento de dos situaciones especiales: en órganos que han sufrido algún traumatismo y en los que están en un proceso de resorciones.

### **Traumas Dentales**

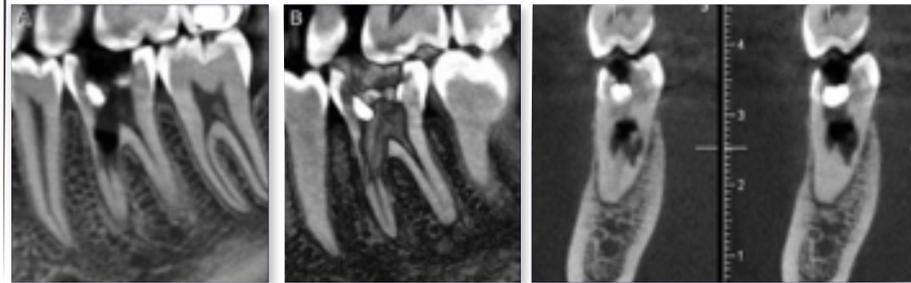
El uso del TCHC para evaluar pacientes que han sufrido traumas dentoalveolares está documentado en varios estudios. Con un TCHC podemos apreciar y examinar la naturaleza exacta y la extensión de las lesiones del diente y del hueso alveolar eliminando el ruido de la imagen. Esta examinación permite a los clínicos implementar el tratamiento adecuado. El grado y dirección de desplazamiento de un órgano dental se puede evaluar fácilmente con un TCHC. Si una fractura ocasionada durante el traumatismo no se identifica puede llevar a un tratamiento inadecuado y mal pronóstico para el órgano dental. TCHC ha demostrado ser más sensible que varias tomas con radiografías convencionales. Rara vez en un traumatismo está involucrado un solo diente, por lo que al realizar el TCHC se debe considerar un CV de al menos 4cm x 4cm para capturar los dientes y la anatomía involucrada sin distorsión geométrica. Otra ventaja del TCHC es que es una técnica radiológica extraoral, por lo que la toma será más cómoda para un paciente que acaba de sufrir un trauma, tiene movilidad dental y/o dolor. Considerando que la mayoría de traumas suceden a pacientes de 3 a 9 años de edad, la comodidad del paciente es importante desde un punto de vista emocional.

### **Evaluación y Manejo de Resorciones**

Las resorciones radiculares solo pueden ser diagnosticadas de manera certera radiográficamente<sup>41,42</sup>. Las TCHC son más sensibles que las radiografías convencionales para detectar resorciones radiculares externas en sus etapas tempranas y el daño a los tejidos duros puede estar presente en las raíces antes de que la resorción sea evidente radiográficamente<sup>5,43</sup>. Cuando un diagnóstico de resorción radicular externa se realiza solo con radiografías convencionales se debe tener en cuenta que el defecto causado por la resorción puede verse superpuesto al conducto simulando una resorción interna. En ocasiones diferenciar una reposición interna de una resorción externa puede ser un reto. Con las TCHC es fácil diferenciar y diagnosticar el tipo de resorción<sup>1,43</sup> y su extensión<sup>44,45</sup>. La

ventaja de usar TCHC para manejar casos de resorciones que se pueden localizar de manera exacta la extensión de la reabsorción radicular y la posible perforación y comunicación con el espacio del ligamento periodontal<sup>46,47</sup> logrando un buen diagnóstico y por ende identificar el pronóstico del órgano dental y planear un tratamiento<sup>48</sup>.

**Fig. 13.** (A) Vista sagital mostrando resorción asociada a la furca. (B) Reconstrucción tridimensional de la cámara pulpar. (C) Vista coronal de la raíz mesial mostrando una reabsorción extensa<sup>43</sup>.



## CONCLUSIONES

El examen radiográfico es una parte esencial para el diagnóstico y el manejo de los casos en endodoncia. En estas épocas el método radiográfico de elección son las radiografías convencionales, pero los clínicos cuentan con la opción de las TCHC para casos complejos o que se han complicado. Las TCHC son una herramienta útil en la evaluación y manejo de problemas endodónticos. Estas imágenes tridimensionales superan las limitaciones de las técnicas de radiología convencional. Sin embargo las dosis de radiación efectiva de las TCHC son mayores que las de las radiografías intraorales por lo que siempre que se mande a un paciente a tomar una TCHC los beneficios deben ser mayores a los riesgos potenciales que pueda presentar la radiación y los parámetros de la toma siempre deben respetar el principio ALARA. La decisión de tomar una TCHC debe realizarse según las condiciones de cada caso y de cada paciente, únicamente cuando las pruebas y auxiliares diagnósticos, tanto clínicos como radiográficos, no proveen la información necesaria para diagnosticar o manejar el caso. La evaluación inicial siempre debe realizarse con radiografías convencionales y las TCHC deben limitarse a casos donde la información de una imagen tridimensional es necesaria.

La TCHC es útil para el diagnóstico de lesiones periapicales y casos de anatomías complejas, para planeación de procedimientos quirúrgicos, determinar causas de fracasos de tratamientos endodónticos como conductos omitidos o fracturas verticales y condiciones

especiales como traumas dentoalveolares y resorciones radiculares. Más aplicaciones de las TCHC en el campo endodóntico pueden aparecer en un futuro ya que las investigaciones clínicas siguen explorando las ventajas de esta tecnología. Las TCHC tienen el potencial de convertirse en la opción de elección ya que se están desarrollando sistemas que utilizan niveles de radiación más bajos. Por ahora cada caso debe de ser juzgado de manera individual y el clínico debe basarse en sus conocimientos y experiencia para elegir aquellos en los que una TCHC será más beneficiosa para el tratamiento del paciente que la dosis de radiación a la que será expuesto.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Nair MK, Fayed MI, Benavides E, Ruprecht A, Barghan S, Levin MD, Rubinstein RA, Hirschberg CSAE Board Liaison (Special Committee to Revise the Joint AAOMR/ AAE Position Statement on Cone Beam-Computed Tomography), Use of Cone Beam Computed Tomography in Endodontics 2015 Update: Position paper of The American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology/ American Association of Endodontists, Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology (2015), doi: 10.1016/j.oooo.2015.07.033.
2. T. Mao, P. Neelakantan. Three-dimensional imaging modalities in endodontics. *Imaging Science in Dentistry*, 2014, 44:177-183.
3. Venskutonis T., Plotino G. The importance of Cone-beam computed tomography in the management of endodontic problems: A review of the literature. *J Endod* 2014;40(12):1895-901.
4. Randolph Todd. Cone Beam Computed Tomography Updated Technology for Endodontic Diagnosis. *Dent Clin N Am* 58 (2014) 523-543.
5. Kiarudi AH, Eghbal MJ, Safi Y, Aghdasi MM, Fazlyab M. The Applications of Cone-Beam Computed Tomography in Endodontics: A Review of Literature. *Iran Endod J.* 2015;10(1)-16-25.
6. J.Weissman, J.D. Johnson. Association between the presence of apical periodontitis and clinical symptoms in endodontic patient using cone-beam computed tomography and periapical radiographs. *J. Endod* 2015; 41(11):1824-9.
7. R. Pauwels, K. Araki. Technical aspects of dental CBCT: state of art. *Dentomaxillofacial Radiology* (2015) 44, 20140224
8. K. Abramovitch, D.D. Rice. Basic Principles of Cone Beam Computed Tomography. *Dent Clin N Am* 58 (2014) 463-484.
9. Kumar M, Shanavas M, Sidappa A, Kiran M. Cone beam computed tomography - Know its secrets. *J Int Oral Health* 2015;7(2):64-68.
10. Gonzalez RF., Woods RE., *Digital Image Processing*. 2da Edición. Prentice Hall. Estados Unidos, 2002.
11. K. Jorner, R. Jacobs. Dental CBCT equipment and performance issues. *Radiation Protection Dosimetry* (2013), Vol. 153, No. 2, pp. 212–218.
12. JB Ludlow, R Timothy. Effective dose of dental CBCT—a meta analysis of published data and additional data for nine CBCT units. *Dentomaxillofacial Radiology* (2015) 44, 20140197.
13. R. Spin-Neto, E. Gotfredsen. Impact of voxel size variation on CBCT-Based diagnostic outcome in dentistry: a systematic review. *J Digit Imaging* (2013) 26:813-820.
14. S. La, D. Jung. Identification of independent middle mesial canal in mandibular using cone-beam computed tomography imaging. *JOE—Vol. 36, Núm. 3, Marzo 2010. 542-545.*
15. A. Radwan, S.G. Kim. Treatment of a hypertaurodontic maxillary second molar in a patient with 10 taurodonts: a case report. *JOE—Vol.40, Núm 1, enero 2014. 140-144.*

16. Kobayashi K, Shimoda S, Nakagawa Y, Yamamoto A. Accuracy in measurement of distance using cone-beam computerized tomography. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2004;19:228-231.
17. Murmulla R, Wörtche R, Mühling J, Hassfeld S. Geometric accuracy of the New Tom 9000 cone beam CT. *Dentomax Radiol* 2005;34:28-31.
18. J. Krithikadatta, J.K. Kottor. Mandibular first molar having an unusual mesial root canal morphology with contradictory cone-beam computed tomography findings: A case report. *JOE—Vol. 36, Núm. 10, Octubre 2010. 1712-1716.*
19. Thomas V. McClammy. Endodontic Applications of Cone Beam Computed Tomography. *Dent Clin N Am* 58 (2014) 545-559.
20. P.K. Agrawal, J. Wankhade. A rare case of type III dens invaginatus in a mandibular second premolar and its nonsurgical endodontic management by using cone-beam computed tomography: A case report. *J.Endod* 2016 42(4):669-72.
21. Petersson A, Axelsson S, Davidson T, Frisk F, Hakeberg M, Kvist T, Norlund A, Mejare I, Portenier I, Sandberg H, Tranæus S, Bergenholtz G. Radiological diagnosis of peri-apical bone tissue lesions in endodontics: a systematic review. *International Endodontic Journal*, 45, 783–801, 2012.
22. A. Nosrat, S.C. Schneider. Endodontic management of a maxillary lateral incisor with 4 root canals and a dens invaginatus tract. *JOE—Vol. 41, Núm. 7, Julio 2015. 1167-1171.*
23. Lofthag-Hansen S, Huumonen S, Gröndahl K, Gröndahl H-G. Limited cone beam CT and intraoral radiography for the diagnosis of periapical pathology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2007;103:114-119
24. Patel S, Dawood A, Mannocci F, Wilson R, Pitt Ford T. Detection of periapical bone defects in human jaws using cone beam computed tomography and intraoral radiography. *Int Endod J* 2009;42:507-515.
25. F.G.R. Cardoso, N.S. Ferreira. Correlation between volume of apical periodontitis determined by cone-beam computed tomography analysis and endotoxin levels found in primary root canal infection. *JOE—Vol. 41, Núm. 7, Julio 2015. 1015-1019.*
26. F. Lemagner, D. Maret. Prevalence of apical bone defects and evaluation of associated factors detected with cone beam computed tomographic images. *JOE—Vol. 41, Núm. 7, Julio 2015. 1043-1047.*
27. M. EzEldeen, G. Van Gorp. 3-dimensional analysis of regenerative endodontic treatment outcome. *JOE—Vol. 41, Núm. 3, Marzo 2015. 319-324.*
28. Lennon S, Patel S, Foschi F, Wilson R, Davies J, Mannocci F. Diagnostic accuracy of limited volume cone beam computed tomography in the detection of periapical bone loss: 360° scans *versus* 180° scans. *Int Endod J* 2011;44:1118-1127.
29. M.M. Bornstein, A.C. Bingisser. Comparison between radiographic (2-dimensional and 3-dimensional) and histologic findings of periapical lesions treated with apical surgery. *JOE—Vol. 41, Núm. 6, Junio 2015. 804-811.*

30. J. Guo, J.H. Simon. Evaluation of the reliability and accuracy using cone-beam computed tomography for diagnosing periapical cyst from granulomas. *JOE—Vol. 39, Núm. 12, diciembre 2013.* 1485-1490.
31. Aggarwal V, Logani A, Shah N. The evaluation of computed tomography scans and ultrasounds in the differential diagnosis of periapical lesions. *J Endod 2008;34:* 1312–5.
32. Shrout MK, Hall JM, Hildebolt CE. Differentiation of periapical granulomas and radicular cysts by digital radiometric analysis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1993;76:*356–61.
33. Nair PN. New perspectives on radicular cysts: do they heal? *Int Endod J 1998;31:* 155–60.
34. J. Kottor, N. Velmurugan. Endodontic management of maxillary first molar with eight root canal systems evaluated using cone-beam computed tomography scanning: A case report. *JOE—Vol. 37, Núm. 5, Mayo 2011.* 715-719.
35. C. Song, H. Chang. Endodontic management of supernumerary tooth fused with maxillary molar by using cone-beam computed tomography. *JOE— Vol. 36, Núm. 11, Noviembre 2010.* 1901-1904.
36. S. La, D. Jung. Identification of independent middle mesial canal in mandibular using cone-beam computed tomography imaging. *JOE—Vol. 36, Núm. 3, Marzo 2010.* 542-545.
37. F. Abella, L.M. Teixidó. Cone-beam computed tomography analysis of the root canal morphology of maxillary first and second premolars in a spanish population. *JOE—Vol. 41, Núm. 8, agosto 2015.* 1241-1247.
38. J.K. Brooks, J.W. Kleinman. Retrieval of extensive gutta-percha extruded into the maxillary sinus: Use of 3-dimensional cone-beam computed tomography. *JOE—Vol. 39, Núm 9, Septiembre 2013.* 1189-1193.
39. M.I. Fayad, P.J. Ashkenaz. Different representations of vertical root fractures detected by Cone-Beam volumetric tomography: A case series report. *JOE—Vol. 38, Núm. 10, Octubre, 2012,* 1435-1442.
40. R.M. Clarkson, K. John. Horizontal palatal root fracture in a vital upper first premolar. *JOE—Vol. 41, Núm. 5, Mayo 2015.* 759-761.
41. Andreasen JO, Andreasen FM. Root resorption following traumatic dental injuries. *Proc Finn Dent Soc 1991;88:*95-114.
42. Patel S, Ricucci D, Durack C, Tay F. Internal root resorption: a review. *J Endod 2010;36:*1107-1121.
43. S. Borkar, I.N. de Ataide. Management of a massive resorptive lesion with multiple perforations in a molar: Case report. *JOE—Vol.41, Núm. 5, Mayo 2015.* 753-758.
44. Cotton TP, Geisler tM, Holden dt, Schwartz Sa, Schindler Wg. Endodontic applications of cone-beam volumetric tomography. *J Endod. 2007; 9:*1121-32.
45. Patel S, Dadwood a. The use of cone beam computed tomography in the management of external cervical resorption lesions. *Int Endod J.2007;40 (9):* 730-7.

46. Cotton TP, Geisler TM, Holden dt, Schwartz Sa, Schindler Wg. Endodontic applications of cone-beam volumetric tomography. *J Endod.* 2007; 9,1121-32.
47. Patel S. New dimensions in endodontic imaging: part 2. Cone beam computed tomography. *Int Endod J.* 2009; 42(6):463-75.
48. Tetradis S, Anstey P, Graff-Radford S. Cone Beam Computed Tomography in the Diagnosis of Dental Disease. *J Calif dent assoc.* 2010; 38 (1): 27-32.
49. Davies A, Patel S, Foschi F, Andiappan M, Mitchell P. J., Mannocci F. The detection of periapical pathoses using digital periapical radiography and cone beam computed tomography in endodontically retreated teeth - part 2: a 1 year post-treatment follow-up. *Int Endod J.* 2016; 49:623-35.
50. Randolph Todd. Dental Imaging—2D to 3D: a historic, current and future view of projection radiography. *Endodontics Topics* 2014; 31:36-52.