

**Universidad CEU Cardenal Herrera  
CEINDO**

**CEU Escuela Internacional de Doctorado  
PROGRAMA EN MEDICINA TRASLACIONAL**



**CEU**

*Escuela Internacional  
de Doctorado*

**ESTUDIO DE LA ANATOMÍA DEL  
INCISIVO CENTRAL MAXILAR  
MEDIANTE CBCT.  
MODELO PREDICTIVO DE ACCESO  
ENDODÓNTICO.**

TESIS DOCTORAL

Presentado por:

María Llácer Martínez

Dirigida por:

Dr. Benjamín Martín Biedma

Dra. María del Mar Jovaní Sancho

VALENCIA

Año 2022







**Estudio de la anatomía del incisivo  
central maxilar mediante CBCT.  
Modelo predictivo de acceso  
endodóntico.**

Tesis Doctoral  
María Llácer Martínez  
2022





**Don. Benjamín Martín Biedma**, Profesor Titular en la Facultad de Medicina y Odontología de la Salud de la Universidad Santiago de Compostela y **Dña. M<sup>a</sup> del Mar Jovaní Sancho**, Profesora Adjunta de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad CEU-Cardenal Herrera

INFORMAN:

Que la Tesis Doctoral titulada “**Estudio de la anatomía del incisivo central maxilar mediante CBCT. Modelo predictivo de acceso endodóntico**”, ha sido realizada por Dña. María Llácer Martínez, bajo nuestra dirección y cumple los requisitos para su defensa.

Y para que así conste, firmamos el presente informe en Alfara del Patriarca (Valencia) a 23 de marzo de 2022.

Firmado digitalmente por  
MARTIN BIEDMA  
BENJAMIN JOSE  
- 76517439G  
Fecha: 2022.03.23  
08:44:54 +01'00'

Firma Director Tesis

Firma Codirectora Tesis





## **AGRADECIMIENTOS**



Quisiera expresar mi más sincero y profundo agradecimiento a mis directores, Dr. D. Benjamín Martín Biedma y Dra. Dña. María del Mar Jovaní Sancho, quienes han prestado mucho más que su colaboración para la realización del presente trabajo. Su tiempo, dedicación, conocimientos científicos, experiencia clínica y paciencia, además de aportarme estímulo, apoyo y amistad, que sin todo ello no habría sido posible la realización de la presente Tesis Doctoral. A la Dra. M<sup>a</sup> del Mar, quiero agradecerle especialmente sus consejos, el innumerable tiempo y su apoyo en todo momento, que sin duda su ayuda ha sido realmente inestimable.

Agradecer a mis compañeros de la asignatura de Patología y terapéutica dental, del grupo de doctorado y del despacho. Inés, Elisabet, Javi, Iñaki y Marta por el ánimo y apoyo absoluto; así como el compartir y comprender conmigo muchos momentos, algunos buenos y otros que no lo fueron tanto.

A mis padres, José y Juana. Todo lo que soy se lo debo a ellos. Se esforzaron en mi educación y en que fuera mejor persona. Ojalá todos los padres fueran como ellos.

A mi querida hermana, Helena, excelente hermana mayor, mejor persona. Gracias por estar siempre ahí, ser comprensiva y un apoyo en todo. Siempre recordaré tus brillantes clases de historia.

A mi marido, Juan, por su aliento, su estímulo, su comprensión y paciencia, siempre su fuerza y su amor. Estoy orgullosa de ti, como persona y compañero de vida.

A mi mayor existo en la vida, mis hijos, Juan y Sofía, se la cantidad de horas que os he robado, gracias por vuestro amor puro e incondicional.

A todos los que en algún momento me ayudaron y apoyaron, a mis suegros, cuñado y amigos, por escucharme y reconfortarme en todo el proceso.

A TODOS. GRACIAS



# ÍNDICE



<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	17
<b>2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</b> .....	23
2.1 <b>Importancia del estudio de la anatomía dental</b> .....	23
2.2. <b>Métodos de estudios hasta la actualidad</b> .....	23
2.3. <b>Características anatómicas no estudiadas</b> .....	38
2.4. <b>Importancia del estudio del incisivo central maxilar</b> .....	39
2.5. <b>Diente de estudio: Incisivo Central Maxilar</b> .....	47
2.6 <b>Factores que afectan a la anatomía de los ICM</b> .....	52
<b>3. JUSTIFICACIÓN</b> .....	65
<b>4. OBJETIVOS</b> .....	71
4.1 <b>Objetivos generales</b> .....	71
4.2 <b>Objetivos específicos</b> .....	71
<b>5. MATERIAL Y MÉTODOS</b> .....	75
5.1 <b>Tipo de estudio y tamaño muestral</b> .....	75
5.2 <b>Ética del estudio</b> .....	76
5.3 <b>Metodología del estudio de las mediciones anatómicas</b> .....	76
5.3.1 <b>Criterios de selección</b> .....	76
5.3.2 <b>Parámetros de estudio</b> .....	80
5.3.3 <b>Evaluación de la imagen</b> .....	91
5.4. <b>Validación del instrumento CBCT</b> .....	91
5.5. <b>Metodología del modelo predictivo</b> .....	96
5.6. <b>Análisis estadístico</b> .....	97

<b>6. RESULTADOS</b> .....	105
<b>6.1 Resultados del estudio anatómico del ICM</b> .....	105
6.1.1 Estadística descriptiva .....	105
6.1.2 Estadística inferencial .....	114
<b>6.2 Resultados estudio comparativo CBCT y micro-CT</b> .....	127
<b>6.3 Caso de estudio Modelo predictivo</b> .....	129
6.3.1 La Dinámica de Sistemas en Ciencias.....	130
6.3.2 Modelo .....	132
6.3.3 Validación .....	146
<b>7. DISCUSIÓN</b> .....	153
7.1 Discusión del estudio anatómico del ICM.....	153
7.2 Discusión del estudio comparativo CBCT y micro-CT .....	158
7.3 Discusión del Caso del Modelo predictivo .....	161
<b>8. CONCLUSIONES</b> .....	169
<b>9. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	173
<b>10. ABREVIATURAS</b> .....	211
<b>11. ANEXOS</b> .....	215



# **INTRODUCCIÓN**



## 1. INTRODUCCIÓN

El conocimiento de la anatomía dental y de sus variaciones, es fundamental para poder realizar tratamiento de conductos radiculares satisfactorios (1-3).

Su estudio se ha venido realizando a lo largo de los años mediante técnicas más o menos invasivas. Entre las formas invasivas, limitadas al estudio *ex vivo* ya que los dientes son extraídos, se encuentran la diafanización, la observación de cortes microscópicos y la microtomografía computarizada (micro-CT) (4-9).

Como método no invasivo podemos incluir la radiografía convencional en dos dimensiones, que desde su creación ha servido como pilar diagnóstico junto a la sintomatología. Actualmente, esta técnica sigue siendo el sistema de imagen de elección en la clínica dental, aunque presente ciertas limitaciones. Entre sus inconvenientes encontramos el que proporciona imágenes en 2D, siendo difícil apreciar el diente en su tridimensionalidad, la existencia de distorsiones geométricas, la presencia de interferencias con otras estructuras anatómicas y la complejidad de la interpretación a largo plazo de distintas radiografías del mismo tejido dentario (10-12).

Gracias a los avances en investigación han surgido nuevas técnicas como la radiografía de sustracción digital (DSR), la resonancia magnética y la tomografía computarizada (TC). Esta última fue introducida en 1998 por Mozzo y cols, como un nuevo tipo de TC volumétrico que usaba la técnica de haz cónico en lugar de la técnica tradicional (TC médico), pero no fue hasta el 2000 cuando se puso en auge y se modificó del escaneado secuencial espiral al de múltiple giro, dando origen a la actual tomografía computarizada de haz cónico (CBCT). Entre sus ventajas se encuentran el que nos proporciona una menor radiación, un tiempo de exposición corto, la posición sentada del paciente y un tamaño adecuado de almacenaje (13-20).

Al ser el CBCT una técnica muy eficiente en la obtención de imágenes de tejido duro, su uso se ha vuelto cada vez más frecuente en la clínica dental. Sus aplicaciones diagnósticas en odontología son múltiples. Se puede utilizar para evaluar la morfología del diente a tratar discerniendo previamente al tratamiento sus variedades anatómicas (21,22), también facilita el diagnóstico diferencial entre la patología endodóntica y la de origen no endodóntico, la evaluación de fracturas radiculares, el manejo de un traumatismo complejo dentoalveolar, el análisis de la reabsorción radicular externa e interna o reabsorciones cervicales invasivas, y la planificación prequirúrgica de implantes, cirugía periapical y de extracciones de terceros molares o dientes incluidos (11,18,23-26). Incluso se ha descrito cómo la visualización previa de un CBCT influirá en el plan de tratamiento propuesto por especialistas de distintas áreas (10,27). Los nuevos avances tecnológicos de esta herramienta también pueden ayudarnos a realizar de forma eficiente nuestro acceso endodóntico basándose en la morfología de la cámara pulpar de un diente. Esto puede ser de gran utilidad ante desafíos endodónticos como son los dientes calcificados. En el campo de la odontología forense se presenta como un método no destructivo que permite realizar el análisis interno de los fenómenos regresivos de la dentición causados por el envejecimiento, pudiendo determinar la edad de un individuo.

Entre sus limitaciones se encuentra su alta sensibilidad a artefactos radiográficos relacionados con el haz de rayos X. Ante la presencia de un objeto de muy alta densidad como restauraciones metálicas, poste intrarradicular metálico o implantes, la energía media del haz de rayos X aumentaría, provocando la distorsión de la estructura metálica o la aparición de rayas y bandas oscuras entre los sensores. Esto afectaría a la imagen provocando la no visualización correcta de la patología o el diente a estudiar (28,29).

Aunque el uso del CBCT cada vez está más extendido, los clínicos no han de olvidar los efectos potenciales de la radiación ionizante a la hora de

solicitarlo. Sería necesario realizar previamente un examen clínico exhaustivo y una radiografía convencional, y recurrir solo al CBCT cuando la información que nos aporte ayude al diagnóstico del diente a tratar. Además, siempre se tendría en consideración el principio de ALARA (tan bajo como sea razonablemente posible (18,24,28,29)).



## **REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**





## **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 Importancia del estudio de la anatomía dental**

El conocimiento de la anatomía dental en profundidad es primordial para poder realizar tratamientos de conductos radiculares predecibles (2,30,31). La mayoría de los fracasos endodónticos son consecuencia de la inadecuada instrumentación del sistema de conductos, debido a que uno nunca sabe a ciencia cierta el número de conductos radiculares del diente. Por ello, es necesario un conocimiento sistemático de la anatomía de la pulpa, del piso cameral y del número promedio de conductos. La solución sería comprender y analizar en profundidad, todos los patrones anatómicos y así ayudar al clínico a conocer de forma sistemática la ubicación de los conductos (32), para exponerlos con la menor pérdida de estructura dental (33).

Junto con el estudio en profundidad de la anatomía dental externa e interna, tenemos a nuestro alcance nuevas herramientas que pueden ayudarnos en la práctica diaria de la endodoncia, como son el uso de microscopio (34) y la tomografía computarizada de haz cónico (26,35-37).

### **2.2. Métodos de estudios hasta la actualidad**

Los métodos más utilizados para evaluar la anatomía coronal y radicular se pueden clasificar en técnicas no invasivas (*in vivo*) y técnicas invasivas (*ex vivo*) (38).

#### **Técnicas invasivas**

Los métodos *in vivo* que permiten un examen microscópico e histológico detallado del diente en todas sus dimensiones son:

## Diafanización

La técnica de diafanización es una técnica sencilla que no requiere de equipos especializados. Ha sido empleada para el estudio interno y tridimensional del sistema de conductos. Esta técnica consiste en inyectar tinta china o hematoxilina azul en el interior del conducto para posteriormente desmineralizar y aclarar la estructura dental mediante ácidos. Se puede utilizar ácido nítrico solo o en combinación con el salicilato de metilo o xilol como agentes aclarantes. El último paso sería la observación de la anatomía interna del diente tras la transparentización de la estructura mineral (39).

Esta técnica antiguamente se empleaba para la docencia en preclínica (40). Se utilizaban dientes transparentes para que los estudiantes visualizasen mejor las técnicas de tratamiento de conductos como la instrumentación y el sellado radicular (41) (Figura 1).

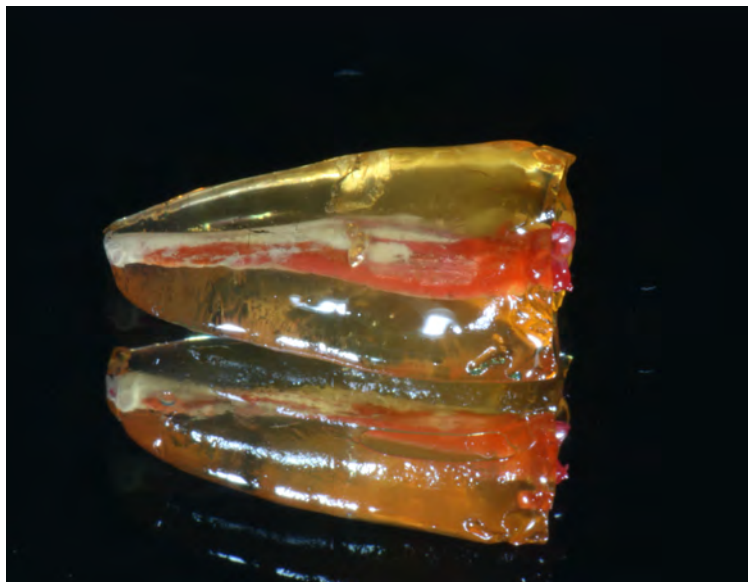


Figura 1: Imagen de un premolar inferior diafanizado para la posterior evaluación de la técnica de obturación (cortesía de la Dra. Torres).

### **Cortes microscópicos**

Desde 1991, existe evidencia científica del empleo de cortes microscópicos para el estudio anatómico e histológico de la dentición humana (42). Esta técnica es invasiva, ya que requiere de la extracción de los dientes para su posterior corte en secciones transversales, y de la visualización de estos bajo el microscopio electrónico de barrido (MEB).

En la literatura se ha utilizado con distintas finalidades. A nivel anatómico, permite estudiar la forma de los conductos a lo largo de toda la raíz, como en el estudio de Shrestha y cols. (43) donde evaluaron la forma de los conductos para seleccionar la técnica más adecuada de instrumentación, o el estudio de Gu y cols. (44), que evaluarón además de la forma, la curvatura de los conductos, la distancia entre las raíces y la incidencia de conductos accesorios. Podemos ver un ejemplo de corte histológico en la Figura 2. También se ha empleado para comparar la precisión de distintos localizadores de ápices (45), en la investigación de la adaptación marginal de los biocerámicos (46) y en la microfiltración coronal (47).

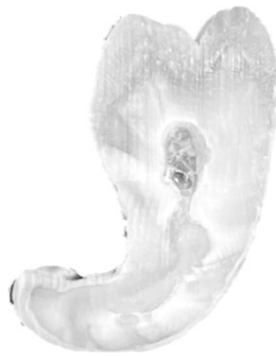


Figura 2: Corte histológico longitudinal de un tercer molar mandibular, donde se puede apreciar la cámara pulpar con un pulpolito en su interior.

### **Microtomografía computadorizada (micro-CT)**

En 1995 se demostró que el micro-CT podía usarse para estudiar la anatomía dental interna y externa sin destruir los dientes (48). Es una técnica invasiva porque implica la extracción del diente a estudiar, que

además requiere mucho tiempo para procesar y reconstruir la imagen (Figura 3) (49-51).

Es una herramienta de investigación muy precisa, con alta resolución espacial, capaz de generar vóxeles de 5 a 50 micras, lo que supone un volumen 1.000.000 de veces más pequeño que los vóxeles de una tomografía computadorizada (TC) (52). También permite la proyección rotada, produciendo imágenes de reconstrucción en 3D que representan mapas de distribución espacial. Para ello emplea una fuente de rayos X desde un punto microfocal y detectores de alta resolución.

El sistema de micro-CT permite el estudio de áreas pequeñas. Es capaz de determinar el número y la configuración de los conductos radiculares, de visualizar los forámenes apicales, evaluar los cambios volumétricos en el espacio pulpar, y examinar los conductos radiculares antes y después de la instrumentación y la obturación (52,53).

Actualmente el micro-CT se considera la técnica gold estándar para estudiar la anatomía del conducto radicular (7,49,54,55) y para estimar la edad de un individuo fallecido (56-58) (Figura 3). Sin embargo, presenta desventajas como las altas dosis de radiación, el alto coste y los artefactos en las imágenes causados por materiales metálicos, como implantes, coronas, obturaciones de amalgama de plata y postes intraradiculares. Además, con el micro-CT no se pueden obtener imágenes humanas *in vivo* (56) debido a las limitaciones de volumen del aparato. Los estudios se limitan a dientes extraídos o a segmentos de maxilares con los dientes de estudio incluidos (7,59).

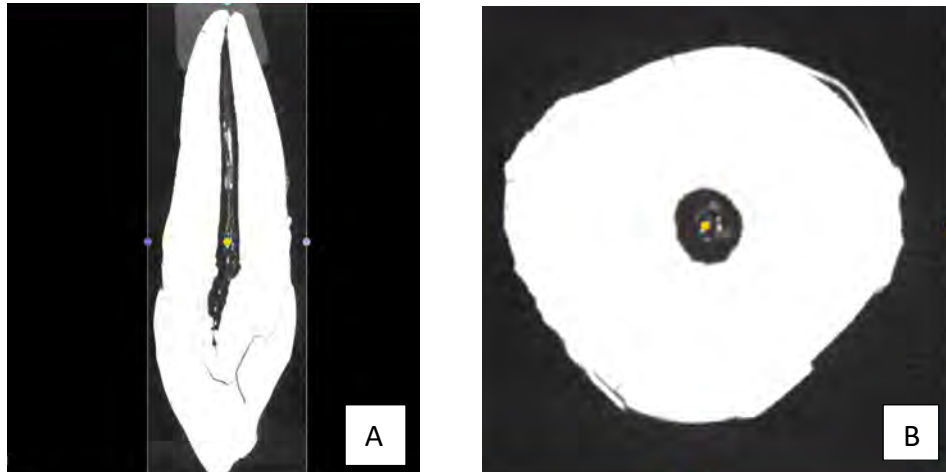


Figura 3: Imagen de micro-CT obtenida a partir del software 3D slicer donde se pueden apreciar las calcificaciones internas del conducto pulpar. A: Corte sagital; B: Corte axial en el tercio radicular a 2 mm de la unión amelocementaria.

### **Técnicas no invasivas**

Las técnicas no invasivas presentan una mayor aplicación clínica, ya que son métodos *in vivo* que pueden emplearse en pacientes. Podemos dividir las técnicas en:

#### **Radiografía analógica**

En 1895 Wilhelm Röntgen (60) descubrió los rayos X, pero fue unos años más tarde, cuando se aplicó los efectos de los rayos X a una placa fotográfica y es cuando se apreció su uso terapéutico (61). Hasta 1896 no se obtuvo la primera radiografía dental mediante el empleo de cráneos humanos desecados, y en 1904, el Dr. Edmund Kells realizó la primera radiografía intrabucal en un paciente vivo.

Para obtener una radiografía es necesario que un haz de rayos X atraviese un objeto y que la radiación atenuada que emerge del mismo llegue a un sistema que la detecta y cuantifica. Por lo tanto, es imprescindible la intervención de un aparato productor de rayos X, un objeto y un sistema de registro de la imagen.

Durante décadas, las radiografías periapicales analógicas nos han proporcionado la información necesaria para el estudio de patologías y estructuras anatómicas y nos han ayudado en la realización de tratamientos de conductos. Aunque durante este tiempo nos han dado información muy valiosa, presentan una gran limitación, su bidimensionalidad. La representación en dos dimensiones de estructuras anatómicas tridimensionales puede enmascarar variaciones anatómicas o lesiones patológicas cuando algún elemento de la configuración geométrica se ve afectado. Además, la imagen puede contener errores por la superposición de estructuras.

Otras de sus desventajas es la exposición a radiación y el proceso de revelado radiográfico, viéndose alterado por el tipo de exposición, el tiempo de revelado o la temperatura del líquido revelador. A mayor exposición, tiempos de revelado y temperatura, las imágenes obtenidas serán más densas. Por el contrario, la escasa exposición, un menor tiempo de revelado y una baja temperatura del líquido revelador, hará que las imágenes sean poco densas (62). Al ser el proceso de revelado muy sensible, se debe hacer en una caja o cuarto oscuro para evitar que se vea por filtración de luz o aparezcan artefactos como estrías negras al abrir el envoltorio de la película (63,64).

Todas estas dificultades se ven salvadas con la aparición a finales de la década de los ochenta de la radiografía digital. Esta técnica conlleva cambios tanto en el material que capta los rayos X emitidos como en el proceso y modo de generar la imagen.

### **Radiología por sustracción digital (DSR) 2D**

Con el avance tecnológico a finales de la década de los ochenta, se experimentó una mejoría en todas las características anteriormente descritas, como la resolución de la imagen, la reducción de la dosis de radiación emitida, el almacenaje de las imágenes, la reducción de la

exposición del personal a sustancias químicas y el impacto ambiental (65-69).

En el campo de la odontología se emplean diferentes tecnologías de captura de imágenes: los de acoplamiento de carga (CCD: *charge-coupled devices*), los semiconductores de óxido metálico complementario (CMOS: *complementary metal oxide semiconductor*) y las placas de fosforo (PSP: *photoestimulable phosphor*, también denominadas *radiografía computadorizada*).

El CCD inicialmente tenía un gran volumen y el área activa era reducida, por lo que presentaba limitaciones en la absorción y creación de los rayos X. Para ello se desarrolló una matriz fotosensible, que emplea una capa de centelleo en la superficie del chip de CCD, y un acoplamiento de fibra óptica. Esto mejoró la transferencia y el procesado de la imagen digital (66). Posteriormente apareció el CMOS, de menor tamaño y más económico, que demostró similar utilidad en el diagnóstico del hueso cortical y los ápices radiculares (70,71). Tanto los CMOS como los CCD son aptos para el diagnóstico.

A diferencia de estos, las placas de fosforo son inalámbricas, económicas y toleran una alta cantidad de exposiciones, por lo que son muy útiles en situaciones de gran volumen de trabajo. Esta tecnología consiste en un proceso llamado *dopado*, donde el fósforo es activado al exponerlo a la radiación, se genera una carga que es almacenada y en el sensor se queda la imagen de forma latente hasta su visualización con un lector, que emplea un haz de láser a una determinada longitud de onda. La imagen se borra de la placa al exponerla a la luz blanca. Estas placas presentan algunos inconvenientes como la pérdida de claridad de la imagen, la producción de imágenes fantasmas si no son correctamente veladas y la aparición de artefactos en las imágenes por roce o arañazo durante la manipulación (66,72,73).

Aun con las mejoras de la radiografía digital respecto a la convencional, siguen existiendo limitaciones bien establecidas como la visualización de las estructuras en 2D, las distorsiones geométricas o las interferencias de estructuras anatómica (11,37).

### **Resonancia Magnética (RM)**

Desde 1980 la resonancia magnética se ha convertido en una modalidad de diagnóstico radiológico no invasivo, ya que no expone al cuerpo a radiación y presenta un contraste superior en la visualización de los tejidos blandos.

Utiliza un campo magnético muy poderoso y cambiante, ondas de radio y un ordenador para la obtención de las imágenes (74).

La revisión de la literatura actual de la RM nos describe los nuevos usos en los que se está aplicando esta tecnología. Entre ellos se evalúa la anatomía de la pulpa dental, la profundidad de la desmineralización del esmalte y la dentina y la profundidad de las anomalías de los dientes. También revela la regeneración pulpar después de la terapia con células madre marcadas con partículas de óxido de hierro (medicina regenerativa), pudiendo confirmar la inducción de la angiogénesis (16,56,75).

La RM es excelente a la hora de evaluar tejidos como la articulación temporomandibular (ATM) (76). Esta herramienta ofrece imágenes simultáneas tridimensionales de los tejidos duros y blandos. La ventaja con respecto al CBCT es la ausencia de exposición a radiación ionizante en el paciente (77). Por otro lado, al presentar un gran tamaño, es necesario derivar a los pacientes a los centros especializados. Además, el tiempo de la obtención de las imágenes es mayor con respecto al CBCT, y está contraindicado en pacientes portadores de dispositivos metálicos como marcapasos, catéteres con componentes metálicos, implantes de cóclea y clips vasculares (78).



## **Tomografía computarizada (TC)**

Las limitaciones de la radiografía analógica en dos dimensiones condujeron a las técnicas tridimensionales, desarrolladas por Sir Godfrey N. Hounsfield en la década de los 70. Por la revolución que este descubrimiento ocasionó a nivel de diagnóstico clínico y de investigación, se considera el avance más importante en radiología tras el descubrimiento de los raxos X (79).

La tomografía computadorizada es una técnica que obtiene cortes finos de una región anatómica para llevar a cabo una reconstrucción de forma automatizada (píxel anisótropo).

El término *tomografía* hace referencia al “corte de imágenes”. Esta tecnología inicialmente empleaba un modelo de adquisición de multitud de imágenes de traslación-rotación, con la consiguiente alta radiación, un tiempo de barrido prolongado y la posibilidad de la aparición de artefactos por el movimiento.

Posteriormente se incorporaron múltiples detectores y fuentes de rayos X con un movimiento de traslación continuo para reducir el tiempo de barrido (66). Aun con estas modificaciones, la tomografía computadorizada presenta inconvenientes como la alta dosis de radiación, el largo tiempo de adquisición, la aparición de artefactos por las restauraciones metálicas, el alto coste y la ausencia de un software adecuado para el uso odontológico. Todo esto hace que el empleo de esta herramienta en este campo sea infrecuente.

Actualmente se continúa utilizando para la obtención de imágenes de los tejidos blandos en exploraciones médicas de la cabeza (76). La radiación aproximada es  $2.100 \mu\text{Sv}^2$ , siendo 10 veces mayor que la de otras herramientas. El TC recopila datos de imágenes para una sección cada vez, por ello requiere de un elevado grado de radiación (80,81).

## **Tomografía computadorizada de haz cónico (CBCT)**

La tomografía computadorizada de haz cónico ya existía a principios de la década de los ochenta, pero fue casi 20 años más tarde cuando se empezó a utilizar en el ámbito de la odontología (82).

El CBCT emplea un haz cónico, a diferencia del TC convencional que es en abanico, implica la rotación única de una fuente de rayos X alrededor del sujeto de estudio y ofrece imágenes isotropas de alta resolución. Los datos obtenidos se analizan y reconstruyen mediante un algoritmo para crear un volumen, pudiendo ser estudiados en los 3 planos del espacio (axial, sagital y coronal) (37). Con la información proporcionada el clínico puede visualizar con suficiente detalle morfologías radiculares y coronales, y patologías dentales.

La Asociación Americana de Endodoncia (AAE) junto con la Academia Americana de Radiología Oral y Maxilofacial (AAOMR) desarrollaron un artículo donde se recogen las indicaciones del uso del CBCT: la evaluación de la anatomía y morfología del sistema de conductos, el diagnóstico diferencial de patologías, los traumatismos dentoalveolares, la evaluación intraoperatoria o postoperatoria del tratamiento de conductos, las reabsorciones radiculares internas o externas y la planificación quirúrgica (83). Existen múltiples artículos en la literatura científica que estudian las indicaciones anteriormente mencionadas (11,18,19,23,24,37,84). Con el paso de los años se ha incrementado el uso de esta técnica por parte de los clínicos con la finalidad de obtener imágenes odontológicas de alta resolución (30,85-88).

### **Parámetros de estudio de CBCT**

#### **- Tamaño del vóxel**

Los vóxels son elementos cuboidales que conforman un volumen en 3D. También se llaman vóxels isométricos por presentar la misma dimensión en todos los lados. Estos datos se adquieren y se representan en 3 dimensiones, a diferencia de los píxeles que son 2D.

El TC médico emplea parámetros iguales o mayores a 120 kV, con corrientes superiores a 400 mA, a diferencia de los CBCT que adquieren imágenes con parámetros de exposición inferiores, necesitando además de una única exposición de 180 o 360° de rotación sobre toda la región

anat3mica de inter3s. Las im3genes que construye el CBCT son de tipo c3bico y tienen la misma dimensi3n de longitud, anchura y profundidad. La Figura 4 ilustra la forma de un p3xel y un v3xel.

El tama1o de v3xel de un TC tiene un grosor de 0,5 mm a 1 mm, mientras que el CBCT puede reducir el tama1o del v3xel entre 0,076 y 0,6 mm (66).

La resoluci3n espacial depender3 del tama1o de v3xel al que se adquiere. Cuanto m3s peque1o es el v3xel, mayor es la resoluci3n y m3s n3tida la imagen. En un estudio del efecto del tama1o de v3xel sobre la precisi3n en la reconstrucci3n tridimensional mediante CBCT conclu3an que, a mayor incremento del tama1o del v3xel, mayor subestimaci3n, y a menor tama1o del campo de visi3n, mayor resoluci3n espacial y menor tama1o del v3xel (83). Se consider3 ideal un tama1o inferior a 200  $\mu\text{m}$ , ya que a partir de 300  $\mu\text{m}$  exist3a una subestimaci3n (66,89-91).

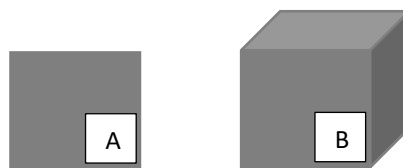


Figura 4: A: Dibujo representativo de un p3xel (elemento de imagen); B: Dibujo representativo de un v3xel (elemento de volumen).

#### - **Campo de visi3n**

El campo de visi3n (en ingl3s, *Field of view=FOV*) es el tama1o que se requiere para incluir la superficie anat3mica a estudiar. Va desde un segmento del maxilar del paciente hasta una superficie tan extensa como toda la cabeza.

Cada imagen de una proyecci3n se puede componer de hasta  $512^3$  v3xeles (11). Dicho volumen determina la magnitud de la anatom3a incluida y depende del tama1o y la forma del detector, de la geometr3a de proyecci3n del haz y de su capacidad de colimaci3n. Por lo que, cl3nicamente, el campo de visi3n debe superar solo ligeramente las dimensiones de la regi3n

anat3mica de inter3s. Cuanto m3s reducido es el campo de visi3n, m3s baja es la dosis de exposici3n del paciente para el estudio.

Los CBCTs pueden tener distintos tama1os de campo de visi3n:

- Campo de visi3n peque1o: abarca un tama1o igual o menor de 5 cm de la regi3n a estudiar y captura un peque1o volumen de datos que pueden incluir solo dos o tres dientes.
- Campo de visi3n mediano: comprende un tama1o de 5 a 7 cm y captura datos de una arcada completa (maxilar o mand3bula).
- Campo de visi3n grande: comprende ambos maxilares, tanto el superior como el inferior, e incluye datos de un tama1o entre 10-15 cm.
- Campo de visi3n de cr3neo completo: incluye un tama1o de m3s de 15 cm, capturando datos del cr3neo completo.

Se ha calculado que las dosis efectivas medias para las exploraciones con campo de visi3n grande, mediano y peque1o son 212, 177 y 84  $\mu\text{Sv}$  respectivamente. El rango para un campo de visi3n peque1o es de 5 a 146  $\mu\text{Sv}$ , pero muchas m3quinas de CBCT logran una exposici3n razonable de alrededor de 30  $\mu\text{Sv}$  en la configuraci3n predeterminada del fabricante. Se debe hacer todo lo posible por comprender y maximizar la capacidad de la unidad CBCT para generar im3genes adecuadas para el diagn3stico, a fin de mejorar el diagn3stico y el tratamiento de la endodoncia. Podemos reducir la dosis de exposici3n mediante la modificaci3n de los par3metros de exposici3n, consiguiendo en cada caso la personalizaci3n de los rangos de exposici3n (37). Se recomienda utilizar el menor campo de visi3n posible, el m3nimo tama1o del v3xel, el valor m3s bajo de mA (de acuerdo con las dimensiones del paciente) y el tiempo de exposici3n m3s breve, con un modo de adquisici3n de exposici3n pulsada (83).

Existen multitud de CBCTs con un rango de dosis de exposici3n que var3a de 20 a 500  $\mu\text{Sv}^2$  (66). Se recomienda informarse correctamente de las

opciones de exploración de cada uno antes de adquirirlos. En la Figura 5, se pueden observar tres equipos de CBCT distintos.

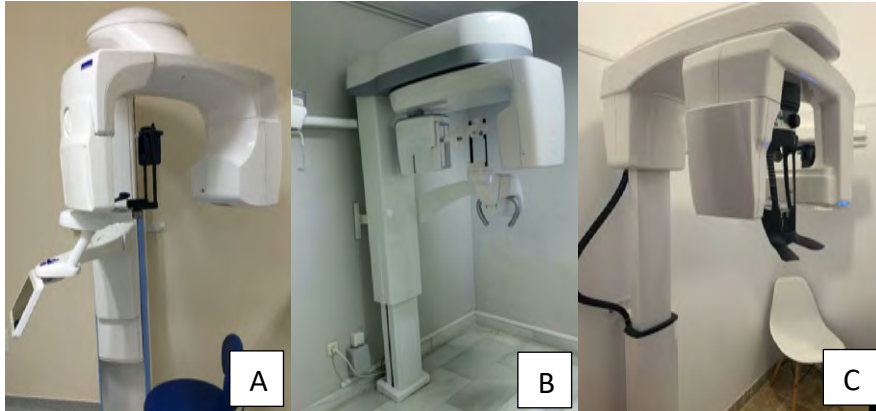


Figura 5: A: CBCT Planmeca ProMax 3D Max<sup>®</sup> (Planmeca Inc, Roselle, IL); B: CBCT NewTom. VGi evo<sup>®</sup> (NewTom, Verona, Italy); C: CBCT CS KODAK 9500 3D<sup>®</sup> scanner Carestream (Carestream Health, Inc, Marne-la-Vallée, France).

A continuación, describimos las ventajas y desventajas de esta herramienta.

### **Ventajas**

- Dosis de radiación baja: los estudios demuestran que la dosis de exposición de los CBCTs es menor que la de otros dispositivos como la tomografía computadorizada. Upasani y cols. compararon la dosis de exposición de la TC con la del CBCT, observando que esta última era 10 veces mayor la dosis que del TC (92). Otro estudio evaluó la dosis de la radiografía analógica 2D con la tomografía computadorizada y dos CBCTs en los huesos de la muñeca. Concluyeron que, las dosis efectivas respectivamente eran de 1.0  $\mu\text{Sv}$  para la radiografía (2D), 8.6  $\mu\text{Sv}$  para el TC, de 0.7 a 1.6  $\mu\text{Sv}$  para el CBCT NewTom 5G y 2.4  $\mu\text{Sv}$  para el CBCT Planmeca, siendo significativamente más baja la dosis de radiación para los dos CBCT que para la radiografía analógica y el TC (93).

- Tiempo de exposición corto: El tiempo de exposición se encuentra en un rango de 10-40 segundos, aunque el tiempo de exposición real es significativamente menor, de 2 a 5 segundos. Esto se debe a que las imágenes comprenden un número de exposiciones separadas, pequeñas e individuales, en vez de una exposición continua. Estos tiempos de exposición son menores que los del TC (66,92).
- Comodidad del paciente: La captación de la imagen se puede hacer estando el paciente de pie o sentado. La posibilidad de hacerlo sentado aumenta la estabilidad al disminuir el movimiento del paciente, mejorando la calidad de la imagen (94).
- Escáner abierto: El que la máquina este abierta, evita situaciones claustrofóbicas para los pacientes.
- Facilidad de almacenaje de las imágenes: Las formas de almacenaje de datos son: DICOM (*Digital Imaging and Communications in Medicine*), tiff (*tagged imagen file format*) y jpeg (*joint photographic experts group*). En 1985, el Colegio Americano de Radiología (ACR) y la Asociación Nacional de Fabricantes de Material Eléctrico (NEMA), establecieron el formato DICOM. Consistía en un conjunto de normas internacionales que permitía definir formatos y transferencias de las imágenes digitales de uso médico, independientemente de los fabricantes (95).  
En 1999, a partir del modelo DICOM, la Asociación Dental Americana (ADA) y el Comité de normas sobre productos dentales (SCDP), identificaron cuatro objetivos básicos para el uso de estándares electrónicos en odontología: la interoperatividad, el diseño de registros sanitarios electrónicos, la arquitectura de las estaciones de trabajo clínicas y la divulgación electrónica de la información dental.  
Promovieron la compatibilidad DICOM con todos los software y archivos digitales de los distintos sistemas (Apple iOS o Microsoft Windows) y plataformas.

## **Desventajas**

Las imágenes de CBCT se ven afectadas por artefactos radiográficos relacionados con el haz de rayos X. Cuando el haz de rayos encuentra un objeto de muy alta densidad, aumenta su energía media, produciendo dos tipos de artefactos: distorsión de estructuras metálicas en presencia de restauraciones metálicas (p.ej., coronas ceramometálicas, postes intraradiculares, amalgamas de plata, implantes dentales...) y rayas o bandas oscuras en el caso de materiales como la gutapercha (11,37). Ante esta situación, los softwares de visualización del CBCT crean algoritmos que los reducen. Se trata de programas matemáticos que, tras procesar los datos, analizan la imagen, el área donde se encuentran las rayas o artefactos y la zona adyacente "normal", reduciendo los tonos de gris respecto a la imagen limpia. Estos tonos de grises se aplican donde es deficiente la información, consiguiendo suavizar la imagen (96-98). Este ajuste es susceptible de presentar algún error, ya que las imágenes nuevas pueden no ser tan precisas. Este programa de reducción de artefactos debe emplearse con precaución (98).

## **Requisitos del CBCT en endodoncia**

En el campo de la endodoncia, para el estudio del sistema de conductos radiculares y su periodonto, se requiere una resolución y un detalle muy preciso. Recordemos que a mayor resolución mayor será la exposición del paciente a la radiación. Por lo que, para el diagnóstico y tratamiento de conductos, se recomienda un de campo pequeño (5x5 cm) y un tamaño de vóxel de 0.2 mm. Este reducirá el volumen de tejido expuesto y la dosis de radiación efectiva y dispersa, consiguiendo una mayor calidad de imagen (37). Para obtener una menor distorsión volumétrica o aparición de artefactos próximos a la zona de estudio, se deben adquirir imágenes con mA bajos (3.0-5.6) y kV altos (90 a110) (99).

El uso del CBCT solo estaría justificado cuando exista un beneficio potencial. Es fundamental que la exposición a la radiación sea tan baja

como razonablemente sea posible (principio de ALARA) (23). Por lo que los beneficios de un estudio con CBCT deberían superar cualquier riesgo potencial para la salud. Esto se consigue personalizando la configuración, según el paciente y la necesidad diagnóstica, evitando el uso de forma sistemática de la configuración predeterminada del fabricante (37). Además, hay que tener especial precaución con los niños. Sólo se realizará el CBCT cuando la radiografía en 2D no nos proporcione de forma adecuada suficiente información para una correcta planificación del tratamiento (24,100).

### **2.3. Características anatómicas no estudiadas**

Son muchos los estudios realizados sobre la anatomía interna de los dientes (número de conductos, clasificación según Vertucci, distribución de los conductos...) (44,50,101-105), pero existen pocos trabajos que registren distancias y midan estructuras externas relacionadas con la cámara pulpar de los dientes. Los pocos que hay se realizan en los primeros molares, premolares e incisivos mandibulares por su mayor dificultad y variedad anatómica (106-108). Como en el estudio de Krasner y Rankow en 2004, donde se examinaron los puntos de referencia externos de los molares maxilares y mandibulares, y su asociación con las características anatómicas del diente. Describieron patrones observacionales que relacionan la cámara pulpar, los conductos, y la orientación del suelo de la cámara pulpar con respecto a la corona clínica (32).

En la literatura se ha encontrado un artículo que estudia la anatomía de los dientes anteriores maxilares, el de Lee y cols. En él, no realizan mediciones anatómicas independientes, sino que se estudian puntos y distancias relevantes para el acceso al conducto radicular a través de radiografías digitales con una rejilla milimetrada (109).



Actualmente con el CBCT podemos medir, de manera más precisa que con las radiográficas analógicas, las relaciones intraconductos, las distancias en los planos sagitales y axiales, y el tamaño y la posición de la cámara pulpar con respecto a estructuras anatómicas. Además, puede proporcionar una reconstrucción no distorsionada de la morfología interna y externa del diente (19,32,110,111).

#### **2.4. Importancia del estudio del incisivo central maxilar**

En este apartado vamos a describir la importancia del estudio de los incisivos centrales maxilares.

#### **Odontología forense**

La odontología forense estudia la identificación de dientes y arcadas, las marcas de las mordeduras y las heridas dentales para su posterior análisis e identificación de fallecidos. Juega un gran papel en la reconstrucción de patrones dentales *post mortem* en las investigaciones criminales y en la identificación de víctimas.

La base fundamental de la odontología forense es determinar la edad de un individuo para estudiar la población del pasado y la actual (112). El estudio de la madurez, el desarrollo dental (56) y la edad ósea, nos permiten determinar la edad con un grado aceptable de exactitud. A nivel óseo se emplea la muñeca, los huesos de la mano y las clavículas del individuo, ya que son las zonas más fiables y exactas (75). Mientras que los factores genéticos, nutricionales y hormonales pueden afectar al esqueleto del individuo, los dientes se ven menos afectados por estos factores (113-115), ya que muestran mayor resistencia a la humedad, las altas temperaturas, las actividades microbianas y las fuerzas mecánicas, que pueden producir alteraciones *post mortem* (116).

El complejo dentinopulpar es una de las estructuras dentales que se modifica con la edad (118,126). En los estudios se analiza el estrechamiento progresivo del volumen pulpar de todos los dientes creando una ecuación de regresión (127,128). Este estrechamiento es distinto según la posición y el grupo dentario, por lo que se considera un proceso biológico desigual (129). De toda la dentición humana, los caninos, tanto maxilares como mandibulares, son los dientes más utilizados para estimar la edad del sujeto. Son los dientes con un mayor tamaño del espacio pulpar, y permanecen más tiempo en la arcada a lo largo de la vida de un sujeto, al estar menos afectados a nivel periodontal (124,130,131). Algunos de estos estudios han analizado la correlación entre la edad, los distintos grupos dentarios y el volumen del diente y de la pulpa, concluyendo que los incisivos centrales maxilares son los que tienen mayor correlación (114,127,128).

Los métodos para evaluar la edad mediante el estudio de las modificaciones de las estructuras dentales se han validado por su precisión. Se basan en métodos de análisis de fenómenos regresivos de la dentición por el envejecimiento (116-120).

En aquellas situaciones donde por razones religiosas o culturales no se permite la extracción y la sección de los dientes, se han introducido técnicas conservadoras como imágenes en 2D y 3D, evitando los procedimientos destructivos. El estudio bidimensional se realiza mediante radiografía digital, y pueden utilizarse tanto la radiografía periapical (116,121,122) como la ortopantomografía (123-125).

Dentro de los métodos de estudio de la imagen tridimensional encontramos técnicas invasivas como el micro-CT (57,58) y no invasivas como TC o el CBCT (119,128,132).

## Acceso endodóntico

La identificación de los conductos radiculares de un diente se ve facilitada por un correcto acceso cameral. Este es el primer paso técnico en el tratamiento de conductos y es un proceso irreversible.

Los diseños de acceso camerales tradicionales tienden a estar estandarizados según el tipo de diente.

El acceso cameral de los incisivos ha sido descrito por diversos autores (38,133,134) :

- Acceso cíngulo-lingual: se inicia con la fresa perpendicular al eje longitudinal del diente, encima del cíngulo, en la superficie lingual del diente. El acceso se agranda hasta eliminar todo el techo de la cámara coronal cervicoincisal y mesiodistalmente.
- Acceso lingual convencional: se inicia con la fresa en el centro de la superficie lingual, encima del cíngulo y se extiende 2 mm hacia el borde incisal. Mesiodistalmente abarcará el techo de la cámara pulpar (Figura 6).
- Acceso lingual incisal en línea recta: se inicia justo antes del borde incisal, en la superficie lingual de la corona, con la fresa paralela al eje longitudinal del diente. A continuación, se extiende cervicalmente hasta el centro de la superficie lingual, incluyendo la mitad de la superficie bucolingual del borde incisal y el techo de la cámara pulpar.

Todos los accesos descritos tienen ventajas y desventajas. Plotino y Grande (135) concluyeron, tras estudiar 160 dientes extraídos y realizar tres accesos cavitarios distintos, que el riesgo de fractura se reducía en los dientes con acceso estrechos. Además, en el caso de realizar un acceso excesivamente estrecho, se aumentaba el riesgo de errores de instrumentación, el incorrecto desbridamiento del tejido pulpar y la

persistente contaminación bacteriana por la no localización de todos los conductos (136).

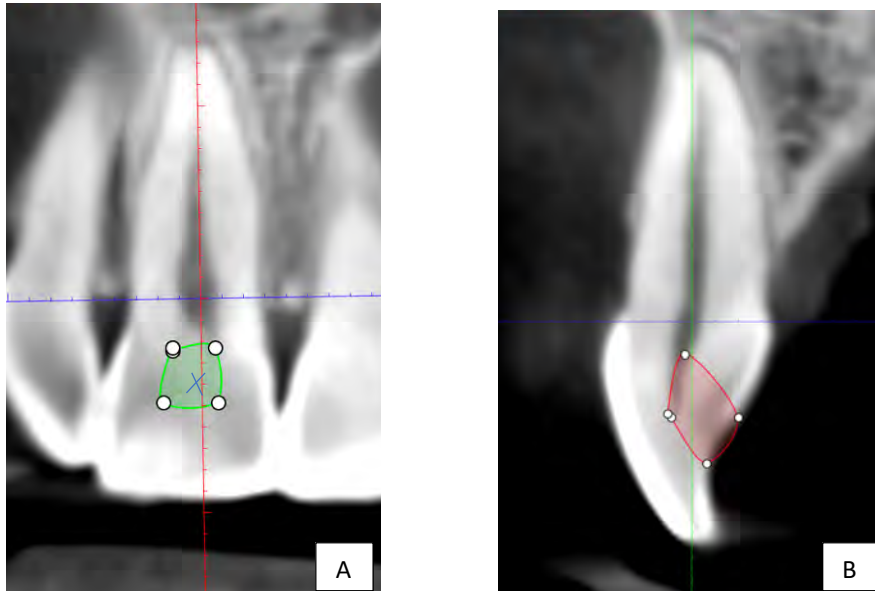


Figura 6: Diseño de acceso lingual convencional cavitario sobre la morfología de la pulpa cameral determinada mediante la exploración con CBCT en un incisivo central maxilar. A. Corte coronal: las líneas verdes indican la extensión mesio-distal que abarca todos los cuernos pulpares. La X azul representa el punto de acceso; B. Corte sagital: las líneas rojas indican la extensión vestibulo-palatino del acceso, incluyendo los cuernos pulpares. La línea verde es el eje del diente.

Recientemente se ha estudiado el impacto de este tipo de procedimiento de endodoncia mínimamente invasiva en relación con la calidad de la desinfección y conformación en los accesos cavitarios reducidos, siendo el recuento bacteriano del 86% en los accesos reducidos frente al 50% en los accesos convencionales. Concluyeron que la desinfección se veía significativamente comprometida tras la conformación del conducto a partir de un acceso endodónticos reducido (137).

Autores como Sarvaiya y cols. (134) y Mannan y cols. (133) nos informa de que, a nivel de desinfección e instrumentación, el acceso lingual en línea recta es el mejor, seguido del acceso lingual convencional y siendo el

acceso lingual al cíngulo el que demostró peores resultados. Respecto a la resistencia a la fractura del diente, se describió mayor resistencia en el acceso lingual convencional seguido de acceso lingual del cíngulo, y el de menor resistencia el acceso lingual incisal en línea recta, aunque mostró que, cuando se producía una fractura, su pronóstico era más favorable.

Como se ha descrito, para el acceso endodóntico predecible es fundamental tener conocimiento de las alteraciones morfológicas que presentan muchos de los dientes, y de los cambios en el espacio pulpar por los depósitos de dentina terciaria ante la respuesta a caries, restauraciones dentales y/o procedimientos periodontales. Para esos casos más complejos nos podemos ayudar de la integración de las nuevas tecnologías, como el escaneo en 3D mediante un CBCT, que nos ayuda a dar forma al acceso endodóntico basado en la morfología específica de la cámara pulpar del diente a tratar. Este acceso se podría diseñar a partir de la información que el CBCT nos aporta sobre la anatomía, las distancias y el volumen, consiguiendo tratamientos de conductos conservadores, predecibles y personalizados.

### **Endodoncia guiada**

Los clínicos nos encontramos ante un reto cuando el diente a tratar presenta una obliteración o calcificación pulpar. Tradicionalmente el acceso endodóntico se realiza con técnica de mano alzada, tomando como referencias la anatomía exterior del diente como la unión amelocementaria (UAC) o el perfil de la raíz. Esta técnica tiene un alto riesgo de provocar desviaciones en la trayectoria y producir una perforación durante la preparación de la cavidad de acceso a la pulpa dental. Al depender de las características propias del diente, los endodoncistas pueden encontrarse ante un gran desafío a la hora de tratar estos casos, por ello la Asociación Americana de Endodoncia los clasifica en nivel de dificultad alto (138).

La continua incorporación de tecnología en nuestra práctica diaria con las nuevas herramientas, tales como, el microscopio (139) y la visión en 3D mediante el CBCT (18,25,26,37), permiten realizar los tratamientos de los casos más complejos de una forma más predecibles (27).

Además, en estos últimos años y tras un recorrido importante en la rama de la implantología (140-145), puede encontrarse una nueva técnica capaz de facilitar el acceso endodóntico, la endodoncia guiada.

El objetivo de la endodoncia guiada es mejorar la planificación del tratamiento y simplificarlo técnicamente. Es un sistema asistido por ordenador que se basa en un conjunto de datos obtenidos a partir de un CBCT.

Actualmente existen dos tendencias: (a) la navegación estática, que emplea tecnología con guías previo escaneado 3D de los modelos del paciente y posterior uso de fresas de diámetros pequeños para el acceso guiado (140-152), y (b) la navegación dinámica o en tiempo real, que integra la tecnología de posicionamiento espacial 3D con CBCT y un sistema de seguimiento óptico de movimientos estereoscópicos controlado por un ordenador (153-156).

El odontólogo menos experimentado se puede beneficiar de estas técnicas en los casos clínicos más complejos (incluso de obliteración extrema), evitando así la desviación en la trayectoria de acceso endodóntico.

#### **a) Sistema de navegación estática (SNE)**

Fue descrito por primera vez por Krastl y cols. en 2016 (146). Esta técnica requiere de un CBCT del diente a tratar y un software de planificación quirúrgica con el que diseñar el acceso cavitario. Ambos deben estar alineados y ser compatibles. A continuación se fabricará la guía mediante un sistema de impresión digital en 3D.

Respecto al material para elaborar la guía diseñada por ordenador, podemos encontrar los basados en fotopolimerización y extrusión o los fresados con CAD-CAM (151).

### Ventajas:

- Resultados satisfactorios, altamente predecibles y con un menor riesgo de iatrogenia
- Reducción del tiempo clínico
- Adecuada desinfección del conducto radicular
- Conservador con el tejido dental consiguiendo un acceso mínimamente invasivo
- Fácil localización de los conductos, independientemente de la experiencia del operador

### Inconvenientes:

- Necesidad de programar una cita donde tomar impresiones y escanear los tejidos en 3D mediante un CBCT
- Alto coste de la impresión 3D que se incrementa según el material y el sistema empleado
- Aparición de errores de precisión dimensional por las variaciones en la configuración del CBCT y la contracción y deformación de la férula (157,158)
- Acceso por el borde incisal afectando a la estética (146,159,160)
- Calentamiento excesivo de la guía de perforación y dificultad de la irrigación debajo de ella (151,161)
- No posibilidad de usarse con aperturas bucales limitadas (145,162,163)

Tras la revisión de la literatura se observa que los estudios realizados son limitados y de baja evidencia científica, al ser en su mayoría informes de casos (146,147,149,164,165), estudios *in vitro* (166), estudios observacionales (161) o *ex vivo* (167,168). Se requiere de estudios en poblaciones de mayor tamaño con un seguimiento a largo plazo, así como estudios experimentales de tamaño muestral similar y metodología más estandarizada.

## **b) Sistema de navegación dinámica (SND)**

La navegación dinámica o en tiempo real, integra la tecnología de posicionamiento espacial 3D con CBCT y un sistema de seguimiento óptico de movimientos estereotipados controlados por un ordenador (153,155,156).

Estos sistemas informáticos, que crean simulaciones virtuales interactivas en 3D de los dientes y el entorno, se llaman simuladores hápticos, y permiten una retroalimentación en tiempo real (169).

Los sistemas de navegación dinámica nos guían en los procedimientos clínicos rutinarios y de mayor dificultad anatómica (170,171), lo que no excluye que el odontólogo tenga conocimientos anatómicos, sepa interpretar la radiografía y el CBCT, sea meticuloso y organizado, tenga buena coordinación mano-ojo, disponga de altas competencias manuales, y esté familiarizado con sensaciones táctiles, visuales y acústicas durante todo el procedimiento.

Actualmente estos simuladores se están empleando en las universidades para ver su idoneidad en el ámbito de la enseñanza, como herramienta útil en los procedimientos de acceso cavitario, osteotomía o resección apical en cirugía, permitiendo adquirir habilidades psicomotoras y competencias en un entorno clínico simulado (170,172-174).

Hay multitud de simuladores en odontología, a nivel de aplicación en endodoncia se han estudiado dos: VirTEaSy Dental (HRV, Laval cedex, France) y Simodont® Dental Trainer. Estos simuladores se utilizan en la remoción de caries, la preparación del acceso cameral y la planificación de la inserción de un implante.

Li y cols. (173) describen las ventajas y inconvenientes de esta técnica:

### Ventajas:

- Mayor rapidez en la planificación del acceso endodóntico



- Tratamientos en una única cita
- Capacidad de modificación a tiempo real de la trayectoria de acceso
- Disminución del calentamiento por la irrigación directa

Inconvenientes:

- Mayor exposición a la radiación ante la necesidad de realizar un CBCT
- Necesidad de realizar un CBCT de campo grande para posicionar correctamente el clip
- Inestabilidad y movimiento del sensor que afecta a la precisión
- Mango de gran tamaño
- Engorrosa configuración del software
- Elevado coste
- Dificultad a la hora de simultanear la visión de la pantalla y seguir la guía virtual
- Larga curva de aprendizaje

Aunque la navegación dinámica es muy prometedora, hasta la fecha no existe evidencia científica sobre su precisión y eficacia en la localización de conductos radiculares calcificados en dientes humanos *in vivo*.

Los estudios actuales se realizan *ex vivo* con modelos de dientes naturales (155) o réplicas de dientes humanos (153,154).

Solo se ha publicado un caso *in vivo* en un molar maxilar en el que no fue posible la localización de todos los conductos de forma convencional y en el que, debido a la imposibilidad de extraer el diente por los problemas médicos del paciente, se optó por el empleo del SND (175).

## **2.5. Diente de estudio: Incisivo Central Maxilar**

La presente investigación se va a centrar en el incisivo central maxilar (ICM).

Existen cuatro incisivos maxilares: dos centrales y dos laterales (176).

Los dientes anteriores maxilares presentan una posición labial respecto a los incisivos anteriores mandibulares. Viéndolos desde el plano labial, los incisivos inferiores quedan ocultos entre 3 y 5 mm por los maxilares (177).

Desde el punto de vista anatómico, cualquier elemento dentario consta de una corona (C) y de una raíz (R). La unión entre ambos es el cuello dentario. Se denomina corona clínica a la porción libre del elemento dentario que se encuentra en la boca. Tiene cuatro superficies (vestibular, palatino, mesial y distal) y un borde de corte. Su tamaño es variable siendo su longitud media 23.6 mm (16.5-32.6) (176).

La morfología vestibular del incisivo central maxilar se describe a continuación (Figura 7 y 8):

**Corona:**

Tiene una forma rectangular, siendo más larga en sentido incisivogingival que mesiodistal. Son los incisivos con las coronas más anchas. A nivel coronal el promedio de la corona incisivogingival es de 11.2 mm (8.6-14.7) y la anchura de 8.6 mm (7.1-10.5) (176). Son más convexas en el lado distal que en mesial. La zona de contacto mesial se encuentra en el tercio incisal o cerca de la unión entre los tercios incisales y medio, siendo distalmente más cervicales que mesiales.

Desde lingual se observa que los bordes marginales son pronunciados, y que la fosa lingual es profunda con un gran cóngulo que se desplaza hacia distal.

Desde incisal se aprecia como la fosa lingual está justo incisal al cóngulo. Presenta un reborde incisal que termina mesiodistalmente en la porción más ancha de la corona (178).

### **Raíz:**

La raíz es la porción de diente insertada en el hueso alveolar y se fija a este mediante un ligamento periodontal, siendo la longitud media 13.0 mm (6.3-20.3) y la anchura radicular media 6.4 mm (5.0-8.0) (Figura 7 y 8).

Desde vestibular la raíz se estrecha de la línea cervical hacia el ápice.

Desde proximal las raíces son más anchas cervicalmente y se estrechan hacia el ápice con forma redondeada. Tienen una depresión longitudinal en el tercio medio de la superficie radicular mesial.

En la vista axial se aprecia como la UAC presenta una forma triangular con el lado mesial más largo que el lado distal. La superficie mesial puede estar aplanada o con una ligera depresión longitudinal y la superficie de la raíz distal es convexa (Figura 9) (176,178).

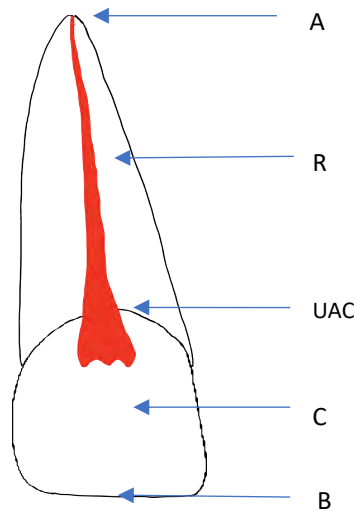


Figura 7: Vista coronal de un incisivo central maxilar. A: ápice de la raíz; R: raíz; UAC: unión amelo cementaria; C: corona; B: borde incisal.

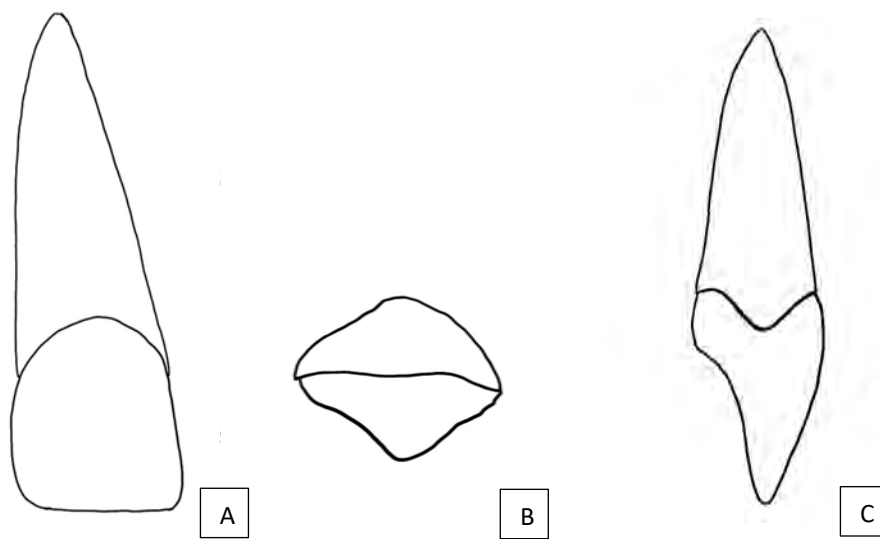


Figura 8: Incisivo central maxilar derecho. A: Vista en el plano coronal; B: Vista en el plano axial; C: Plano sagital.

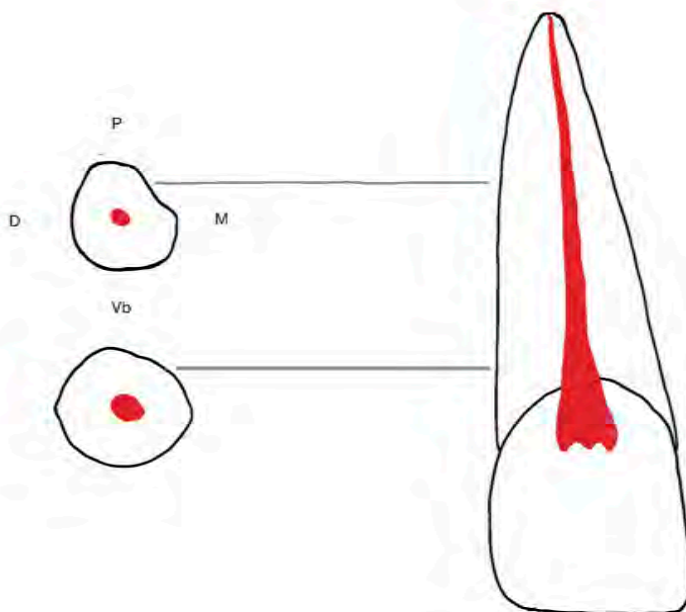


Figura 9: A la derecha de la imagen vista coronal de un ICM. A la izquierda, corte axial en UAC y en tercio apical.

## **Relevancia del ICM en la boca**

Los dientes anteriores tienen un papel muy importante en la boca. Entre sus funciones encontramos: cortar los alimentos, favorecer la pronunciación correcta de palabras y el habla, dar soporte labial, ayudar a guiar la mandíbula en los diversos movimientos durante la fase de la oclusión, y mantener una buena estética facial (176,177).

Ante la planificación de un tratamiento rehabilitador o estético se debe de considerar la apariencia y el color de los incisivos maxilares (179-181). Estos dientes son visibles durante el habla, la masticación, la gesticulación y la sonrisa. En concreto, los ICM son los dientes anteriores dominantes por su forma, tamaño, color y posición, y todo ello, se suma para crear una naturaleza coherente y equilibrada (182).

Los pacientes cada vez más buscan que se le resuelvan sus inquietudes a nivel estético, y se preocupan por su apariencia dental. Para ello se debe conservar y restaurar las dimensiones correctas, consiguiendo devolver la naturalidad a los dientes (183).

El sistema masticatorio se encarga de la función de la fonación. Esta se produce al forzar el paso de un determinado volumen de aire de los pulmones a través de la laringe y la cavidad oral, gracias a la acción del diafragma. En ese momento las cuerdas vocales crean un sonido con el tono deseado al contraerse y relajarse según donde se posicionan los labios con la lengua, el paladar o los dientes, produciéndose distintos sonidos (184).

Por ejemplo, si la punta de la lengua se eleva hasta tocar el paladar detrás de los incisivos superiores se crea el sonido "D". Si se aproximan los bordes de los incisivos maxilares y mandibulares sin llegar a tocarse, al pasar el aire entre ellos, se crea el sonido "S", así como, el sonido "th" cuando la lengua toca los incisivos maxilares, o si el labio inferior toca el borde de los incisivos maxilares forman los sonidos "F" y "V" (177). Por ello, es de suma importancia mantener los ICM en boca.

## 2.6 Factores que afectan a la anatomía de los ICM

Existen diversos factores que afectan a los dientes anteriores desde su erupción en la cavidad oral, pudiendo provocar en mayor o menor medida que la pulpa se aleje o retire progresivamente en sentido cervical, cerrando la luz del conducto pulpar (185).

A lo largo de la vida, la formación de dentina secundaria en la pared palatina de los dientes maxilares puede provocar la obliteración total de la pulpa (186,187). Las calcificaciones pulpares pueden ser difusas o concéntricas y pueden estar presente en cualquier parte del tejido pulpar (Figura 10). Muchos autores diferencian el proceso de estrechamiento o calcificación pulpar en dos. Por un lado, la que afecta a la cámara pulpar (pulpolito), y por otro, la que afecta al espacio pulpar radicular. Ambos dificultan la viabilidad de realizar de forma exitosa el tratamiento de conductos. En el primer caso, la obliteración de la cámara impide la preparación del acceso cavitario y la localización de los conductos. En segundo caso, la obliteración del espacio pulpar radicular complica la preparación y conformación de los conductos radiculares hasta la constricción apical.

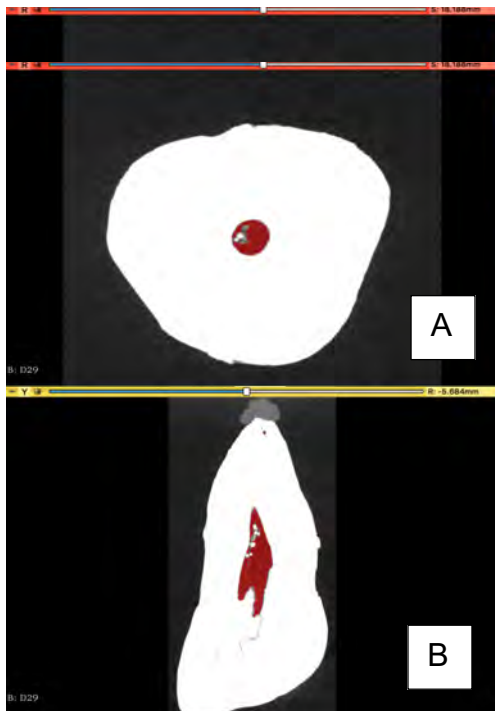


Figura 10: Corte de micro-CT de un ICM donde se observa en rojo el tejido pulpar y en blanco los cálculos. A: Corte axial; B: Corte coronal.

La etiología no se conoce exactamente, pero muchos son los factores con los que se relaciona. Entre los factores predisponentes se encuentra el envejecimiento, la degeneración pulpar, la predisposición genética, o los irritantes crónicos como la caries, las obturaciones profundas, los procedimientos operatorios, las abrasiones, los movimientos ortodóncicos, la enfermedad periodontal, el trauma oclusal, la arterioesclerosis, el desequilibrio metabólico, la osteítis deformante, la acromegalia, el síndrome de Marfan, la excesiva suplementación con flúor, y las enfermedades cardiovasculares, o de la glándula renal, biliar y la salival (188,189).

La prevalencia es de amplio rango al depender de la población y del método de estudio, y oscila desde un 8% a un 94% (189,190). Es más frecuente en las mujeres que en los hombres, y respecto a la distribución, se presenta con mayor frecuencia en el maxilar superior (191,192).

Si comparamos los estudios histológicos con los radiográficos, su prevalencia es mayor en los histológicos. Esto se debe a que las calcificaciones menores a 200  $\mu\text{m}$  no se visualizan en las radiografías hasta ahora empleadas en los estudios, que son las periapicales y las aletas de mordida, a diferencia de los nuevos estudios con herramientas más avanzadas como el CBCT (188,193,194) o micro-CT (Figura 10).

A continuación, se exponen las distintas situaciones que pueden alterar la anatomía dental.

### **Traumatismo en incisivos temporales**

La dentición temporal inicia su formación aproximadamente en la semana 14 de vida intrauterina, y se completa después del nacimiento alrededor de los 3 años.

A partir de los 6 años comienza el periodo de dentición mixta en el que concurren dientes temporales con dientes de reemplazo. Esta fase

finalizará cuando se exfolien todos los dientes temporales, que suele ser a los 12 años (178).

Es prioritario cuidar los dientes temporales, ya que van a mantener el espacio que ocuparán los dientes permanentes. Además, permiten la alimentación y masticación correcta, brindan apoyo para las mejillas y labios, y mantienen la apariencia facial y la sonrisa, lo que influye en una fonética correcta.

Un traumatismo en los incisivos centrales temporales puede conllevar a su pérdida prematura, lo que a su vez puede producir un trastorno en la alineación y oclusión. Por otro lado, si el trauma produce una luxación del incisivo, existe el riesgo de una futura afectación pulpar, pudiendo ocasionar un defecto en la estructura dental del diente permanente que está en desarrollo (176). Podrían aparecer anomalías morfológicas (como forma conoide o surcos de desarrollo...); defectos cuantitativos del espesor del esmalte como es la hipoplasia del esmalte, que puede oscilar desde fosetas únicas o múltiples hasta completa ausencia del esmalte; o afectación de la calcificación apareciendo opacidades (178).

### **Traumatismo en los Incisivos permanentes**

El periodo de dentición mixta finalizará alrededor de los 12 años, y la dentición permanente se completará durante los últimos años de adolescencia al erupcionar los terceros molares.

Cronológicamente los incisivos centrales maxilares erupcionan alrededor de los 7-8 años. Son los segundos dientes en erupcionar tras los incisivos centrales y primeros molares mandibulares.

La mayoría de los traumatismos dentales ocurren en el grupo de edad comprendido entre los 7 y los 12 años (195,196). Los datos epidemiológicos sistemáticos indican que el traumatismo facial es un hecho frecuente, produciendo lesiones a nivel de los maxilares y los dientes en un 57.8 % de los accidentes domésticos y relacionados con los juegos, un 50.5 % de los accidentes deportivos, un 38.6% de los accidentes laborales, un 35.8% de



los actos violentos, un 34.2% de los accidentes de tráfico y un 31% de casos no específicos (197).

Los traumatismos suelen darse en el maxilar superior (198), siendo el diente más afectado el ICM con un rango entre 68% (199) y 87.5% (196), y la lesión más frecuente con un 30-44% de incidencia, es la luxación (200).

Según su gravedad y secuelas los tipos de lesiones por luxación son cinco (66):

- Concusión: El diente no se desplaza, presenta una movilidad normal y el paciente refiere sensibilidad a la percusión.
- Subluxación: ausencia de desplazamiento del diente, aumento de la movilidad y presencia de sensibilidad a la percusión.
- Luxación lateral: implica desplazamiento del diente en sentido lateral, lingual, distal o incisal.
- Luxación extrusiva: supone un desplazamiento del diente en sentido coronal.
- Luxación intrusiva: implica el desplazamiento del diente en sentido apical hacia el interior del alvéolo.

La luxación con frecuencia puede conllevar una metamorfosis calcificante, una anomalía que puede llevar en meses o años a la obliteración radiográfica parcial o completa de la cámara pulpar (201-203). Esta secuela es frecuente en las luxaciones extrusivas y laterales, y suele aparecer en los dientes que son ferulizados de forma rígida tras el traumatismo (203). Clínicamente, la corona dental puede presentar una discoloración en tono amarillento y la disminución de la respuesta de la pulpa a estímulos térmicos (201,202,204). Este concepto también se denomina obliteración del conducto pulpar (OCP) (205) (Figura 11).

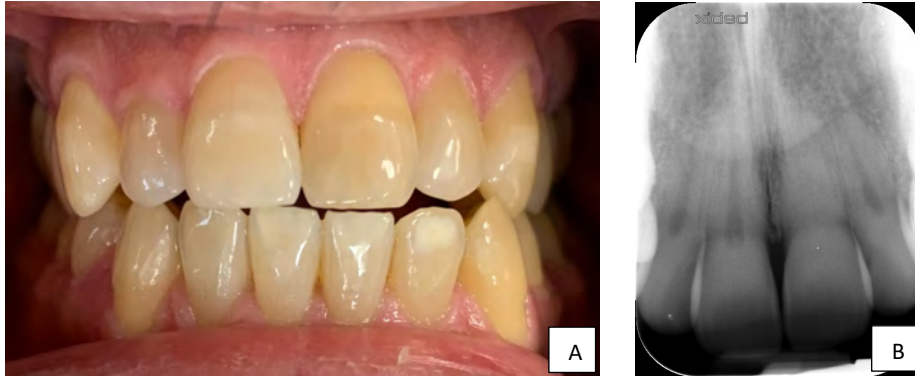


Figura 11: Paciente varón de 35 años asintomático que refiere haber sufrido un traumatismo a los 9 años en el sector anterior. A: Fotografía donde se aprecia discoloración del 2.1 de aspecto amarillo propio del engrosamiento de la dentina en la cámara pulpar; B: Radiografía periapical donde se aprecia la obliteración completa del conducto radicular.

El traumatismo comporta una alteración de los vasos sanguíneos que penetran en el diente por el foramen apical, produciéndose un infarto pulpar. En estos dientes a través del orificio periapical, el tejido del ligamento prolifera aportando células osteoprogenitoras que son capaces de diferenciarse en cementoblastos, osteoblastos y que procederán a sustituir el tejido infartado pulpar, formando un coágulo sanguíneo en la pulpa, que actuará como foco, para la posterior calcificación si la pulpa conserva la vitalidad (206).

Ante estas lesiones, como no se conoce el mecanismo exacto del porqué se oblitera el conducto pulpar, también se ha propuesto la hipótesis de que se deba a la alteración del flujo sanguíneo. Esta alteración produciría un descontrol que llevaría al aumento de la formación de dentina secundaria reparativa por parte de los odontoblastos, y por consiguiente la obliteración rápida de la cavidad pulpar (205,206).

La OCP suele diagnosticarse durante el año posterior al traumatismo, de ahí la importancia del control radiográfico y seguimiento de los dientes traumatizados. En el caso de aparecer sintomatología se debería realizar el tratamiento de conductos (Figura 12).

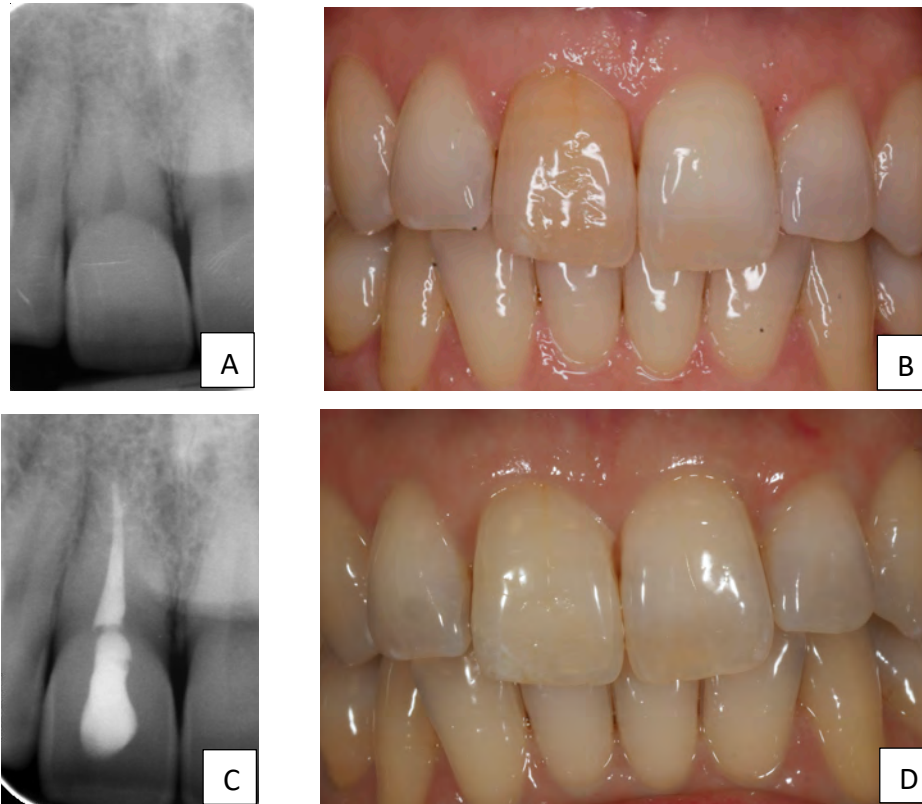


Figura 12: Paciente mujer de 42 años que inicia sintomatología a los 10 años de haber sufrido un traumatismo en el sector anterior. A la exploración observa percusión positiva y prueba de vitalidad pulpar negativa en el 1.1. A: Radiografía donde se aprecia retracción de la cámara pulpar por debajo de UAC y leve lesión apical; B: Fotografía donde se aprecia la discoloración amarillenta en el 1.1; C: Radiografía final del tratamiento de conductos en el 1.1; D: Fotografía tras blanqueamiento interno del 1.1.

### **Cambios fisiológicos**

La aposición de dentina en las paredes de la cavidad pulpar es un cambio fisiológico que ocurre a lo largo de la vida de los dientes, y que al final puede provocar una obliteración casi completa del espacio pulpar (194,205,207,208).

Es frecuente encontrar en dientes maduros de personas mayores calcificaciones del espacio pulpar en dientes clínicamente sanos. Si se iniciara una patología en este tipo de dientes, sería necesario realizar el

tratamiento de conductos, siendo estas situaciones clínicas complejas (185,209-212).

Tratar endodónticamente estos dientes es un reto. En ocasiones la permeabilidad del conducto no es posible o el tratamiento fracasa por la perforación de la raíz (213,214).

El envejecimiento y la longevidad de la población, en consecuencia, el aumento del número de pacientes mayores que necesitan tratamientos de conductos, es una realidad clínica (185,215). Para los pacientes mayores es de gran importancia mantener los dientes del sector anterior. Los motivos son diversos tales como, la retención de prótesis removibles o la preservación del hueso alveolar y la estética. Desde la perspectiva de la técnica, en estos pacientes nos encontramos con una gran reducción del espacio pulpar que dificultará la permeabilización del conducto y la eliminación de la infección (185,207,216).

Con la edad también se ve reducido tanto el número como el tamaño de los orificios accesorios y apicales del sistema de conductos, así como la permeabilidad de los túbulos dentinarios. Dependiendo el diente, el depósito de material mineral de la dentina varía de 2 a 3 mm (217,218). Se considera "esclerótica", y aparecerán cambios en las propiedades mecánicas del diente, viéndose aumentada su fragilidad. El clínico debe comprender el comportamiento estructural de los dientes envejecidos y estudiar el abordaje de estos casos previamente a su tratamiento (185,219). En la Figura 13 podemos apreciar el cambio evidente del tamaño de la pulpa en un ICM de un diente más joven y uno de mayor edad.



Figura 13: A: Corte sagital de un ICM perteneciente a una persona joven donde se observa el cuerno pulpar en el tercio medio coronal. Se aprecia una amplia cámara pulpar; B: Corte sagital de un ICM perteneciente a una persona mayor, donde se aprecia una cámara pulpar parcialmente obliterada y el estrechamiento del conducto radicular.

### **Bruxismo**

Tassoker y cols. en 2018 estudiarón la relación entre el bruxismo y las calcificaciones pulpares en mujeres jóvenes entre 20 y 31 años de edad. A partir de 2800 dientes de pacientes con y sin bruxismo evaluados en radiografía panorámica, concluyeron que no existía una relación estadísticamente significativa entre el bruxismo y las calcificaciones pulpares (220).

No se ha encontrado más bibliografía al respecto.

## **Caries**

La caries es una infección localizada, destructiva y progresiva, que penetra en el diente, pudiendo llegar a ser tan extensa que conlleve la pérdida del diente. Frente a este fenómeno, la dentina reacciona disminuyendo la permeabilidad dentinaria y creando dentina para proteger a la pulpa (190,221). Si la progresión es lenta, la dentina terciaria que se forma es muy similar a la dentina tubular normal y, si por el contrario, el progreso es rápido, esto lleva a la producción de dentina atubular (222).

La preparación de cavidades, la limpieza y sellado de caries y la presencia de restauraciones coronales o radiculares, también conducen a la formación de dentina terciaria (190,192).

Nogueira y cols. estudiaron las correlaciones entre la presencia de restauraciones y el hallazgo de calcificaciones mediante el CBCT y concluyeron que la presencia de restauraciones aumenta en 2.1 veces la posibilidad de aparición de calcificaciones en los dientes. La frecuencia en el maxilar superior fue 4.7 veces mayor que en el inferior (188).

## **Cirugía ortognática**

En la cirugía ortognática la osteotomía del maxilar o de la mandíbula puede causar el cese de la irrigación sanguínea de los dientes situados en la proximidad de las placas, con la consiguiente inflamación o necrosis de estos (223).

En estos casos, en un periodo de 1 año podría desarrollarse una rápida OCP. En el estudio de Vedtofte sobre 617 dientes, se describió una prevalencia de presentar calcificaciones de 2.3%, siendo los incisivos los menos afectados. Los autores recomiendan realizar seguimientos a largo plazo de todos los dientes tras una cirugía ortognática (224).

## **Ortodoncia**

Durante el tratamiento ortodóncico las fuerzas que se ejercen tanto lateralmente como intrusivas conllevarán a un aumento el flujo sanguíneo en la pulpa (225-227). El clínico debe tener en cuenta en la planificación ortodoncica, el riesgo que estas fuerzas pueden provocar en movimientos intrusivos de dientes previamente traumatizados y con obliteración total de la pulpa (228).

Las fuerzas leves o moderadas, controladas y de corta duración producen cambios inflamatorios y metabólicos leves. No ocasionan alteración de la pulpa, y sus efectos son transitorios. Por otro lado, las fuerzas intensas conllevarán a la interrupción de la circulación pulpar, provocando necrosis de la pulpa (229).

Estudios recientes que evalúan la influencia de las fuerzas ortodóncicas en la pulpa dental humana no obtienen conclusiones significativas. Sin embargo, coinciden en que ejercer un movimiento en un diente que ha sufrido un traumatismo, puede conllevar una alteración de la vitalidad pulpar durante el tratamiento de ortodoncia (228,230,231).

Muchos candidatos a ortodoncia son pacientes en edades tempranas con una alta prevalencia de sufrir un traumatismo en los incisivos permanentes, siendo el diente más afectado el ICM (79,6%) (196,232). Estos dientes muestran, tras los tratamientos de ortodoncia, una mayor obliteración pulpar, por lo que es necesario prestarles mayor atención durante todo el proceso, realizando radiografías y pruebas de vitalidad, para controlar el riesgo de una necrosis de estos dientes con pulpas obliteradas (228,233). Además, los pacientes que presentan mayor resalte de los incisivos maxilares, en combinación con inadecuada cobertura labial, revelaron una mayor prevalencia de traumatismo dental. Esto hace destacar la importancia de realizar tratamiento ortodóncico para disminuir el resalte, aumentar la protección labial de la zona para prevenir y disminuir la

probabilidad de lesión de los incisivos permanente ante un traumatismo (232,234-238).



## **JUSTIFICACIÓN**



### **3. JUSTIFICACIÓN**

Como ya hemos descrito, el conocimiento de la compleja morfología interna del sistema de conductos radicular es fundamental para conseguir un tratamiento de conductos exitoso.

Actualmente, el clínico puede ayudarse de la tomografía computarizada de haz cónico para conocer la anatomía del diente con anterioridad a su tratamiento. Esta técnica radiológica no invasiva y de alta sensibilidad y precisión, necesita poca radiación, por lo que su uso cada vez está más extendido en el campo de la odontología.

El CBCT es especialmente útil en los dientes con calcificaciones de la cámara pulpar o estrechamiento de los conductos. Estas obliteraciones pulpares parciales o completas pueden estar causadas por el propio proceso fisiológico de envejecimiento del diente, por traumatismos previos en la infancia, o por hábitos parafuncionales como el bruxismo, y cobran especial importancia en el caso de los incisivos centrales maxilares por su papel relevante a nivel funcional y estético. La prevalencia de traumatismos en estos dientes es muy elevada y las dificultades encontradas en el acceso endodóntico por las secuelas de estos traumas, llegan a ser un verdadero desafío para el clínico.

En los casos que se anticipen como un reto, la planificación tridimensional del tratamiento de conductos se hace fundamental, y el poder disponer de un sistema que nos facilite realizar el tratamiento de una forma predecible, resulta altamente deseable.

En la actualidad, con este fin, se están desarrollando sistemas de navegación para realizar endodoncias de forma guiada. El objetivo de esta técnica es evita realizar la apertura cameral a mano alzada y disminuir las

probabilidades de producir una perforación durante la preparación del acceso. La endodoncia guiada es un sistema asistido por ordenador a partir de un CBCT, que consigue simplificar el tratamiento técnicamente.

El sistema más avanzado de endodoncia guiada es el sistema de navegación dinámico, pero hasta la fecha, no existe evidencia científica sobre su precisión y eficacia en la localización de conductos calcificados en dientes humanos *in vivo*. En la literatura solo se encuentran publicados casos clínicos.

Para que este sistema avance clínicamente, se necesita de un mayor conocimiento de la anatomía dental y del conducto radicular. La mayoría de los estudios publicados en la actualidad sólo realizan mediciones anatómicas en grupos dentarios concretos, especialmente del sector posterior, existiendo una falta de información sobre el resto de dientes. En concreto, de la población española, solo se ha estudiado la morfología de los conductos y el análisis de la raíz de los premolares. No hay ningún artículo que estudie el sector anterior que, como hemos dicho, es el que con mayor frecuencia se ve afectado por los traumatismos.

El empleo de la información obtenida del CBCT podría proporcionar una guía cuantitativa para realizar un adecuado acceso cameral. El estudio mediante CBCT de longitudes, ángulos y volúmenes, junto a parámetros relevantes en el proceso de la apertura cameral como el lugar sobre el esmalte y ángulo del instrumento a la hora de acceder conducto, y la profundidad a la que introducirlo hasta llegar a la pulpa dental, podrían ser de utilidad en el desarrollo de los incipientes sistemas de navegación dinámicos.

Sería muy interesante poder trasladar estos datos obtenidos a partir de un CBCT a un modelo matemático con el que desarrollar un software, que a su vez pudiera facilitar todas las fases del tratamiento del complejo

sistemas de conductos radicular. Podría ayudar al odontólogo a ser más conservador en las aperturas camerales, en la localización de los conductos con disposiciones menos frecuentes y anticiparse a los posibles accidentes durante el acceso a los conductos, tales como las perforaciones de furca y desviaciones en la ruta.



## **OBJETIVOS**





## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 Objetivos generales**

- 4.1.1 Estudiar la anatomía dental de los incisivos centrales maxilares mediante el uso de la tomografía computarizada de haz cónico en una población española.
- 4.1.2 Validar la herramienta de medición del volumen pulpar con la tomografía computadorizada de haz cónico.
- 4.1.3 Construir un modelo predictivo que ayude al acceso cameral en un tratamiento de conductos, proporcionando un punto donde de inicie el acceso, una angulación del instrumento y un rango máximo de profundidad.

### **4.2 Objetivos específicos**

- 4.2.1 Obtener mediciones de la anatomía externa de incisivos centrales maxilares.
- 4.2.2 Obtener mediciones de la anatomía interna de incisivos centrales maxilares.
- 4.2.3 Evaluar las diferencias anatómicas según la edad y el sexo del paciente, la presencia de bruxismo y la historia de tratamiento ortodóncico.
- 4.2.4 Validar la precisión del CBCT en la medición del volumen del espacio pulpar *ex vivo* con el CBCT Promax® 3D Max y el micro-CT.
- 4.2.5 A partir de los parámetros que influyen en el acceso cameral, construir y validar un modelo predictivo para un futuro tratamiento endodóncico guiado.



## **MATERIAL Y MÉTODOS**



## 5. MATERIAL Y MÉTODOS

La metodología de la tesis se va a dividir en tres apartados. En primer lugar, se describirá la metodología del estudio anatómico del incisivo central maxilar a partir de CBCT de pacientes. A continuación, se explicará el método utilizado para validar el CBCT como herramienta para medir el volumen pulpar en dientes extraídos, comparándola con mediciones realizadas con micro-CT. Y en último lugar, empleando los CBCT de los pacientes del estudio anatómico, se explicará la construcción del modelo predictivo de acceso endodóntico que posteriormente se validará con una muestra de 18 nuevos CBCT de pacientes.

### 5.1 Tipo de estudio y tamaño muestral

Se realizó un estudio observacional, transversal y descriptivo de la anatomía de incisivos centrales maxilares mediante el uso de la tomografía computarizada de haz cónico en una población española.

Para realizar el estudio anatómico de los incisivos centrales maxilares, los CBCT se obtuvieron de registros ya realizados a pacientes de la Clínica Odontológica de la Universidad CEU Cardenal Herrera. Se obtuvo el tamaño muestral de 135 ICM, a través de la siguiente fórmula.

$$MOE=0.98 \cdot \sqrt{\frac{N-n}{N \cdot n-n}}$$

Donde N= 5644 pacientes en el año 2016 (año anterior al estudio), MOE=0.001 el margen de error, y 0.98 valor relativo a un nivel de confianza del 95%.

Notar que, la potencia del experimento calculada a priori es del 95.8% tomando como tamaño del efecto 0.5 (Figura 14).

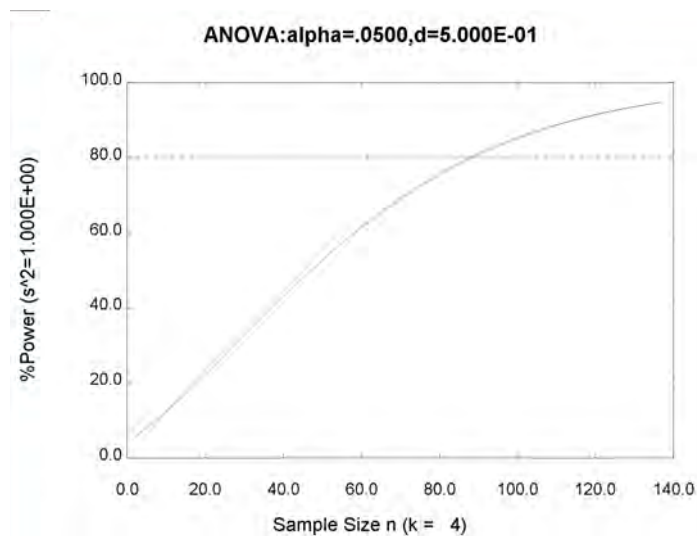


Figura 14: Poder de predicción. Porcentaje de potencia, probabilidad de que la hipótesis nula sea rechazada, si la hipótesis alternativa es verdadera 99%.

## 5.2 Ética del estudio

El estudio fue aprobado por el Comité de Ética para la investigación Biomédica de la Universidad CEU Cardenal Herrera en el día 20 de octubre de 2017 con código del Informe CE117/145 (Anexo 1).

## 5.3 Metodología del estudio de las mediciones anatómicas

### 5.3.1 Criterios de selección

#### Sujetos

Las imágenes de CBCT de la muestra fueron recopiladas de las historias de pacientes que acudieron a la Clínica Odontológica de la Universidad CEU Cardenal Herrera entre noviembre del 2017 y diciembre del 2019. Se revisaron 3.120 historias, siendo descartadas por la no realización de CBCT un total de 2.775. La muestra final fue de 345 historias. La búsqueda finalizó al alcanzar el tamaño muestral requerido. Solo se seleccionaron las que cumplían los siguientes criterios de inclusión y exclusión.

### **Criterios de inclusión:**

- Pacientes mayores de 14 años
- Mujeres y hombres
- CBCT con tamaño de voxel de 100  $\mu\text{m}$  y campo de  $\text{Ø}5.0 \times 5.0 \text{ cm}$
- CBCT sin alteraciones en la imagen
- ICM con un único conducto en toda su extensión (Clasificación de Vertucci Tipo I)

De entre los CBCT obtenidos se **excluyeron** los ICM con:

- Caries
- Alteraciones morfológicas
- Alteraciones pulpares
- Desarrollo apical inmaduro
- Tratamiento o retratamientos de conductos
- Presencia de reabsorciones radiculares y coronales
- Coronas, postes intrarradiculares, reconstrucciones con resina compuesta y amalgama de plata
- Cirugía periapical previa
- Fractura coronal o radicular
- Ausencia dental
- Implante dental

Tras aplicar los criterios de exclusión e inclusión de nuestro estudio se descartaron 174 CBCT que no presentaron los parámetros requeridos.

Una vez examinado ambos incisivos centrales maxilares, se descartaron 39 incisivos. Los motivos fueron tratamientos previos, alteraciones morfológicas o la completa obliteración pulpar. La muestra final obtenida para el estudio fue de 135 incisivos centrales maxilares derechos (1.1) e izquierdos (2.1). Ver diagrama de flujo (Figura 15).

## **Evaluación radiológica**

Todos los CBCT fueron realizados con el mismo escáner Planmeca ProMax 3D Max® (Planmeca Promax, Helsinki, Finlandia) siguiendo las instrucciones del fabricante bajo los siguientes parámetros:

- 8mA- 84kV
- Tiempo de exposición: 10-12 seg
- Tamaño de vóxel: 0.075 mm (adulto-niño) 100 µm
- Tamaño del campo: Ø5.0x5.0 cm

Como esta prueba es complementaria, todo paciente firmó de forma previa el consentimiento informado aceptando la realización de dicho estudio radiológico. El protocolo de la Universidad CEU Cardenal Herrera sigue el principio de ALARA que tiene en cuenta los efectos potenciales de la radiación ionizante en toda la población adulta y especialmente en niños y adolescentes (23,28,239).



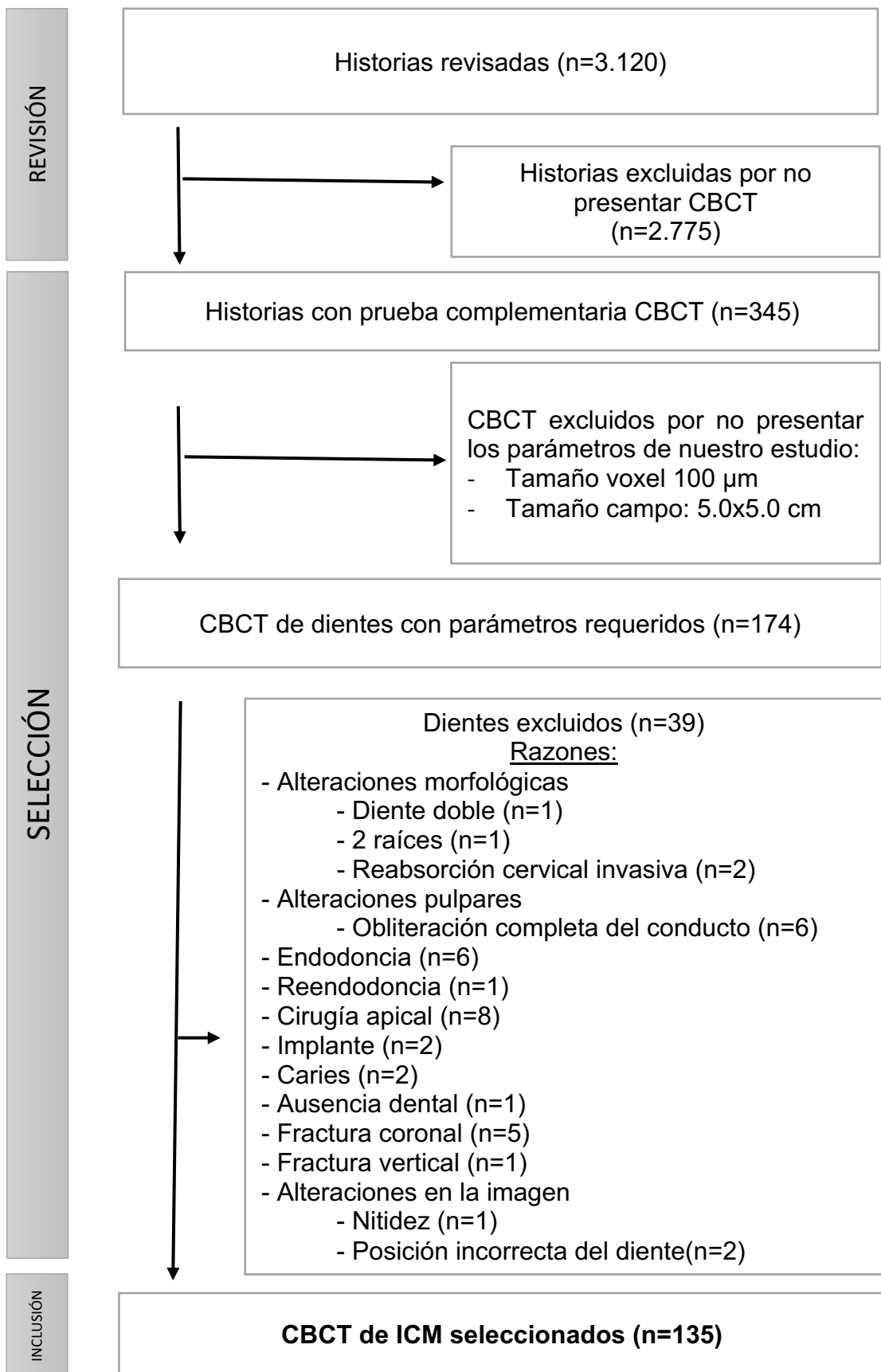


Figura 15: Diagrama de flujo para la selección de los CBCT de la muestra final.

### 5.3.2 Parámetros de estudio

De las historias clínicas se recogieron datos demográficos como el sexo, la edad, si llevaron ortodoncia y si presentaban en el momento bruxismo (Tabla 1).

Acrónimo	Definición	Naturaleza	Código
<i>BRUX</i>	Si padece bruxismo	CL	S/N
<i>ORTO</i>	Si recibió tratamiento ortodóncico	CL	S/N
<i>SEXO</i>	Sexo del individuo	CL	H/M
<i>EDAD</i>	Edad	CT	Nu

Tabla 1: Acrónimo empleados, definición de las variables, naturaleza de las mismas y código de los datos. CT: variable cuantitativa; CL: variable cualitativa; S: si; N: no; H: hombre; M: mujer; Nu: número.

También se registró el motivo del estudio radiográfico. Posteriormente, a partir del los CBCT, se midieron diferentes parámetros de los ICM en los tres planos del espacio (sagital, coronal y axial). Los datos de cada paciente se registraron en una hoja de Excel.

De las imágenes seleccionadas de cada ICM se registraron las siguientes mediciones:

- Longitud total de la corona:
  - o Desde el borde incisal a la unión amelocementaria (UAC)
  - o Distancia mesiodistal en el centro de la corona y en el primer punto donde se detecta la pulpa coronal
  - o Distancia coronal mesiodistal y vestibulopalatino en plano axial
- Distancia desde el techo de la cámara al borde incisal
- Distancia desde la superficie palatina a la entrada del conducto
- Distancia dentinaria desde conducto a superficie exterior en distintos niveles, tanto coronal como radicular (se especifica en los aparatados de medidas en el plano sagital, coronal y axial)

- Anchura del conducto mesiodistal y vestibulopalatino, a lo largo de este, en 3 puntos
- Volumen pulpar
- Ángulo de acceso
- Distancia hasta la perforación en línea recta
- Longitud total del diente

Todas las mediciones se tomaron en la misma sección del plano sagital, alineando el plano axial y coronal.

Para obtener estas mediciones, en primer lugar, se posicionó el diente en el plano sagital, donde el eje coronal (verde) pasa por el centro de la raíz, y el axial (azul) queda en el borde incisal perpendicular a la unión ameloementaria (Figura 16).

A continuación, el diente se reajustó en el eje axial, donde aparece el eje sagital (rojo) en sentido vestibulo-palatino y el eje coronal (verde) de mesial a distal.

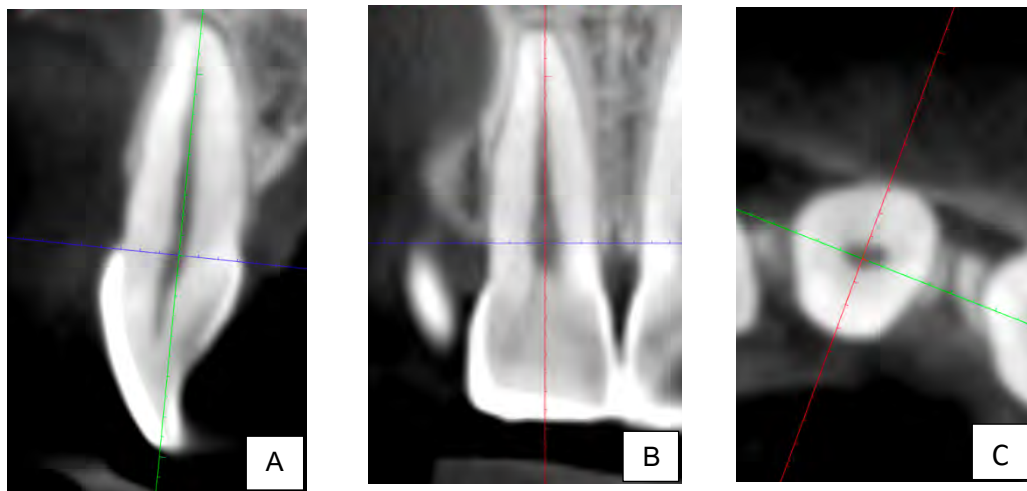


Figura 16: A. Corte plano sagital: El eje coronal (verde) es perpendicular a la UAC (azul) y al borde incisal; B. Corte plano coronal: El eje sagital (rojo) está centrado en el eje del diente, y el eje axial (azul) se encuentra en UAC; C. Corte plano axial: El eje coronal (verde) está alineado mesiodistalmente y el eje sagital (rojo) está posicionado vestibulopalatinamente.

El punto de referencia para las mediciones es la unión amelocementaria. El resto de los puntos fueron paralelos a la UAC y perpendiculares desde el borde incisal al ápice. Se seleccionó este punto de referencia por ser el más confiable y reproducible, ya que la cámara pulpar siempre está centrada a nivel de la UAC, y servirá de guía para dirigir el acceso endodóntico, independientemente de la corona clínica o de las restauraciones realizadas en el ICM (32).

### **5.3.2.1 Medida del volumen pulpar (3D)**

El volumen pulpar del conducto del ICM se calculó con el software Romexis del CBCT Planmeca<sup>®</sup>. Este software permite aislar volúmenes dentro de un rango de densidades para realizar mediciones sobre ellos. Para ello se cuantifica un umbral de colores para diferenciar los tejidos duros (blanco) del espacio pulpar/ conducto (negro), obteniendo así una binarización. Es fundamental definir cuidadosamente y del mismo modo para todos los dientes la zona de los grises (diferencia en el umbral), pues lo contrario podría llevar a una sobreestimación o subestimación de las medidas (240).

Para realizar la medición, en primer lugar, se posicionó correctamente el ICM en los planos sagital, coronal y axial. El primer plano que se ajustó fue el sagital, seguido del axial, y por último el coronal. Se realizó una visualización completa del diente en todo su volumen para verificar su adecuado posicionamiento. Tras verificar este paso, se maximizó el corte sagital y se seleccionó la opción “medir cubo” en la barra de herramientas, con la que se dibujó un cubo que incluía el espacio pulpar en los tres planos. Seleccionando la zona interna del cubo se escogió de la barra de herramientas la opción “Región de crecimiento 3D”. Dentro de las distintas opciones para medir el volumen pulpar, se seleccionó el preajuste “cavidad raíz”. Posteriormente se marcó un punto inicial en el 3D en la escala de grises de la pulpa, desde el cual se inició la medición.

Con el software se obtuvo en cuestión de segundos la medición del volumen pulpar en  $\text{mm}^3$ , cambiándose de forma automática el color del tejido pulpar, que en este estudio se escogió rosa (Figura 17).

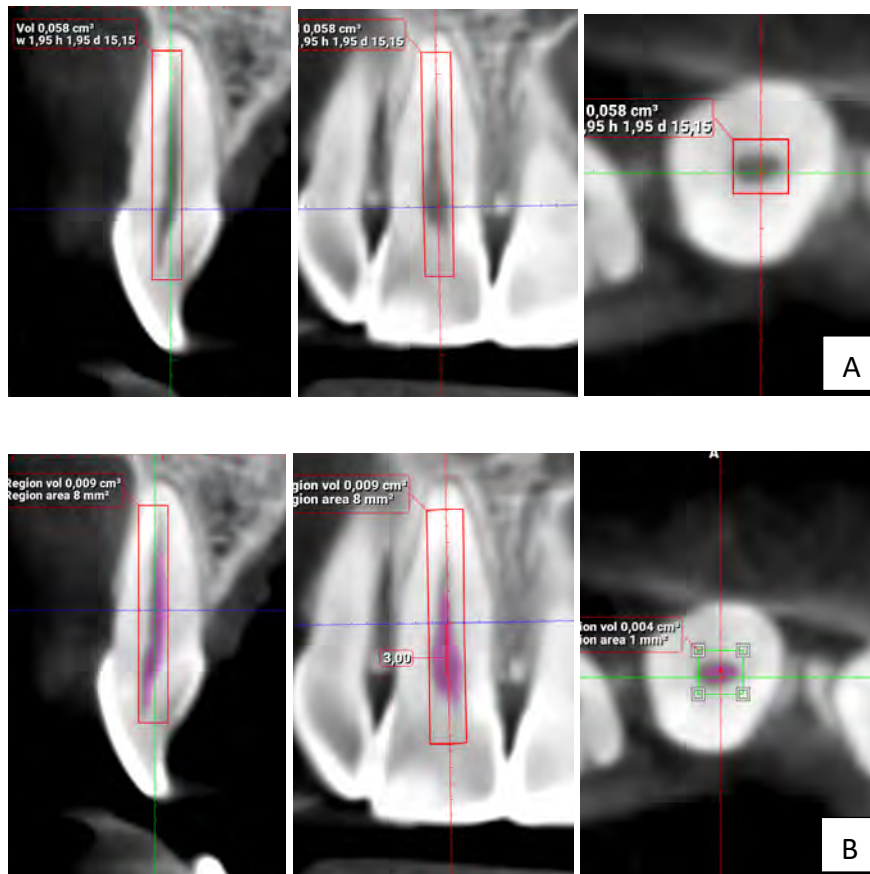


Figura 17: Imágenes del volumen pulpar en los distintos planos. De izquierda a derecha: corte sagital, coronal y axial. A: Imágenes previas a la medición del volumen; B: Imágenes tras realizar la medición donde se observa el cambio de color de la pulpa dental (rosa).

### 5.3.2.2 Medidas en el plano sagital

Dentro del plano sagital se registraron medidas lineales y el ángulo de acceso a la cámara pulpar. A continuación, se describe la codificación empleada.

Todos los parámetros siguen el mismo código (véase la Figura 18):

1º La primera parte del código se representa mediante una letra y corresponde al plano donde se mide.

2º En la segunda parte del código registramos el tipo de medida: distancia, punto o ángulo. Se representa mediante una letra acompañada de un símbolo. Cuando se trata de una distancia serán 2 letras con el símbolo de segmento encima (-), si es un punto será una letra con el símbolo de punto (.) sobre ella. En el caso del ángulo serán tres letras con el símbolo de ángulo (^).

3º La tercera parte del código hace referencia a la superficie del diente que medimos. Se representa mediante letras que se corresponden con el punto de inicio y el punto final de la superficie a medir. Cuando la medición se realiza en el espacio pulpar se añadirá al código una S (espacio pulpar), siendo 3 letras.

Para facilitar la lectura se diseña un código abreviado, véase la Figura 19.

1ª PARTE: PLANO							
(S) SAGITAL		(C) CORONAL			(A) AXIAL		
2ª PARTE: TIPO DE MEDIDA							
(el símbolo va encima de la letra que representa)							
— DISTANCIA		· PUNTO		¨ PUNTO MEDIO		^ ÁNGULO	
<b>U</b>	<b>B</b>	<b>L</b>	<b>E</b>	<b>F</b>	<b>X</b>	<b>I</b>	<b>T</b>
(UAC)	(Borde incisal)	(Cuerno pulpar)	(Esmalte)	(Perforación)	(Ápice)	(Centro coronal mv-vp)	(Punto a 3 mm de uac en raíz)
3ª PARTE: SUPERFICIE DEL DIENTE QUE MEDIMOS							
<b>V</b>	<b>P</b>	<b>VP- MD</b>	<b>S</b>	<b>VPS-MDS</b>			
		Combinación	(Espacio pulpar)	Combinación de 3 letras incluimos el espacio pulpar (s)			

Figura 18: Esquema de la codificación de los parámetros.

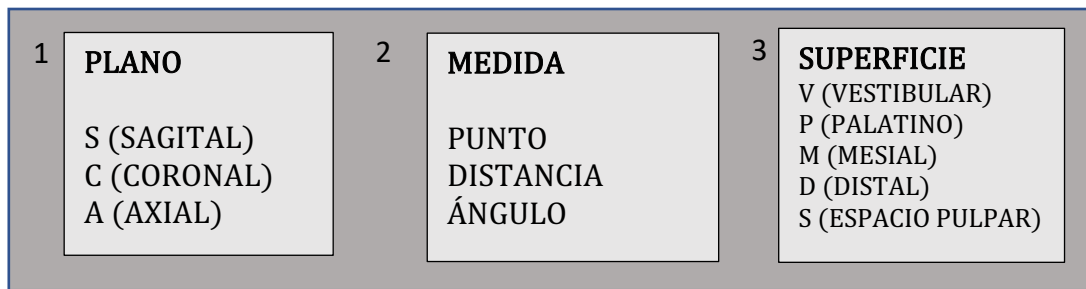


Figura 19: Esquema abreviado del código.

Un ejemplo para que el lector entienda cómo se ha creado el código:



$C\bar{U}MD$ : *C* corresponde a plano coronal,  $\bar{U}$  a la unión amelocementaria, el segmento sobre  $\bar{U}$  porque es una distancia y, por último, MD ya que la distancia se mide de mesial a distal.

### Medidas registradas en el plano sagital

Las medidas registradas en el plano sagital se describen en la Tabla 2. Para su mejor comprensión ver Figura 20. Se empleó la misma codificación descrita en la Figura 18.

La primera distancia que se mide es  $\overline{SBUP}$  seguido de  $\overline{SÜVP}$ . A continuación, marcamos los tres puntos *B*, *A* y *M*, de los que podemos obtener las distancias  $\overline{SAM}$ ,  $\overline{SAL}$ ,  $\overline{SMFV}$ ,  $\overline{SBL}$ . En último lugar se mide el ángulo  $\widehat{SBAL}$ .

En la Figura 20 se representan las mediciones registradas en el plano sagital.

Acrónimo	Definición	Naturaleza	Código
<b><i>VOLU</i></b>	Volumen de la pulpa	CT	Nu
<b><i>SB</i></b> ( <i>B</i> )	Punto del borde incisal más alejado de UAC (el subacrónimo será <i>B</i> )	CT	Nu
<b><i>SBUP</i></b>	Distancia de <i>B</i> a UAC en palatino	CT	Nu
<b><i>SBUP</i></b> ( <i>A</i> )	Punto medio de la distancia <i>SBUP</i> (el subagronimo será <i>A</i> )	CT	Nu
<b><i>SÜVP</i></b>	Distancia de vestibular a palatino en UAC	CT	Nu
<b><i>SÜVP</i></b> ( <i>M</i> )	Punto medio de la distancia <i>SÜVP</i>	CT	Nu
<b><i>SAM</i></b>	Distancia de <i>A</i> a <i>M</i>	CT	Nu
<b><i>SMFV</i></b> ( <i>F</i> )	Distancia de <i>M</i> a la superficie radicular vestibular, siguiendo la trayectoria de <i>SAM</i> (subacrónimo <i>F</i> )	CT	Nu
<b><i>SAL</i></b>	Distancia de A al cuerno pulpar ( <i>L</i> )	CT	Nu
<b><i>SBL</i></b>	Distancia del borde incisal a <i>L</i>	CT	Nu
<b><i>SBAL</i></b>	Ángulo formado entre el segmento BA y AL, que es equivalente al ángulo del acceso cavitario	CT	Nu

Tabla 2: Acrónimos utilizados, definición, naturaleza de las mediciones y código de los parámetros registrados en el plano sagital. CT: variable cuantitativa; CL: variable cualitativa; S: si; N: no; H: hombre; M: mujer; Nu: Número.

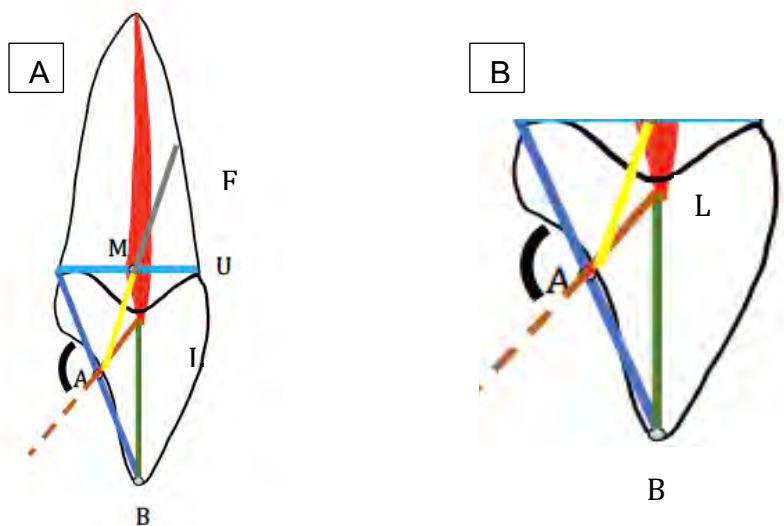


Figura 20: A: Dibujo de las mediciones registradas en el plano sagital.: *SÜVP*: azul claro; *SBUP*: azul oscuro; *SAM*: amarillo; *SMFV*: gris; Marrón: *SAL*: marrón; *SBL*: verde; *SBAL*: ángulo. B: Detalle de la imagen anterior.



### 5.3.2.3 Medidas en el plano coronal

Las distancias coronales fueron registradas en sentido mesiodistal. El código empleado es el mismo que para el plano sagital (véase Figura 18 y 19).

A continuación, pasamos a definir las distancias en este plano (Tabla 3). Véase además el esquema representativo de la Figura 21.

<b>Acrónimo</b>	<b>Definición</b>	<b>Naturaleza</b>	<b>Código</b>
<b><math>\overline{CBMD}</math></b>	Longitud del borde incisal mesiodistal	<b>CT</b>	<b>Nu</b>
<b><math>\overline{C\ddot{B}MD}</math> (<i>B</i>)</b>	Punto medio del borde incisal. (subacrónimo empleando <i>B</i> )	<b>CT</b>	<b>Nu</b>
<b><math>\overline{C\bar{M}MD}</math></b>	Longitud mesiodistal de la corona en UAC	<b>CT</b>	<b>Nu</b>
<b><math>\overline{C\ddot{U}MD}</math> (<i>M</i>)</b>	Punto medio coronal en UAC	<b>CT</b>	<b>Nu</b>
<b><math>\overline{CB\bar{M}}</math></b>	Distancia de <i>B</i> a <i>M</i> (altura coronal)	<b>CT</b>	<b>Nu</b>
<b><math>\overline{C\dot{I}MD}</math> (<i>I</i>)</b>	Punto medio de la distancia <i>B</i> a <i>M</i> (subacrónimo <i>I</i> )	<b>CT</b>	<b>Nu</b>
<b><math>\overline{C\bar{I}MD}</math></b>	Longitud mesiodistal de la corona, pasando por el punto <i>I</i> y paralelo al borde incisal (altura coronal)	<b>CT</b>	<b>Nu</b>
<b><math>\overline{CB\bar{T}}</math></b>	Longitud de $\overline{CB\bar{M}}$ prolongado 3 mm en la raíz. Este punto se llama <i>T</i>	<b>CT</b>	<b>Nu</b>
<b><math>\overline{CB\bar{X}}</math></b>	Longitud total del diente desde <i>B</i> hasta el ápice de la raíz ( <i>X</i> ).	<b>CT</b>	<b>Nu</b>

Tabla 3: Acrónimos utilizados, definición, naturaleza de las mediciones y código de los parámetros registrados en el plano coronal. CT: variable cuantitativa; Nu: Número.

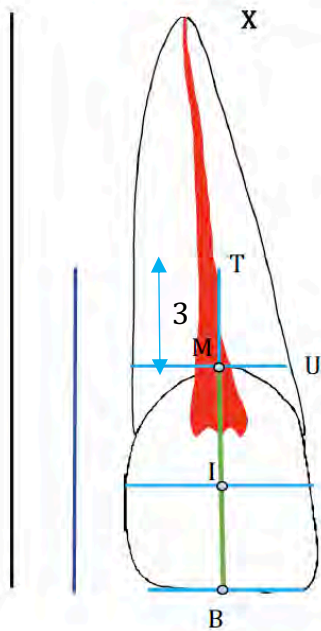


Figura 21: Esquema representativo de las mediciones registradas en el plano coronal.

Las distancias  $\overline{CBMD}$ ,  $\overline{CIMD}$  y  $\overline{CMMD}$  en la Figura 21 se representan del mismo color, azul claro, al ser paralelas entre sí y perpendiculares a  $\overline{CBM}$ . Estas tres distancias son las primeras en registrarse. Las primeras medidas registradas fueron  $B$  y  $M$ . Tras unir las podremos registrar, en la mitad de la corona, el punto ( $I$ ), y a partir de este punto, registramos la distancia  $\overline{CIMD}$ , que es la anchura mesiodistal de la corona.

A continuación, desde el punto  $M$  y hacia apical, registramos el punto  $T$ , que es la prolongación de  $M$  a 3 mm hacia la raíz ( $\overline{CBT}$ ). Por último, registraremos la longitud total del diente desde  $B$  hasta el ápice de la raíz.

#### 5.3.2.4 Medidas en el plano axial

Las distancias axiales se registraron en sentido mesiodistal y vestibulopalatino. Su codificación se obtiene de igual forma que las medidas anteriores. Para su mayor comprensión se definen en la Tabla 4 y en la Figura 22.

Acrónimo	Definición	Naturaleza	Código
<b>Cortes coronales</b>			
<b><math>A\bar{B}MD</math> <math>A\bar{B}VP</math></b>	<b><math>A\bar{B}VP</math></b> : Longitud vestibulopalatina del borde incisal <b><math>A\bar{B}MD</math></b> : Longitud mesiodistal del borde incisal	<b>CT</b>	<b>Nu</b>
<b><math>A\bar{I}VP</math> <math>A\bar{I}MD</math> <math>A\bar{I}MDS</math> <math>A\bar{I}VPS</math></b>	Medida registrada a nivel de $I$ : - <b><math>A\bar{I}VP</math></b> : Longitud vestibulopalatina - <b><math>A\bar{I}MD</math></b> : Longitud mesiodistal En el caso de que en este corte axial apareciera el espacio pulpar ( $S$ ). Se registraron también sus dimensiones: - <b><math>A\bar{I}VPS</math></b> : Longitud vestibulopalatina de $S$ - <b><math>A\bar{I}MDS</math></b> : Longitud mesiodistal de $S$	<b>CT</b>	<b>Nu</b>
<b><math>A\bar{L}VP</math> <math>A\bar{L}MD</math> <math>A\bar{L}VPS</math> <math>A\bar{L}MDS</math></b>	Medida registrada en cuerno pulpar ( $L$ ) - <b><math>A\bar{L}VP</math></b> : Longitud vestibulopalatina - <b><math>A\bar{L}MD</math></b> : Longitud mesiodistal Medición de la distancia en el espacio pulpar - <b><math>A\bar{L}VPS</math></b> : Longitud vestibulopalatina de $S$ - <b><math>A\bar{L}MDS</math></b> : Longitud mesiodistal de $S$	<b>CT</b>	<b>Nu</b>
<b>Cortes radiculares</b>			
<b><math>A\bar{U}VP</math> <math>A\bar{U}MD</math> <math>A\bar{U}VPS</math> <math>A\bar{U}MDS</math></b>	Distancia registrada en la unión amelocementaria ( $U$ ): - <b><math>A\bar{U}VP</math></b> : Distancia vestibulopalatina - <b><math>A\bar{U}MD</math></b> : Distancia de mesial a distal Medición de la distancia en el espacio pulpar - <b><math>A\bar{U}VPS</math></b> : Distancia vestibulopalatina de $S$ - <b><math>A\bar{U}MDS</math></b> : Distancia de mesiodistal de $S$	<b>CT</b>	<b>Nu</b>
<b><math>A\bar{T}VP</math> <math>A\bar{T}MD</math> <math>A\bar{T}VPS</math> <math>A\bar{T}MDS</math></b>	Medida registrada a nivel de $T$ : - <b><math>A\bar{T}VP</math></b> : Distancia vestibulopalatina - <b><math>A\bar{T}MD</math></b> : Distancia mesiodistal Medición de la distancia en el espacio pulpar - <b><math>A\bar{T}VPS</math></b> : Distancia vestibulopalatina de $S$ - <b><math>A\bar{T}MDS</math></b> : Distancia mesiodistal de $S$	<b>CT</b>	<b>Nu</b>

Tabla 4: Acrónimos utilizados, definición, naturaleza de las variables y codificación de los parámetros registrados en el plano axial. Codificación: Código; Variable cuantitativa: CT; Nu: Número.

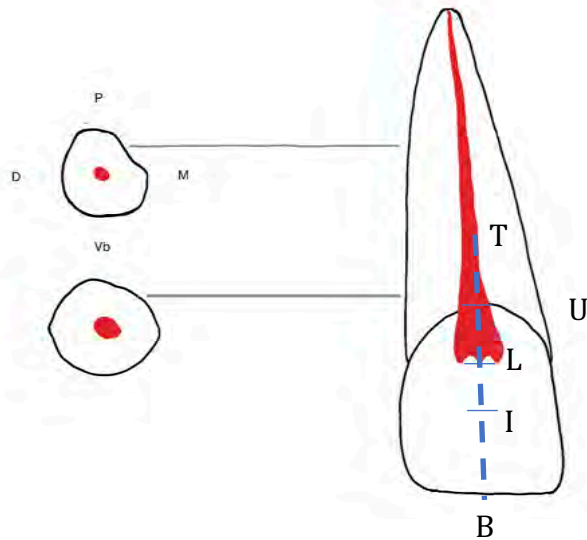


Figura 22: Esquema representativo de las mediciones realizadas en el plano axial. A la izquierda se observan dos cortes axiales de distintos niveles de la raíz.

Comenzamos midiendo en el punto (**B**), la distancia  $\overline{ABMD}$  mesiodistal y  $\overline{ABVP}$  vestibulopalatino. Pasaremos a (**U**), donde registraremos tanto la distancia coronal mesiodistal  $\overline{A\bar{U}MD}$  como vestibulopalatina  $\overline{A\bar{U}VP}$ , y la distancia en el espacio pulpar, mesiodistal  $\overline{A\bar{U}MDS}$  y vestibulopalatina  $\overline{A\bar{U}VPS}$ . Desde el punto (**B**) a (**U**) en la corona registramos 2 mediciones más, el punto (**I**) (que coincide con el plano coronal), y el punto (**L**), que es el primer punto donde nos encontramos en axial el cuerno pulpar. Serán registrados respectivamente con el acrónimo distancia mesiodistal  $\overline{A\bar{I}MD}$  y vestibulopalatina  $\overline{A\bar{I}VP}$ , y en el espacio pulpar la distancia mesiodistal  $\overline{A\bar{I}MDS}$  y la vestibulopalatina  $\overline{A\bar{I}VPS}$  (Tabla 4). Este mismo procedimiento se realiza en el punto (**L**), obteniendo tanto la distancia mesiodistal  $\overline{A\bar{L}MD}$  como la vestibulopalatina  $\overline{A\bar{L}VP}$ , al igual que en el espacio pulpar, registrando  $\overline{A\bar{L}VPS}$  y  $\overline{A\bar{L}MDS}$ . Por último, medimos a 3 mm de **U** en raíz, la distancia mesiodistal  $\overline{A\bar{T}MD}$  y vestibulopalatina  $\overline{A\bar{T}VP}$ . Como se hizo con las anteriores medidas, también se midieron en el espacio pulpar, obteniendo la longitud mesiodistal  $\overline{A\bar{T}MDS}$  y la vestibulopalatina  $\overline{A\bar{T}VPS}$ .

### **5.3.3 Evaluación de la imagen**

Todas las imágenes fueron evaluadas por una sola odontóloga (M.LL.M), dedicada en su vida laboral exclusivamente al campo de la endodoncia y la conservadora con más de 10 años de experiencia, trabajando diariamente en la clínica con un equipo multidisciplinar, enfrentándose a tratamientos que requieren visualización, análisis y estudio de tomografías computadorizadas de haz cónico (CBCT).

### **5.4. Validación del instrumento CBCT**

En la literatura ya se han validado mediciones lineales y ángulos obtenidos con el CBCT, pero no se han encontrado evidencia científica sobre la exactitud del CBCT al medir volúmenes pulpares. De hecho, no todos los CBCT del mercado tienen el software configurado para medir este dato. De ahí la necesidad previa de realizar la validación del volumen pulpar con el CBCT y compararlo con la herramienta gold estándar, que es el micro-CT. Garantizando la exactitud de los resultados, pudiendo validar que las mediciones del volumen mediante esta herramienta (CBCT) son fiables.

### **Selección de la muestra CBCT/micro-CT**

Tras la aceptación del estudio por el Comité de Ética para la investigación Biomédica de la Universidad CEU Cardenal Herrera con código de Informe CEI19/089 (Anexo 2), se seleccionaron 30 incisivos centrales superiores con ápices cerrados extraídos por motivos periodontales con espacio pulpar íntegro. Se escogieron incisivos centrales superiores al igual que Porto y cols. (241) ya que son más cortos que los caninos, tienen cámaras pulpares más anchas que los incisivos inferiores y su anatomía radicular es más sencilla que la de premolares y molares.

Se excluyeron aquellos dientes con anomalías dentarias, reabsorciones internas o externas, prótesis u ortodoncia, o dientes endodonciados, al igual que otros autores (90,242).

Los dientes una vez extraídos fueron desinfectados en hipoclorito sódico al 5% durante 2 horas y conservados en agua destilada hasta su uso.

### **Obtención del CBCT**

Los dientes se colocaron sobre una base de silicona de consistencia masilla (Express 2 Putty Quick, 3M ESPE) en grupos de 10 y todos los dientes fueron escaneados con el CBCT ProMax 3D Max® (Planmeca Inc, Roselle, IL). Las imágenes de CBCT fueron tomadas con los siguientes parámetros: campo de visión de 8 x 5 cm, 120 kV, 8 mA, tamaño de vóxel de 0.2mm, tiempo de exposición de 8.03 segundos, y en cortes de 1 mm.

### **Análisis de las imágenes del CBCT**

Todas las imágenes de CBCT se guardaron en DICOM. A continuación, un investigador (M.LL.M), odontólogo con más de 10 años de experiencia, realizó dos mediciones del volumen pulpar ( $x_1$  y  $x_2$ ) de 25 incisivos mediante el software Planmeca Romexis (versión 5.3.4.39) en un intervalo de 15 días para calcular el error intraoperador.

$$Error\ Intraoperador = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_1 - x_2)^2}{2 \cdot N}}$$

Se obtuvo un Error de 0.183

La medición del volumen pulpar hoy en día tiene un componente subjetivo al ser el propio operador el que selecciona el tejido a medir; el hecho que el error intraoperador obtenido fuese de 0.183, indica la adecuada reproducibilidad de la técnica. Para el análisis estadístico posterior se calculó y utilizó la media de ambas mediciones para minimizar el riesgo de sesgo. Para obtener mayor fiabilidad de la herramienta, un segundo operador, realizó las mediciones con la misma metodología de trabajo. Para el segundo operador el error intraoperador fue de 0.632. Además, se calculó el error inter-operador entre ambos y se obtuvo un 0.0883 con un p-valor de 0.074.

El volumen pulpar se obtuvo seleccionando la herramienta cubo para medición de volúmenes de forma automática, usando el umbral de escala de grises. En cada diente se seleccionó un punto inicial de la pulpa desde el cual mediante la herramienta región de crecimiento 3D con el preajuste "cavidad raíz". Se generó un modelo 3D y se obtuvo el volumen pulpar en  $\text{cm}^3$  (Figura 23).

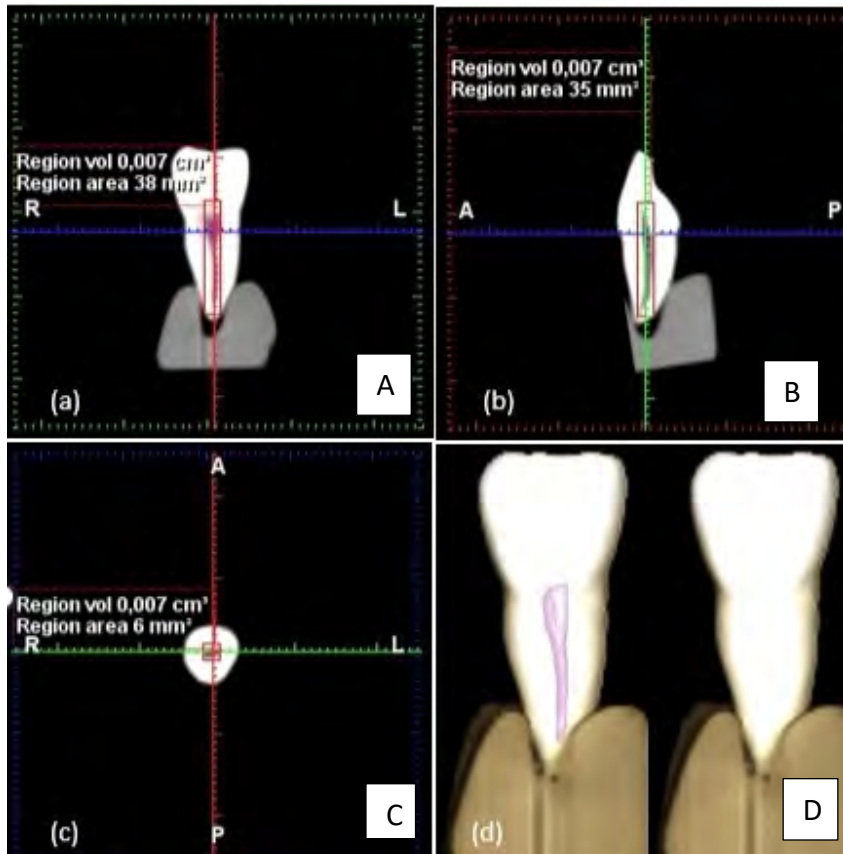


Figura 23: CBCT del espécimen donde se muestra la medición del volumen pulpar en los 3 planos del espacio. A: Plano coronal; B: Plano sagital y C: Plano axial; D: Reproducción tridimensional del volumen pulpar.

### Obtención del micro-CT

Los mismos dientes se enviaron al Centro Nacional de Investigación sobre la Evolución Humana (CENIEH) para su estudio mediante micro-CT (Phoenix VltomelX s 240 de GE Sensing & Inspection Technologies Phoenix X Ray, Wunstorf, Germany).

Las condiciones de escaneo fueron 120 kV, 120  $\mu$ A, 0.2 mm filtro de cobre, tamaño de vóxel 19  $\mu$ m y una rotación de 0.2. Para minimizar los artefactos del micro-CT, la calibración del aire del detector se realizó previamente al escaneo. Cada muestra rotó 360 grados durante 2 segundos, siendo el tiempo medio de escaneo alrededor de 1 hora.



## **Análisis de las imágenes de micro-CT**

Los datos se exportaron en formato DICOM y se calculó su volumen pulpar mediante el software 3D Slicer versión 4.10.2 (243). Se hizo una segmentación usando la herramienta automática umbral de escala de colores grises, diferenciando la dentina coronal y el cemento radicular. Un examinador entrenado en el uso del software realizó la segmentación a ciegas, valorando simultáneamente los 3 planos (axial, sagital y coronal), y eliminando todas las calcificaciones encontradas a lo largo de toda la pulpa de coronal a apical. Se tardó una media entre 45 min y 3 horas por diente. Se generó el modelo 3D y se obtuvo automáticamente el volumen pulpar en mm<sup>3</sup>.

Para la visualización y reconstrucción de los conductos radiculares se empleó Phoenix datos|x 2 y 3D Slicer respectivamente. Para la reconstrucción, se aplicó el filtro medio y la corrección del haz se fijó en un 80%. Los límites del contraste se aplicaron automáticamente siguiendo las instrucciones de GE del micro-CT. Para la visualización volumétrica en 3D y la medición del volumen pulpar de los conductos radiculares se empleó el software 3D Slicer (Figura 24).

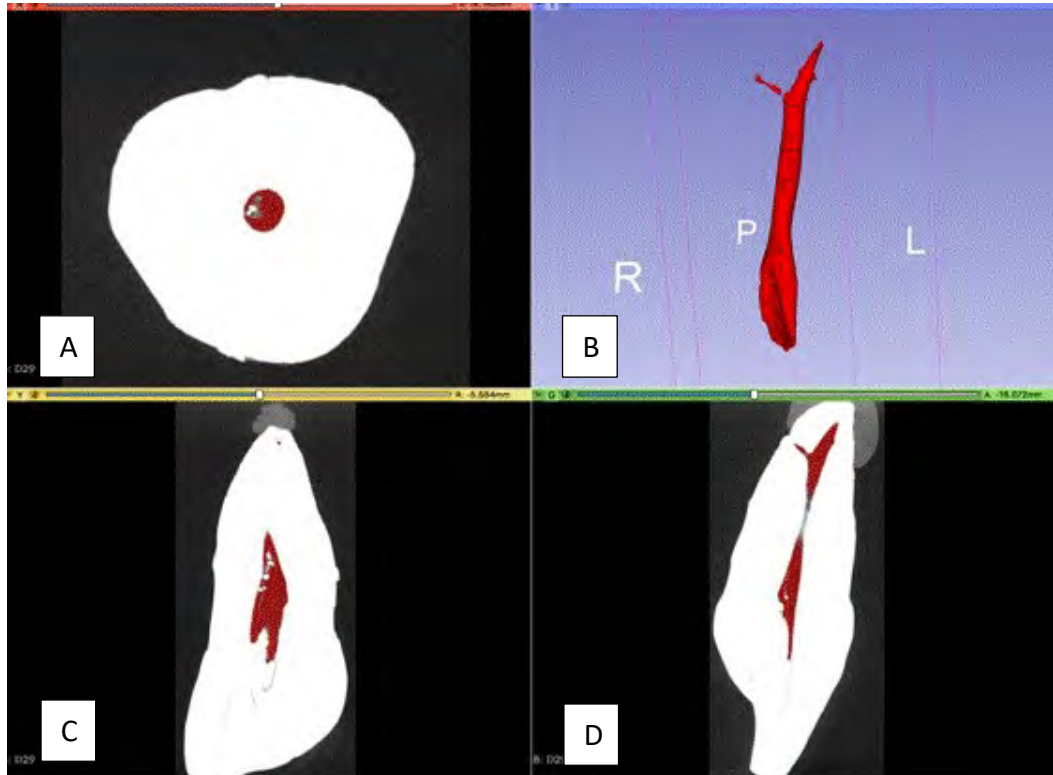


Figura 24: Imagen de micro-CT del espécimen donde se muestra la medición del volumen pulpar en los 3 planos. A. Plano axial; B. Reproducción tridimensional del volumen pulpar. C. Plano coronal; D. plano sagital;

### 5.5. Metodología del modelo predictivo

Del estudio anatómico de nuestra muestra se obtienen una serie de mediciones que conforman las variables del modelo predictivo. Este conjunto de variables y su relación nos proporcionan un punto de acceso cameral, la profundidad y la angulación del acceso. A nivel clínico, estos datos obtenidos del CBCT de un paciente concreto, nos permitirán obtener una guía de acceso, la inclinación del instrumento y una profundidad determinada para conseguir un tratamiento de conductos más predecible y exacto.

En este contexto nos encontramos ante un sistema compuesto por variables y relaciones entre ellas. Este sistema puede representarse a través de un diagrama causal (244).

La construcción del diagrama causal se inicia con una valoración clínica del procedimiento de la apertura cameral de un tratamiento de conductos en un ICM, que nos permite extraer que las variables objetivo son  $SBUP$  (punto donde inicia la fresa el acceso),  $SBAL$  (ángulo de inclinación de la fresa) y  $SAL$  (distancia hasta el cuerno pulpar).

Las relaciones directas entre las tres variables objetivo ( $SBUP$ ,  $SAL$  y  $SBAL$ ) y el resto de las variables que conforman el estudio, serán las que generen el diagrama causal. Se determina las relaciones matemáticas entre estas tres y el resto de las variables del sistema y se extraen las llamadas variables de primer nivel. Tras esto se obtiene la relación entre las variables de primer nivel y el resto de las variables no utilizadas. A estas segundas serán las llamadas variables de segundo nivel. Así sucesivamente hasta no observar más relaciones o hasta que todas las variables estén presentes en el diagrama.

## **5.6. Análisis estadístico**

### **5.6.1. Análisis estadístico del estudio anatómico del ICM**

Todos los datos anteriormente expuestos fueron analizados con el programa SPSS (IBM Corporationn, Amonk, NY, USA) y R-Commander para el tratamiento estadístico.

En este apartado se realizaron dos estudios estadísticos, el descriptivo y el inferencial. Para el primero, se obtuvieron mediciones como la media, desviación estándar (DS), mediana con el rango intercuantílico (RIC), valor

máximo y mínimo y los percentiles para variables cuantitativas, y frecuencias para variables cualitativas.

En el estudio inferencial, se determinaron las relaciones entre las variables del estudio. En estos casos, se consideró un nivel de significación del 5%. Se utilizaron distintas pruebas según la naturaleza de las variables estudiadas para estudiar la relación o asociación entre ellas, tal y como se describe a continuación:

a) Dos variables cuantitativas:

En el presente estudio se realizó un primer análisis en cada variable cuantitativa y la existencia de normalidad en los datos mediante la prueba Kolmogorov-Smirnov.

- Coeficiente de correlación Pearson (si se cumple la normalidad de los datos): Cerca de -1 supone una relación inversa, mientras que cerca de 1 supone una relación directa.
- Test Spearman's Rho (RS) (se emplea si no se cumple dicha normalidad en los datos) indica la potencia, es un valor entre -1 y 1. Cuanto más se aproxime al 1, más fuerte es la relación. Si el valor es positivo indica una relación directa, y un valor negativo, significa correlación inversa (una variable aumenta a medida que la otra disminuye o viceversa). Valores de 0 a 0.25: Correlación escasa o nula, valores de 0.26 a 0.5: correlación débil, valores de 0.5 a 0.75 correlación moderada y valores de 0.76 a 1.00, presenta una fuerte correlación (245,246).

b) Variable cualitativa vs Variable cuantitativa:

Para estas variables se trató de determinar la potencia de asociación y la existencia de diferencias significativas de la variable cuantitativa entre cada una de las categorías de la variable cualitativa.

- Prueba d o f-Cohen: Esta prueba nos indica la potencia de asociación (tamaño del efecto), o cuanto de fuerte es esa relación, según la variable sea dicotómica (d-Cohen) o categórica (f-Cohen). Un tamaño de efecto entre 0.2-0.3 indicaría una intensidad de asociación baja, un valor entre 0.5-0.8 una intensidad de efecto medio y en un valor >0.8 un efecto de asociación alto.
- T- Student o ANOVA: Pruebas para la diferencia de medias para muestras independientes, en los casos en los que se cumpla las hipótesis de aplicabilidad, normalidad y homocedasticidad. Cuando la variable sea dicotómica se aplicará T-Student, en caso de que tenga tres o más categorías, la prueba a usar será ANOVA.
- Prueba de la mediana: En el caso de que no se cumplan las hipótesis de aplicabilidad, será realizado un test no paramétrico, como es el mencionado.

#### c) Dos variables cuantitativas

En ellas se construirá las tablas de contingencia y se medirá la relación existente entre ambas con la prueba de Chi-cuadrado de Pearson.

#### d) Más de dos variables

Para este caso, la variable a explicar es una cuantitativa a través de varios factores y es por ello que se hará uso de la ANOVA con varios factores.

### **5.6.2. Análisis estadístico para el estudio comparativo del volumen pulpar mediante CBCT y micro-CT**

Para el análisis descriptivo se empleó el software SPSS 22.0 para Windows (IBM, Chicago, IL) incluyendo medias, desviaciones estándares, mínimos y máximos. En primer lugar, se calcularon los errores intra e interoperador, con el fin de validar la no existencia de diferencias entre los operadores y los instrumentos. Así mismo, para los instrumentos también se calculó la

diferencia de medias con el fin de comparar las diferencias intergrupales. Para el caso, se utilizaron las pruebas T-Student o diferencia de medianas, según se cumplieran o no las condiciones de aplicabilidad, tal y como se ha descrito anteriormente.

### **5.6.3. Análisis estadístico para la creación del modelo predictivo**

La construcción del modelo predictivo se divide en dos pasos. La obtención de la relación estadística entre las variables y la determinación de las ecuaciones matemáticas que dibujan dicha relación. Así, para obtener las relaciones y determinar las relaciones dos a dos, se hará uso del coeficiente Rho Spearman, ya explicado anteriormente. Para la validez de las ecuaciones matemáticas se utilizarán los siguientes parámetros:

- $R^2$ = Coeficiente que trata de ajustar la variabilidad del modelo. El resultado oscila entre 0 y 1 (El ajuste del modelo será mayor, cuanto más cercano a 1 se sitúe su valor). De forma inversa, cuanto más próximo a 0, menos ajustado está el modelo, por lo tanto, menos fiable será.
- $R$ = Coeficiente de correlación, que calcula la raíz cuadrada de  $R^2$
- $NS$ = Eficiencia del modelo (247), índice que produce resultados  $\leq 1$ . Si es cero el error es del mismo orden de magnitud que la varianza de los datos observados, por lo que tendrá una capacidad predictora similar al modelo. Si el resultado es 1 el ajuste es perfecto. Valores inferiores a cero implican que la media tiene una capacidad predictora más alta que el modelo, lo que indica que el modelo no es bueno.
- $W$ = Índice de ajuste modificado (248), oscila entre 0 y 1. Este último valor implica un ajuste perfecto.
- $RMSE/MAE$ = es el cociente entre el error cuadrático medio y el error absoluto medio, determina hasta que punto se ve afectado el modelo por la existencia de valores extremos. Quiere decir, la capacidad del

error que existe entre dos conjuntos de datos, en este caso, compara el valor predicho y el valor observado. Cuanto más pequeño es valor resultante, más cercanos son los valores predichos y los observados.





## **RESULTADOS**



## **6. RESULTADOS**

Se dividen en tres apartados. Primero se revisarán los resultados del estudio de la anatomía dental de los incisivos centrales maxilares mediante el uso de la tomografía computarizada de haz cónico en una población española. A continuación, se presentarán los valores del volumen pulpar, y en el tercer apartado mostraremos la construcción del modelo predictivo de acceso endodóntico.

### **6.1 Resultados del estudio anatómico del ICM**

En el estudio de la anatomía del ICM dividimos los resultados en la estadística descriptiva y la inferencial. La estadística descriptiva, como su nombre indica, describe las características puramente anatómicas de los ICM. En la estadística inferencial, veremos las relaciones entre las variables cuantitativas del estudio y la asociación de éstas con las variables sexo, diente, edad, bruxismo y ortodoncia.

#### **6.1.1 Estadística descriptiva**

En este apartado mostramos las características principales de las variables estudiadas en la muestra que hemos obtenido. Se dividen en variables sociodemográficas y en las mediciones realizadas a los incisivos centrales maxilares en los tres planos de estudio.

##### **6.1.1.1 Estudio sociodemográfico**

Se realizó un análisis descriptivo de las variables sociodemográficas del estudio. El total de dientes estudiados fue de 135, siendo 70 de mujeres (51.9%) y 65 de hombres (48.1%). Las edades estaban comprendidas entre los 14 y los 74 años, siendo la edad media 41.20 años. Fueron divididas en cuatro cohortes de edad, siendo la más frecuente entre 29 y 44 años con un 34.8% y la menor de 59 a 74 años con un 11.9% (Tabla 5).

<b>Variables Cualitativas</b>	<b>Categorías</b>	<b>FRECUENCIA</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>
<b>Sexo</b>	Hombre	65	48.1
	Mujer	70	51.9
<b>Grupos Edad</b>	14 a 29 años	27	20.0
	29 a 44 años	47	34.8
	44 a 59 años	45	33.3
	59 a 74 años	16	11.9
<b>Motivo realización CBCT</b>	Cirugía	64	47.7
	Endodoncia	37	27.4
	Ortodoncia	26	19.3
	Trauma	8	5.9
<b>Presencia de Bruxismo</b>	NO	67	49.6
	SI	68	50.4
<b>Antecedentes de ortodoncia</b>	NO	102	75.6
	SI	33	24.4

Tabla 5: Resultados en porcentaje de las variables cualitativas de la muestra.

Respecto al motivo de la realización del CBCT a los pacientes estudiados fueron cuatro: la planificación de una cirugía, dificultad del tratamiento endodóntico, estudio de ortodoncia y diagnóstico ante un traumatismo. Hay que destacar que el 47.7% de los CBCT se realizaron para planificar una cirugía y un 27.4% para planificar un tratamiento endodóntico como podemos comprobar en la Tabla 5.

En este estudio se registró si los pacientes habían sido portadores de ortodoncia y si estaban diagnosticados de bruxismo. Los resultados respecto a la ortodoncia fueron que el 75.6% nunca se habían sometido a un tratamiento ortodóncico, y el 24.4% de los pacientes sí lo habían llevado a lo largo de su vida o recientemente. En cuanto al bruxismo, el 50.4% de los pacientes sí estaban diagnosticados y el 49.6% no tenían ninguna información clínica al respecto en su historia clínica (Tabla 5).

#### **6.1.1.2 Estudio dental**

En este apartado se describen las características del diente, siendo las variables cuantitativas del estudio: el volumen pulpar, el ángulo de acceso y las medidas lineales en los 3 planos (sagital, coronal y axial), así como la longitud total del diente y el tamaño de la corona clínica.

### a) Resultados del volumen pulpar (3D)

El volumen medio de la pulpa de los dientes estudiados fue de  $15.13 \pm 7.677 \text{ mm}^3$ , con un valor mínimo de 2 y máximo de  $39 \text{ mm}^3$  (Tabla 6). En la Figura 25, podemos observar distintos ejemplos de la representación del volumen pulpar en 3D. A lo largo de los años los ICM sufren desgastes fisiológicos y alteraciones por agresiones externas, lo que lleva a cambios en el espacio pulpar.

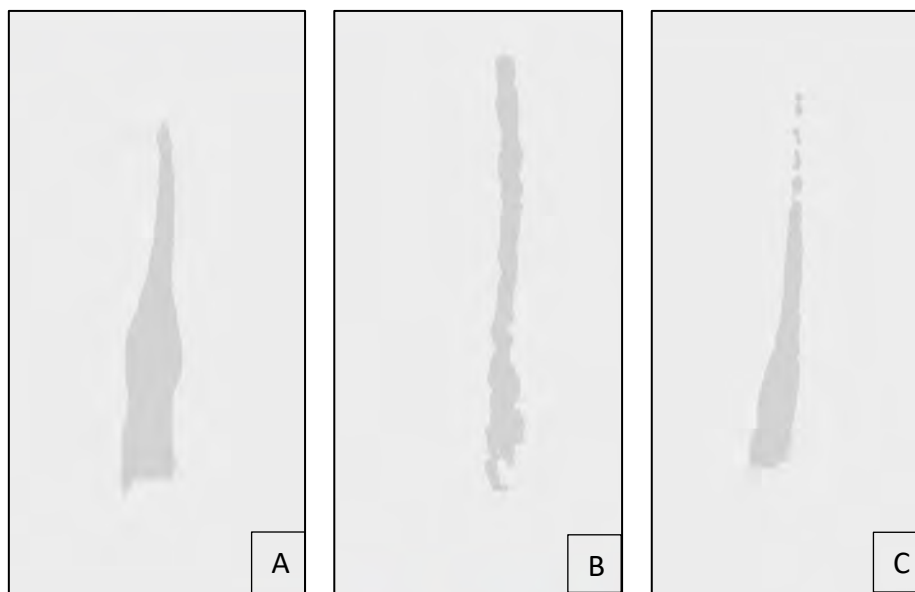


Figura 25: Representación del volumen de 3 ICM de la muestra estudiada, con sus respectivos volúmenes medios. A:  $39 \text{ mm}^3$ ; B:  $15.13 \text{ mm}^3$ ; C:  $2 \text{ mm}^3$ . El rango de edad de estos pacientes se incrementa de izquierda a derecha, al mismo tiempo que se reduce el volumen.

Variable	Media	Mediana	DS	Mínimo	Máximo	Percentiles		
						25	50	75
<i>VOL</i>	15.13	13	7.67	2	39	0.1	0.13	0.19

Tabla 6: Valores obtenidos del volumen (mm<sup>3</sup>)

A continuación, mostramos las medidas lineales registradas en los tres planos sagital, coronal y axial.

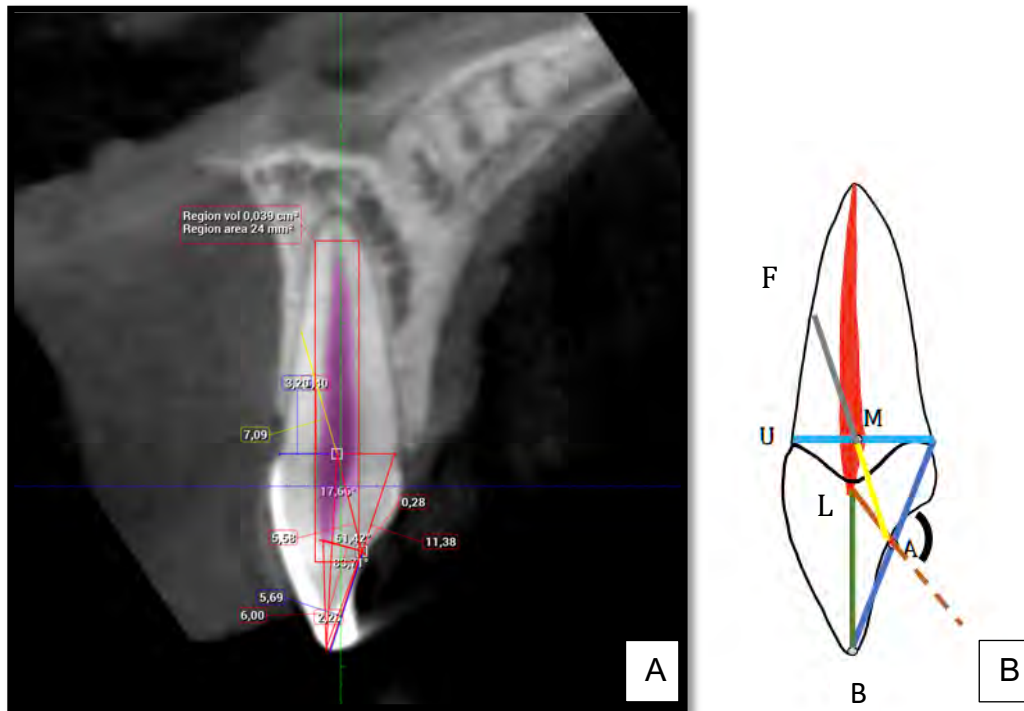
**b) Resultados del estudio en el plano sagital:**

En el plano sagital se registraron siete medidas lineales y el punto donde se inicia el acceso cameral. Los resultados pueden encontrarse detalladamente en la Tabla 7 y en la Figura 26.

Variable	Media	Mediana	DS	Mínimo	Máximo	Percentiles		
						25	50	75
<i>SBUP</i>	10.973	11.03	0.980	8.93	13.26	10.19	11.03	11.65
<i>SÜVP</i>	6.550	6.6	0.465	5.4	7.68	6.2	6.6	6.8
<i>SAM</i>	5.458	5.44	0.718	4.31	11.01	5.06	5,44	5.82
<i>SMFV</i> (F)	7.125	7.03	1.213	4.4	11.65	6.32	7.03	7.94
<i>SAL</i>	2.466	2.34	0.611	1.22	4.81	2.06	2.34	2.66
<i>SBL</i>	6.176	6.1	1.113	3.4	10.12	5.4	6.1	6.75
<i>SBUP</i>	0.475	0.6	0.597	-1.17	1.6	0.15	0.6	0.85
<i>SBAL</i>	96.30	96.92	17.86	48.97	133.2	83.43	96.92	109.86

Tabla 6: Valores obtenidos de las mediciones en el plano sagital.

Respecto a la distancia palatina *SBUP* desde borde incisal a la unión amelocementaria en palatino se obtuvo una distancia media de  $10.9 \pm 0.98$  mm, siendo la distancia máxima coronal registrada de 13.26 mm y mínima de  $8.93 \pm 0.98$  mm (Tabla 6).



Figuras 26: Mediciones sagitales. A: Imagen sagital del CBCT de un ICM con todas las mediciones registradas; B: Dibujo representativo de las mismas mediciones.

La distancia media  $\overline{S\bar{U}VP}$  que va desde la unión amelocementaria vestibular a palatino fue de  $6.55 \pm 0.465$  mm, siendo el rango de 7.68 mm a 5.4 mm.

La distancia desde el punto de acceso A a la mitad de la UAC, se registró como  $\overline{S\bar{A}M}$ . Esta distancia presentó un rango máximo de 11.01 mm y un mínimo de 4.31 mm, presentando una media de  $5.45 \pm 0.718$  mm. A nivel clínico sería la trayectoria ideal cuando el cuerno pulpar está por debajo de la UAC.

Respecto a la distancia registrada de perforación  $\overline{S\bar{M}FV}$ , durante la apertura endodóntica, en los casos en los que el cuerno pulpar está muy retraído (próximo a la UAC), se corre el riesgo de desviación en la trayectoria y perforar la raíz. La distancia desde el punto de apertura hasta la zona posible de perforación se ha obtenido un valor medio de  $12.58 \pm$

1.44 mm y un coeficiente de variación del 11%. A nivel clínico, si no se cambia la angulación del instrumento y continuamos penetrando más de 12 mm en línea recta durante el acceso cameral, se perforaría en la pared vestibular de la raíz.

La distancia desde el borde incisal al primer punto donde encontramos el cuerno pulpar se registró como  $\overline{SBL}$ , siendo la distancia media de  $6.17 \pm 1.11$  mm. Un máximo de 10.12 mm en el diente que presentaba la mayor retracción del cuerno pulpar, y un valor mínimo de 3.4 mm, en un paciente muy joven con una pulpa coronal muy alta hacia el borde incisal.

El ángulo para el acceso cameral, codificado con el siguiente acrónimo  $\widehat{SBAL}$ , representa la angulación con la que el instrumento de acceso tiene que penetrar por la cara palatina del diente para acceder a la cámara pulpar. Presenta una media de  $96.3^\circ \pm 17.866^\circ$ , siendo el máximo  $133.2^\circ$  y el mínimo  $48.97^\circ$ . En la Figura 26, imagen B, se muestra la representación del ángulo mediante un dibujo gráfico.

### **c) Resultados estudio plano coronal:**

En el plano coronal representado en la Figura 27. Los valores obtenidos se pueden observar en la Tabla 7. La medición  $\overline{CMMD}$ , que es la longitud mesiodistal de la corona en la unión amelocementaria es de  $6.22 \pm 0.52$  mm, con un valor mínimo de 4.8 mm y un máximo de 7.6 mm.

Respecto a la altura de la corona clínica, que es la distancia desde el borde incisal a la UAC o  $\overline{CBM}$ , se obtuvo una distancia media de  $8.64 \pm 1.23$  mm, con un mínimo de 6 mm y un máximo de 11.37 mm. A esta medida le incrementamos 3 mm en raíz y se obtuvo el valor de  $\overline{CBT}$ .

El borde incisal presentó una distancia mesiodistal de  $7.74 \pm 0.92$  mm, con un mínimo de 4.71 mm y un máximo de 12.34 mm.

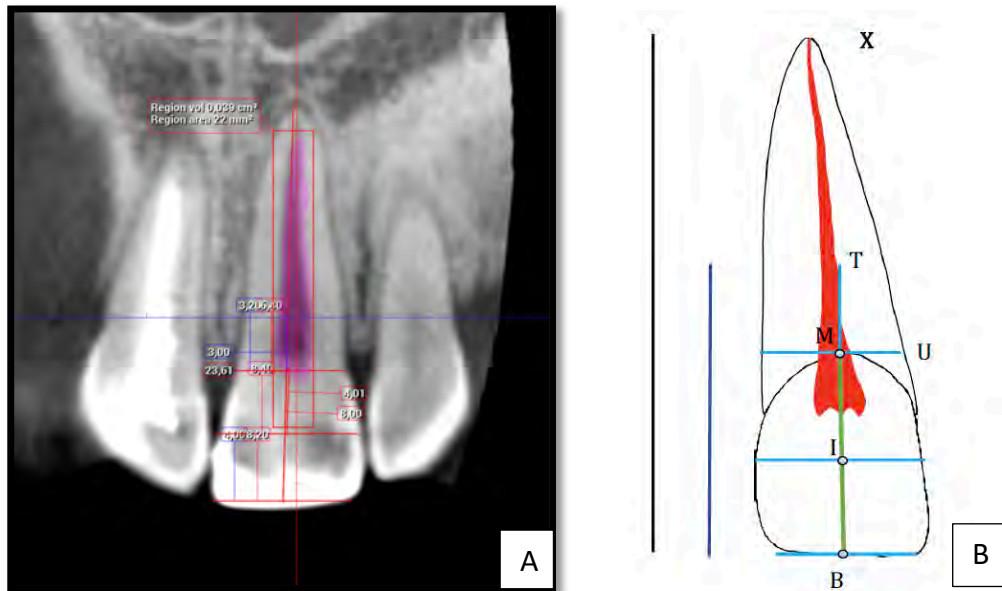


El tamaño mesiodistal de la corona en la mitad de ésta, es  $\overline{C\bar{I}MD}$ , presenta una longitud de  $8.00 \pm 0.59$  mm, con un valor mínimo de 6.5 mm y máximo de 9.6 mm.

Respecto a la longitud total del diente, el diente más corto midió 10.21 mm y el ICM más largo 27.68 mm, siendo la media de  $22.62 \pm 2.65$  mm.

	Media	Mediana	DS	Mínimo	Máximo	Percentiles		
						25	50	75
$\overline{C\bar{M}MD}$	6.227	6.15	0.528	4.8	7.6	5.8 5	6.15	6.6
$\overline{C\bar{B}M}$	8.64	8.61	1.232	6	11.37	7.6	8.61	9.6
$\overline{C\bar{B}T}$	11.631	11.61	1.245	9	14.37	10. 6	11.6 1	12.6
$\overline{C\bar{B}MD}$	7.747	7.8	0.927	4.71	12.34	7.2 1	7.8	8.32
$\overline{C\bar{I}MD}$	8.004	8	0.595	6.5	9.6	7.6 1	8	8.4
$\overline{C\bar{B}X}$	22.627	22.95	2.653	10.21	27.68	21. 2	22.9 5	24.4 5

Tabla 7: Valores obtenidos de las mediciones en el plano coronal.



Figuras 27: Mediciones coronales. A: Imagen coronal del CBCT de un ICM con todas las mediciones registradas; B: Dibujo representativo de las mismas mediciones.

#### d) Resultados estudio plano axial:

Las medidas en el plano axial fueron registradas en distintos puntos de la corona y de la raíz. En coronal las variables medidas en el borde incisal ( $B$ ) son dos:  $\overline{ABMD}$  y  $\overline{ABVP}$ ; en mitad de la corona clínica mesiodistal ( $I$ ) son cuatro:  $\overline{AIVP}$ ,  $\overline{AIMD}$ ,  $\overline{AIMDS}$ ,  $\overline{AIVPS}$ ; en el primer momento donde se encuentra el espacio pulpar coronal ( $L$ ) son cuatro:  $\overline{ALVP}$ ,  $\overline{ALMD}$ ,  $\overline{ALVPS}$ ,  $\overline{ALMDS}$ ; en ( $T$ ) que es la distancia registrada en el punto a 3 mm desde ( $U$ ) hacia apical, son cuatro:  $\overline{ATVP}$ ,  $\overline{ATMD}$ ,  $\overline{ATVPS}$ ,  $\overline{ATMDS}$ ; y por último, a nivel de la unión amelocementaria, zona que divide anatómicamente la corona de la raíz, se registraron cuatro distancias:  $\overline{AUVP}$ ,  $\overline{AUMD}$ ,  $\overline{AUVPS}$ ,  $\overline{AUMDS}$ . Estas medidas pueden observarse en la Tabla 8. En la Figura 28 se puede ver su representación gráfica, y en la Figura 29 dos ejemplos clínicos de cortes axiales de un CBCT.

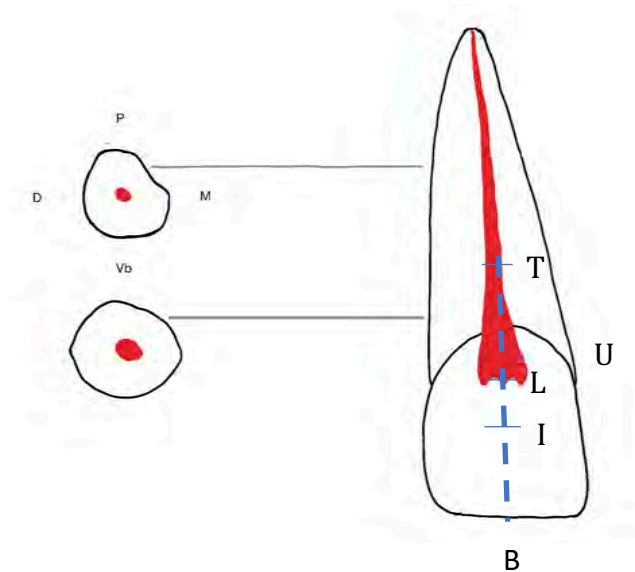


Figura 28: Dibujo representativo de las medidas axiales.

	Media	Mediana	DS	Mínimo	Máximo	Percentiles		
						25	50	75
<i>ABVP</i>	1.957	1.97	0.532	0.77	3.39	1.6	1.97	2.21
<i>ABMD</i>	7.985	8	1.225	5.6	18.6	7.33	8	8.41
<i>ALVP</i>	5.995	6.1	0.937	1.92	7.84	5.44	6.1	6.6
<i>ALMD</i>	7.279	7.37	0.868	5.25	9.13	6.6	7.37	7.95
<i>ALVPS</i>	0.766	0.7	0.516	0.15	5.56	0.5	0.7	0.9
<i>AIVP</i>	4.538	4.6	0.968	0.3	7	3.9	4.6	5.12
<i>AIMD</i>	7.988	8.04	0.788	2.85	9.71	7.6	8.04	8.48
<i>ALMDS</i>	1.903	1.81	0.854	0.4	7.82	1.36	1.81	2.4
<i>AUVP</i>	6.798	6.87	0.758	0.8	8.64	6.46	6.87	7.2
<i>AUMD</i>	6.130	6.13	0.711	1.4	7.68	5.76	6.13	6.57
<i>AUVPS</i>	1.413	1.3	0.609	0.64	6.4	1.06	1.3	1.65
<i>AUMDS</i>	1.915	1.92	0.542	0.6	5.6	1.6	1.92	2.2
<i>ATVP</i>	6.105	6.15	0.692	1.41	7.4	5.72	6.15	6.6
<i>ATMD</i>	5.590	5.45	0.663	3.8	7.2	5.1	5.45	6.08
<i>ATVPS</i>	1.537	1.45	0.471	0.6	2.9	1.2	1.45	1.81
<i>ATMDS</i>	1.470	1.4	0.433	0.8	2.55	1.13	1.4	1.76

Tabla 8: Valores obtenidos de las mediciones en el plano axial.

La distancia vestibulopalatina del borde incisal (*ABVP*) fue de media  $1.95 \pm 0.53$  mm, siendo el incisivo más estrecho de 0.77 mm y el de mayor grosor de 3.39 mm. La longitud mesiodistal (*ABMD*) fue de media  $7.98 \pm 1.22$  mm con un mínimo de 5.6 mm en el diente más estrecho y de 18.6 mm el diente más ancho.

En los valores registrados en el primer punto donde encontramos el cuerno pulpar, se registró la distancia mesiodistal y vestibulopalatina del conducto y de la corona. Siendo en el primero una distancia media de (*ALVP*)  $5.99 \pm 0.93$  mm un mínimo de 1.92 mm y máximo de 7.84 mm, y mesiodistalmente (*ALMD*) de  $7.27 \pm 0.86$  mm un mínimo de 5.25 mm y máximo 9.13 mm. Respecto al espacio pulpar, la distancia vestibulopalatina (*ALVPS*) media fue de  $0.76 \pm 0.51$  mm, con un mínimo de 0.15 mm y máximo de 5.56 mm. Está medida máxima, pertenece a un varón de 14 años, que sufrió un traumatismo 3 años antes jugando a baloncesto.

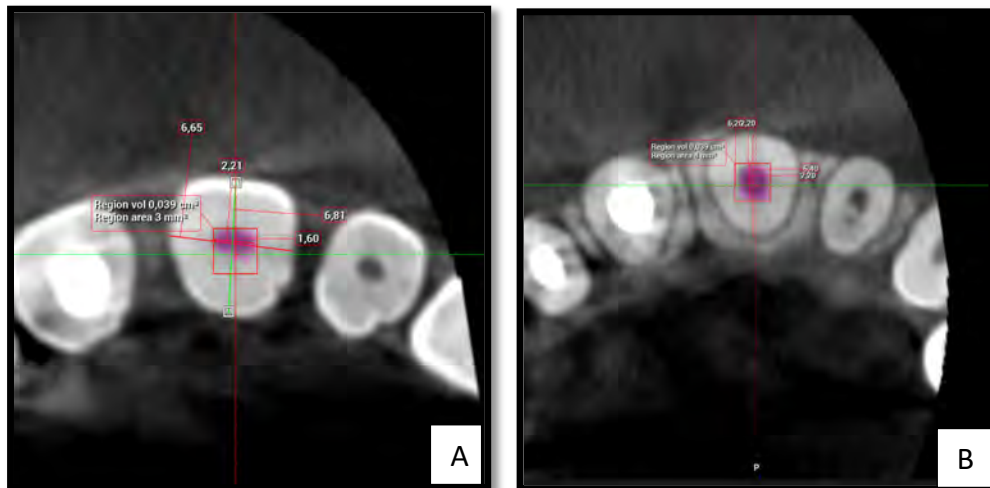


Figura 29: Imágenes de CBCT en el plano axial de un incisivo, donde se aprecia en rosa la pulpa. A. Mediciones coronales; B. Mediciones radiculares.

### 6.1.2 Estadística inferencial

Este apartado se va a dividir en ocho secciones. En primer lugar, se explicará la correlación entre las variables cuantitativas del estudio. En segundo lugar, la correlación con las variables sociodemográficas. En tercer lugar, la relación de la posición del diente en la arcada (derecho 1.1 e izquierdo 2.1) y las medidas obtenidas. En cuarto lugar, la edad del paciente con las medidas obtenidas. En quinto lugar, el sexo (hombre o mujer) con las medidas. En sexto lugar, la relación entre la presencia de bruxismo y las medidas obtenidas. En séptimo lugar, la relación de historia previa o no de ortodoncia con las medidas obtenidas y, por último, el octavo apartado donde explicaremos la correlación entre más de 2 variables.

#### 6.1.2.1 Correlación entre las variables cuantitativas del estudio

La asociación entre las variables cuantitativas del estudio se calculó a través de la prueba de correlación Spearman's Rho (RS), dado que no se cumplen las hipótesis de aplicabilidad para la correlación de Pearson. La Tabla 9 muestra las correlaciones estadísticamente significativas, cuyo p-valor es menor a un nivel de significación del 5%. El estadístico y p-valor de

todas las asociaciones entre todas las variables del estudio se puede encontrar de forma detallada en el Anexo 3.

Rho Spearman (p-valor) N=135	$\widehat{SMFV} (F)$	$\overline{SAL}$	$\overline{SBL}$
$\widehat{SBAL}$	-0.133 (0.123)	0.515 (<0.0001)	0.796 (<0.0001)
EDAD	-0.050 (0.567)	0.105 (0.226)	-0.381 (<0.0001)
VOL	0.065 (0.456)	-0.147 (0.089)	-0.240 (0.005)

Tabla 9: Resultados de la correlación entre las variables cuantitativas.

No existe relación entre ángulo  $\widehat{SBAL}$  y  $\widehat{SMFV} (F)$  (RS=-0.133, p-valor=0.123). En caso de que existiera, los resultados indican que la relación es inversa. A mayor ángulo de acceso mayor distancia habría que recorrer hasta perforar la pared vestibular a nivel radicular. Se obtuvo entre la variable  $\widehat{SBAL}$  y  $\overline{SBL}$  (distancia del borde incisal al cuerno) un valor de (RS=0.796, p-valor<0.0001), lo que nos indica una fuerte relación, es decir, a mayor ángulo mayor distancia del borde inicial al cuerno pulpar, o lo que es lo mismo, la pulpa está más lejos del borde incisal.

Si relacionamos el ángulo ( $\widehat{SBAL}$ ) con profundidad del acceso ( $\overline{SAL}$ ) (RS=0.515, p-valor<0.0001), el valor también es próximo a 1, por lo que la relación es directa, a mayor ángulo de acceso hacia el borde incisal, más distancia al cuerno pulpar desde el punto de acceso endodóntico.

Respecto a la relación del volumen pulpar y la distancia de  $B$  a  $L$ , se obtuvo que a mayor volumen menor distancia del borde incisal al cuerno pulpar ( $\overline{SBL}$ ). Y con la edad, existe una relación inversa (RS=-0.381, p-valor<0.0001), a mayor edad del paciente menor es la distancia del borde incisal al cuerno pulpar, este resultado contradice lo que clínicamente se observa, esto se puede deber a que la muestra del estudio es joven, presenta una edad media de  $41.20 \pm 13.97$  años.

En la Tabla 10, se muestran las relaciones entre distancia la distancia mesiodistal en  $I$  ( $\bar{C}IMD$ ) que es la anchura de la corona, con la variable  $M$  ( $\bar{C}MMD$ ) que está en la mitad de la UAC.

La longitud total del diente también se relacionó con la distancia mesiodistal en U ( $\bar{A}UMD$ ) y con la longitud total de la corona clínica  $\bar{C}BM$ .

Rho Spearman (p-valor) N=135	$\bar{C}MMD$	$\bar{C}B\bar{X}$
$\bar{C}IMD$	0.701 (<0.0001)	0.395 (<0.0001)
$\bar{A}UMD$	0.408 (<0.0001)	0.314 (<0.0001)
$\bar{C}BM$	0.034 (0.693)	0.463 (<0.0001)

Tabla 10: Resultados donde se compara la relación entre las variables coronales y la longitud total del diente.

A la luz de los resultados se observa que existe relación directa entre las variables  $\bar{C}IMD$  y  $\bar{C}MMD$  (RS=0.701, p-valor<0.0001), esto significa que cuanto más ancha mesiodistalmente es la mitad de corona clínica, más ancha mesiodistalmente es la raíz en la UAC.

Los resultados también indican que tiene relación directa  $\bar{C}IMD$  con la longitud total del diente  $\bar{C}B\bar{X}$  (RS=0.395, p-valor<0.0001), está también aumenta si la corona clínica lo hace.

La distancia mesiodistal en la unión amelocementaria es una referencia que se emplea a la hora de realizar un tratamiento de conductos en el acceso endodóntico, los resultados nos indican una relación con la longitud total del diente  $\bar{C}B\bar{X}$  (RS=0.314, p-valor<0.0001). Esto quiere decir que, a mayor longitud del diente, mayor longitud mesiodistal de la raíz en UAC.

En la Tabla 11 se encuentra un resumen del análisis en el plano axial de la relación del tamaño del diámetro vestibulopalatino y mesiodistal en  $L$ , en  $U$  y a 3 mm hacia apical. Las variables analizadas son  $A\bar{L}VPS$ ,  $A\bar{L}MDS$ ,  $A\bar{U}VPS$ ,  $A\bar{U}MDS$ ,  $A\bar{T}VPS$  y  $A\bar{T}MDS$ , y se incluye el p-valor obtenido en cada caso.

Rho Spearman (p-valor) N=135	$A\bar{L}VPS$	$A\bar{L}MDS$	$A\bar{U}VPS$	$A\bar{U}MDS$	$A\bar{T}VPS$	$A\bar{T}MDS$
$A\bar{L}VPS$	--	-0.569 (<0.0001)	0.034 (0.699)	-0.290 (0.001)	-0.178 (0.038)	-0.363 (<0.0001)
$A\bar{L}MDS$	-0.569 (<0.0001)	--	-0.080 (0.358)	0.524 (0.000)	0.414 (<0.0001)	0.601 (<0.0001)
$A\bar{U}VPS$	0.034 (0.699)	-0.080 (0.358)	--	-0.002 (0.978)	0.154 (0.074)	-0.125 (0.150)
$A\bar{U}MDS$	-0.290 (0.001)	0.524 (0.000)	-0.002 (0.978)	--	0.201 (0.020)	0.417 (<0.0001)
$A\bar{T}VPS$	-0.178 (0.038)	0.414 (<0.0001)	0.154 (0.074)	0.201 (0.020)	--	0.575 (<0.0001)
$A\bar{T}MDS$	-0.363 (<0.0001)	0.601 (<0.0001)	-0.125 (0.150)	0.417 (<0.0001)	0.575 (<0.0001)	--

Tabla 11: Resultados comparativos de las mediciones registradas en el plano axial. (--): no relación, ya que son las mismas variables.

Existe una relación inversa entre  $A\bar{L}MDS$  y  $A\bar{L}VPS$  con un RS=-0.569, p-valor<0.0001. Esto nos indica que el valor obtenido es estadísticamente significativo con un nivel 0.05, quiere decir que el conducto en los ICM a nivel del cuerno pulpar es más ancho mesiodistalmente que de vestibular a palatino.

Se obtuvo una relación directa entre las medidas estudiadas en  $L$ , que es el primer punto del cuerno pulpar, y  $U$ , que es el espacio pulpar en UAC, y las variables  $A\bar{L}MDS$  y  $A\bar{U}MDS$  (RS=0.524, p-valor <0.0001). Esto significa que la longitud mesiodistal de la pulpa en el cuerno pulpar aumenta proporcionalmente al tamaño de la pulpa en la unión amelocementaria, y a 3 mm hacia apical con la variable  $A\bar{T}VPS$  (RS=0.601, p-valor<0.0001). Estos datos indican que el diámetro mesiodistal del espacio pulpar

disminuye hacia la unión amelocementaria y hacia apical. Esto mismo sucede con la distancia vestibulopalatina, siendo un valor  $RS=0.414$ ,  $p\text{-valor}<0.0001$ .

No se observó relación alguna entre el espacio pulpar y las variables  $A\bar{U}VPS$  y  $A\bar{U}MDS$  ( $RS=-0.002$   $p\text{-valor}=0.978$ ), ni entre las variables en el primer punto del cuerno pulpar  $A\bar{L}VPS$  ni en la UAC  $A\bar{U}VPS$  ( $RS=0.03$ ,  $p\text{-valor}=0.699$ ).

#### **6.1.2.2 Correlación entre las mediciones obtenidas y las variables sociodemográficas**

Dado que la distribución de los datos para cada categoría no sigue una distribución normal, realizamos la prueba de la mediana para muestras independientes. Si conservamos la hipótesis nula, es decir,  $p\text{-valor}>0.05$  diremos que no existen diferencias significativas para la mediana de dicha variable entre las categorías de la variable categórica, y cuando el  $p\text{-valor}<0.05$ , diremos que sí existe relación entre las variables. Para obtener el grado de asociación entre ellas se realizó la prueba d-Cohen, que nos indica la potencia de la asociación.

Las variables presentes en las siguientes tablas son las sociodemográficas, cabe destacar que la edad es una variable cuantitativa y por ello se realiza la RS ( $p\text{-valor}$ ) a diferencia de las cualitativas en las que se realizó la prueba de la mediana y la d-Cohen. En apartados sucesivos se va a dar detalle del contenido de las tablas 12, 13 y 14, divididas según los planos de estudio sagital, coronal y axial.



N=135		<i>VOLU</i>	<i>SAM</i>	<i>SBL</i>	<i>SAL</i>	<i>SBUP</i>	<i>SMFV (F)</i>	<i>SBUP</i>	<i>SÜVP</i>
DIENTE	Mediana	0.001 (0.970)	0.193 (0.681)	0.009 (0.926)	0.079 (0.779)	0.169 (0.661)	4.031 (0.045)	0.050 (0.823)	0.877 (0.349)
	d-Cohen	0.015	0.015	0.062	0.249	0.091	0.143	0.148	0.037
EDAD	Rho Spearman (p-valor)	-0.474 (<0.0001)	-0.381 (<0.0001)	0.105 (0.226)	0.138 (0.111)	0.109 (0.210)	-0.050 (0.567)	-0.404 (<0.0001)	0.022 (0.800)
SEXO	Mediana	7.028 (0.008)	7.081 (0.008)	4.623 (0.032)	5.366 (0.021)	1.677 (0.195)	0.194 (0.660)	2.100 (0.147)	17.676 (<0.001)
	d-Cohen	0.419	0.446	0.300	0.599	0.222	0.024	0.395	0.950
BRUX	Mediana	1.660 (0.198)	3.921 (0.048)	1.251 (0.263)	0.066 (0.798)	3.913 (0.048)	2.148 (0.143)	2.134 (0.144)	0.005 (0.941)
	d-Cohen	0.413	0.323	0.128	0.057	0.372	0.203	0.424	0.044
ORTO	Mediana	7.560 (0.006)	1.819 (0.177)	0.566 (0.452)	0.022 (0.883)	0.002 (0.961)	0.428 (0.513)	2.095 (0.148)	3.231 (0.072)
	d-Cohen	0.948	0.283	0.037	0.007	0.171	0.125	0.467	0.076

Tabla 12: Resultados de la diferencia de medianas para la variable cuantitativa según las categorías de la cualitativa. A excepción de la edad donde se realiza la correlación entre las variables del plano sagital.

		$\overline{CBMD}$	$\overline{CBM}$	$\overline{CBX}$	$\overline{CMMD}$	$\overline{CIMD}$
DIENTE	Mediana(p-valor)	6.862 (0.09)	0.889 (0.346)	1.660 (0.198)	1.214 (0.271)	0.572 (0.449)
	d-Cohen	0.389	0.237	0.186	0.205	0.317
EDAD	Rho Spearman (p-valor)	0.011 (0.899)	-0.184 (0.033)	-0.114 (0.187)	-0.141 (0.102)	-0.213 (0.013)
SEXO	Mediana(p-valor)	2.070(0.150)	0.183 (0.669)	4.623 (0.032)	0.009 (0.924)	1.645 (0.200)
	d-Cohen	0.193	0.159	0.632	0.298	0.157
BRUX	Mediana(p-valor)	0.006 (0.936)	3.265 (0.071)	8.064 (0.005)	0.008 (0.930)	0.361(0.548)
	d-Cohen	0.049	0.357	0.403	0.047	0.010
ORTO	Mediana(p-valor)	3.869 (0.049)	0.002 (0.961)	0.002 (0.961)	0.300 (0.584)	4.623 (0.032)
	d-Cohen	0.306	0.129	0.036	0.103	0.253

Tabla 13: Resultados de la diferencia de medianas para la variable cuantitativa según las categorías de la cualitativa. A excepción de la edad donde se realiza la correlación entre las variables del plano coronal.

		<i>AŪMD</i>	<i>AŪVP</i>	<i>ABMD</i>	<i>AĪMD</i>	<i>AĪVP</i>	<i>AĪMD</i>	<i>AĪVPS</i>
DIENTE	Mediana (p-valor)	0.001 (0.970)	0.169 (0.681)	0.294 (0.588)	2.095 (0.148)	0.357(0.550)	0.889 (0.346)	0.064 (0.801)
	d-Cohen	0.228	0.263	0.308	0.216	0.011	0.165	0.169
EDAD	Rho Spearman. (p-valor)	-0.196 (0.023)	-0.226 (0.008)	0.054 (0.534)	-0.251 (0.003)	-0.065 (0.451)	-0.181 (0.036)	-0.315 (<0.0001)
SEXO	Mediana(p-valor)	2.612 (0.106)	0.062 (0.803)	0.003 (0.954)	0.062 (0.803)	27.569 (<0.001)	8.060 (0.005)	6.223 (0.13)
	d-Cohen	0.223	0.092	0.042	0.173	0.594	0.374	0.409
BRUX	Mediana(p-valor)	0.008 (0.928)	2.669 (0.102)	0.006 (0.936)	0.668 (0.798)	0.185 (0.667)	0.007 (0.932)	0.007 (0.932)
	d-Cohen	0.175	0.446	0.128	0.172	0.132	0.082	0.195
ORTO	Mediana(p-valor)	0.554 (0.457)	0.022 (0.883)	3.869 (0.049)	0.300 (0.584)	0.723 (0.395)	2.726 (0.099)	13.351 (<0.001)
	d-Cohen	0.105	0.053	0.026	<0.001	0.184	0.445	0.741

Tabla 14: Resultados de la diferencia de medianas para la variable cuantitativa según las categorías de la cualitativa. A excepción de la edad donde se realiza la correlación entre las variables del plano axial.

### **6.1.2.3      Respecto a la relación entre las mediciones obtenidas y la posición del diente en la arcada (derecho/izquierdo)**

Se observó la no relación entre la disposición del ICM, ya sea derecho o izquierdo, con las variables del plano sagital, coronal y axial (Tabla 12-14), excepto en la distancia del borde incisal en el plano coronal y la distancia mesiodistal en la unión amelocementaria en el plano axial, siendo mayor en el diente izquierdo (2.1). En el plano sagital, la distancia desde el punto medio en UAC a la zona de perforación es mayor en el diente derecho (1.1).

### **6.1.2.4      Relación entre las medidas obtenidas y la edad del paciente**

En la Tabla 12 podemos observar la relación entre la edad y la variable  $\overline{SBL}$ , que es la distancia del borde incisal al cuerno pulpar. Para ello se realizó la prueba Rho Spearman con un  $RS=0.105$ ,  $p\text{-valor}=0.226$ , esto significa que no hay relación entre la edad del paciente y la distancia desde el borde incisal al cuerno pulpar. Si existió relación significativa para el volumen pulpar,  $\overline{SAM}$  y la distancia palatina ( $\overline{SBUP}$ ), siendo en todas las variables una relación inversa, si aumenta la edad disminuye la variable.

Para el volumen pulpar ( $RS=-0.474$ ;  $p\text{-valor}<0.0001$ ), a mayor edad menor volumen. Respecto a la distancia desde el punto de acceso a mitad de unión amelocementaria en el plano sagital ( $\overline{SAM}$ ), ( $RS=-0.381$ ;  $p\text{-valor}<0.0001$ ), el valor obtenido nos informa de que a mayor edad del paciente menor distancia. Esto tiene relación con la variable ( $\overline{SBUP}$ ) que es la superficie palatina desde el borde incisal a la unión amelocementaria, se obtuvo un ( $RS=-0.404$ ;  $p\text{-valor}<0.0001$ ). Ambas variables a nivel clínico nos informan que los pacientes más mayores presentan mayor desgaste de la superficie palatina, y por tanto, la distancia desde el punto de acceso se reduce, en este tipo de pacientes se llega a apreciar la dentina expuesta, y en ocasiones se insinúa el cuerno pulpar.

El resto de las relaciones o no obtuvieron diferencias estadísticamente significativas o no presentaban relevancia clínica

#### **6.1.2.5 Relación entre las medidas obtenidas y el sexo**

En la Tabla 12 se observa la existencia de relación entre ser hombre o mujer y el volumen pulpar (prueba Mediana=7.028; p-valor=0.008), siendo más significativa para hombre (Mediana=0.017, RIC=0.01) que para mujer (Mediana= 0.012, RIC=0.006). Se concluiría diciendo que los hombres tienen mayor volumen pulpar que las mujeres.

La variable  $\overline{S\bar{UVP}}$ , tamaño vestibulopalatino en UAC, también está relacionada con el sexo. Los hombres tienen mayor longitud vestibulopalatina en la unión amelocementaria (Mediana=6.75, RIC=0.44) en el plano sagital que las mujeres (Mediana=6.4, RIC= 0.45), ya que la (prueba de la Mediana=17.676; p-valor<0.0001).

La variable  $\overline{S\bar{AM}}$ , que indica la distancia desde  $A$  a  $M$ , o distancia desde el punto de acceso del instrumento a la mitad de la UAC, también está relacionada con el sexo del paciente, se realizó (la prueba de la Mediana= 7.081; p-valor<0.008), siendo mayor en los hombres (Mediana= 5.63, RIC=0.84) que en las mujeres (Mediana=5.225, RIC=0.54).

Respecto a la profundidad de acceso endodóntico ( $\overline{S\bar{AL}}$ ) los hombres tienen mayor distancia desde el punto de acceso hasta el cuerno pulpar (Mediana=2.55, RIC=0.77) que las mujeres (Mediana=2.21, RIC=0.44), siendo la (prueba de la Mediana=5.366; p-valor< 0.032).

La distancia del borde incisal al cuerno pulpar ( $\overline{S\bar{BL}}$ ), también es mayor en los hombres (Mediana=6.3, RIC=1.68) que en las mujeres (Mediana=5.91, RIC=1.27), (prueba de la Mediana= 4.62; p-valor<0.032) (Tabla 12).

Respecto a la relación entre el sexo y el tamaño de la corona desde el borde incisal a UAC ( $\overline{C\bar{BM}}$ ), el tamaño mesiodistal en UAC ( $\overline{C\bar{MMD}}$ ) y la longitud

mesiodistal en el punto medio de la corona ( $C\bar{I}MD$ ), la prueba de mediana indica que no hay diferencias significativas ( $p$ -valor $>0.05$ ) (Tabla 13).

De entre las variables en el plano coronal, cabe resaltar la longitud total del ICM ( $C\bar{B}\bar{X}$ ). Al ser la (prueba de la Mediana=4.623;  $p$ -valor=0.032), aplicamos la prueba d-Cohen, que demuestra un tamaño de efecto medio con valor de 0.34, esto quiere decir, que hay diferencias significativas entre ser hombre o mujer y la longitud total del ICM. Esta relación es más significativa en hombres (Mediana=23.5, RIC=2.77) que en mujeres (Mediana=22.03, RIC=3.8), lo que nos indica que la longitud total de los dientes es mayor en hombres que en mujeres (Tabla 13).

Una medición de interés clínico en el plano axial sería la anchura vestibulopalatina en UAC ( $A\bar{U}VP$ ). Tras el análisis estadístico se observa que no existe relación con ser hombre o mujer (la prueba de la Mediana=0.062;  $p$ -valor=0.803).

#### **6.1.2.6 Relación entre las medidas obtenidas y la presencia de bruxismo**

En las Tablas 12-14 se observa en el plano sagital la no relación entre presentar bruxismo y la distancia del borde incisal al cuerno pulpar, el volumen pulpar, la longitud de la superficie palatina o la distancia vestibulopalatina en cervical. Por otro lado se observó como los pacientes que no sufrían bruxismo presentaban una mayor longitud total de los ICM ( $C\bar{B}\bar{X}$ ), siendo estas diferencias significativas (prueba de Mediana=8.064;  $p$ -valor $<0.005$ ), siendo mayor la mediana para la longitud total del ICM en aquellos que no sufrían bruxismo (Mediana=23.42, RIC= 3.14) respecto a los que sí (Mediana=22.35, RIC=3.28).

Finalmente, se trató de observar si la presencia o no de bruxismo tenía relación con algún rango de edad, es decir, si las consecuencias del bruxismo empeoraban con la edad. Para ello, la variable edad se dividió en 4 rangos: 14-29 años, 29-44 años, 44-59 años y 59-74 años (Tabla 15). Al

realizar la prueba de chi-cuadrado de Pearson con un nivel de significación de 0.05, el resultado obtenido ( $\chi^2=15.3$ ; p-valor=0.002) sí muestra relación entre las variables.

De todas formas, hay que tener en cuenta que las distintas franjas de edad no son comparables, ya que la muestra de cada grupo no es la misma en cada rango. Esto se debe a que nuestra muestra son mayoritariamente individuos jóvenes. Solo podrían compararse el grupo de 29 a 44 años y el de 44 a 59 años, en los que no se encuentran diferencias significativas al respecto de tener bruxismo. Sin embargo, se puede observar un aumento significativo entre las categorías 14-29 con 29-44 ( $Z=-4.19$ ; p-valor<0.001), y 14-29 con 44-59 ( $Z=-3.96$ ; p-valor<0.001).

Así, siguiendo los datos, se puede concluir que el bruxismo se incrementa con la edad, y que hay diferencias significativas en los grupos de 14 a 29 y los grupos de 29-44 y 44-59. Al comparar los rangos de edad entre 29-59 con el rango más jóvenes sí existe diferencia.

BRUXISMO			TOTAL
EDAD	N	S	
14-29	22	5	27
29-44	18	29	47
44-59	18	27	45
59-74	9	7	16
<b>TOTAL</b>	67	68	N=135

Tabla 15: Gráfica de distribución del bruxismo por rango de edad. Prueba de chi-cuadrado de Pearson significativo en el nivel .05 ( $\chi^2=15.3$ ; p-valor=0.002).

### 6.1.2.7 Relación entre las medidas obtenidas y la historia de ortodoncia

En la Tabla 12 se observa la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre el volumen pulpar y el haber llevado ortodoncia. El volumen pulpar fue mayor en aquellos pacientes que se habían tratado con ortodoncia (Mediana=0.019, RIC=0.015) respecto a los que no la habían llevado (Mediana=0.012, RIC=0.007). También se encontró relación entre haber sido portadores de ortodoncia y la distancia mesiodistal del borde incisal en el plano coronal (C $\bar{B}$ MD) (con una (Mediana=7.41, RIC=1.10) para los pacientes portadores y de una (Mediana=7.84, RIC=1.06) para los que no, siendo esta diferencia significativa (prueba de la Mediana=3.869; p-valor<0.049) (Tabla 13). En cuanto al plano axial (A $\bar{B}$ MD) se obtiene una (Mediana=7.69, RIC=0.87) para los portadores y de (Mediana=8.04, RIC=1.05) para los no portadores, siendo significativa la (prueba de la Mediana=3.869; p-valor<0.049) (Tabla 14).

### 6.1.2.8 Correlación para variables edad en relación con historia de ortodoncia, sexo y presencia de bruxismo.

En este apartado se estudió la correlación entre la edad del paciente y las variables ortodoncia, el sexo y la presencia o no de bruxismo en los pacientes (Tabla 16). Al ser más de tres variables y cumplirse la homocedasticidad y normalidad, se realizó prueba de ANOVA.

EDAD					MEDIA	DS	
ORTODONCIA	N	SEXO	H	BRUXISMO	N	37	15
					S	45	10
		M	BRUXISMO	N	48	12	
				S	46	12	
	S	SEXO	H	BRUXISMO	N	23	10
					S	30	12
		M	BRUXISMO	N	30	16	
				S	39	9	



Tabla 16: Resultados de la correlación entre las variables edad del paciente según las categorías de Sexo (H=Hombre, M=Mujer), Historia de ortodoncia previa (N=No, S=Si) y Bruxismo (N=No, S=Si).

Al hacer Anova con varios factores, se observó que si existía diferencia significativa entre la edad del paciente y el sexo ( $F=6.578$ ,  $p\text{-valor}=0.011$ ), la ortodoncia ( $F=25.426$ ,  $p\text{-valor}<0.001$ ) y el bruxismo ( $F=4.333$ ,  $p\text{-valor}=0.039$ ). Sin embargo, para la interacción de las tres variables ( $F=1.322$ ,  $p\text{-valor}=0.252$ ) no existe diferencia significativa en la edad entre las diferentes categorías que se crean.

De este análisis podemos concluir que los pacientes que llevan ortodoncia son más jóvenes, y que los diagnosticados de bruxismo son más mayores, siendo las mujeres las que más padecen esta patología.

## **6.2 Resultados estudio comparativo CBCT y micro-CT**

Los datos siguieron una distribución normal, tanto para micro-CT (KS Test,  $p=0.20$ ) como para el CBCT (KS Test,  $p=0.20$ ). Así mismo se cumplía la homocedasticidad ( $p=0.586$ ), es decir, las dos muestras presentan igualdad de varianzas.

El error intra-operador calculado alcanzó un valor de 0.183 para el primer operador y de 0.632 para el segundo, lo que indica una adecuada reproducibilidad. Además, la prueba test t-student para muestras pareadas obtuvo un valor de  $p\text{-valor}$  superior a 0.05 (siendo para el operador 1 de 0.375 y 0.330 para el operador 2), esto significa que no hay diferencias significativas entre los valores de medición en ninguno de los operadores (Tabla 17). El error inter-operador entre los operadores fue de 0.883. La prueba t de Student para pruebas pareadas obtuvo un  $p\text{-valor}$  de 0.074  $>0.05$ , lo que muestra que no hay diferencias significativas entre los valores de medición de los operadores 1 y 2 (Tabla 18).

Al comparar las medidas tomadas con CBCT y micro-CT, el error entre las herramientas de estudio es de 1.0061. Esto se calculó tomando los promedios de las mediciones obtenidas con CBCT por ambos operadores y comparándolas con las mediciones de micro-CT. La prueba t de Student para muestras pareadas obtuvo un p-valor de 0.520 siendo  $>0.05$ , lo que significa que no se identificaron diferencias estadísticamente significativas entre las mediciones de volumen pulpar CBCT y micro-CT (Tabla 19).

		Diferencias entre lecturas y distintos operadores					
		Media	DS	Error estándar de la media	95% confidence interval of the difference		P valor
					Mínimo	Máximo	
<b>Operador 1</b>	1ª Lectura CBCT-2ª Lectura CBCT	-0.200	1.215	0.222	-0.654	0.254	0.375
<b>Operador 2</b>	1ª Lectura CBCT-2ª Lectura CBCT	-0.200	0.894	0.222	-0.619	0.219	0.330

Tabla 17. Diferencias en las mediciones del operador 1 y operador 2.

	Comparación entre distintos operadores					
	Media	DS	Error estándar de la media	95% interval de confianza de la diferencia		P valor
				Mínimo	Máximo	
<b>Operador 1- Operador 2</b>	-0.350	0.828	0.185	-0.737	0.037	0.074

Tabla 18. Diferencias entre las medidas del operador 1 y 2.

	Comparación de diferentes herramientas					
	Media	DS	Error estandar de la media	95% confidence interval of the difference		P valor
				Mínimo	Máximo	
CBCT – micro-CT	0.108	0.674	0.164	-0.239	0.454	0.520

Tabla 19. Comparación de las medidas de volumen pulpar obtenidas de CBCT y micro-CT.

### 6.3 Caso de estudio Modelo predictivo

La endodoncia guiada es un tema de gran actualidad, cuyo objetivo es mejorar la planificación y la ejecución de los tratamientos de conductos. Actualmente ya se emplean guías estáticas en 3D aunque el objetivo final es conseguir un sistema dinámico.

Para el desarrollo del sistema de navegación dinámico se requiere del estudio anatómico de los dientes en profundidad, y los parámetros obtenidos para el acceso endodóntico nos pueden permitir construir un modelo predictivo que ayude en el desarrollo del sistema (155). Al tratarse de un sistema en desarrollo existen ciertos aspectos a mejorar como son su inestabilidad y movimiento del sensor que afecta gravemente a la precisión entre otros (153,155).

En el presente estudio, tras la necesidad de mejorar la precisión de los sistemas de navegación de endodoncia guiada, se midieron parámetros anatómicos relevantes que ayudasen a conseguir un acceso endodóntico predecible, como la profundidad de la trayectoria de acceso hasta llegar al cuerno pulpar ( $\overline{S\bar{A}L}$ ), el ángulo de inclinación del instrumento ( $\widehat{SB\bar{A}L}$ ) y un punto de acceso cameral ( $\widehat{SB\ddot{U}P}$ ). Se pretende crear un modelo que sea capaz de predecir las tres variables mencionadas, a través de los datos relacionados con el sujeto y las mediciones del propio diente.

A partir de aquí la redacción de este apartado se va a dividir en tres partes. Se iniciará con la explicación de la metodología que emplearemos para construir el modelo. Tras esto, se explicará el modelo, para finalmente validarlo. Cabe notar que se presenta una simulación con elementos de los que se han obtenido medidas reales, y nos permiten simular lo que ocurriría en dientes futuros, pero dado que son reales, ha servido para revalidar el modelo.

### **6.3.1 La Dinámica de Sistemas en Ciencias**

Cuando se tiene un conjunto de variables que tienen relación con un problema y permiten explicarlo, estamos ante un sistema. Este Sistema puede representarse a través de un diagrama causal (244) cuyos elementos son: a) elipses (variables del Sistema), b) flechas (relaciones entre variables o variables y problemas) y c) rectángulos (problema del sistema).

Existen diferentes metodologías para la determinación de las relaciones entre variables, pero en esta investigación se propone la Teoría General de Sistemas (249), que emplea el uso de metodologías de carácter transdisciplinar que permitan a los investigadores construir modelos matemáticos con los que resolver problemas en el ámbito de los sistemas complejos.

En el presente trabajo se determinan cuatro subsistemas que influyen sobre las variables objeto de estudio. Los subsistemas se determinan en la Figura 29 con cuatro colores: a) amarillo, las variables sociodemográficas, b) azul, las variables en el plano sagital, c) verde, las variables en el plano coronal, y d) naranja, las variables del plano axial.

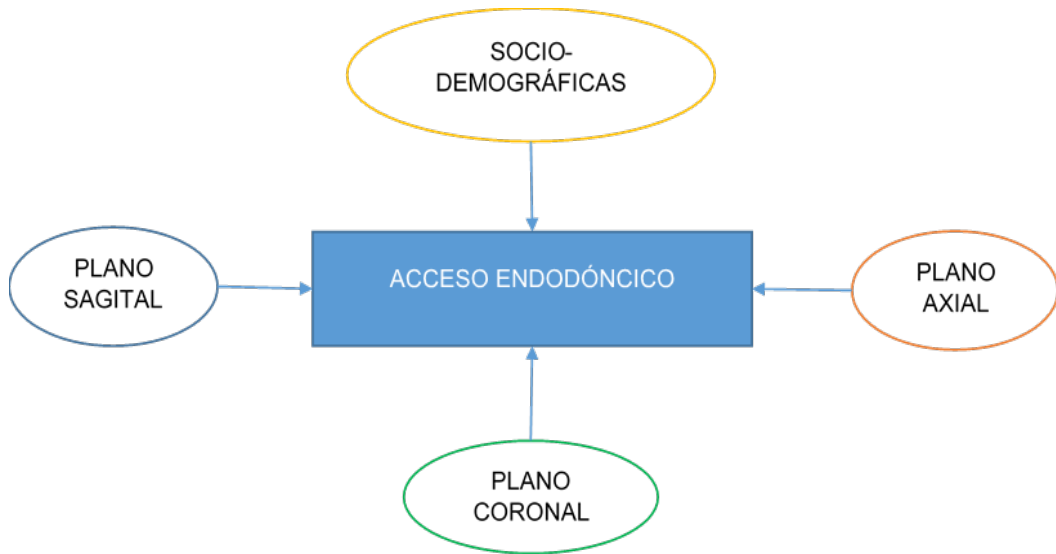


Figura 29. Esquema subsistemas que incluye el presente modelo. Cuatro subsistemas en ovalos, variable objeto de estudio en rectángulo.

El modelo matemático se construye a partir de la determinación de las relaciones existentes entre las variables de los subsistemas y las variables objetivo. Estas interrelaciones se presentan a través de funciones matemáticas que ajustan la tendencia de unas respecto a otras, pero la determinación de qué variables se encuentran en cada función se realizará a través de la obtención de correlaciones bivariadas.

Cabe notar que, debido a la dispar naturaleza de las variables involucradas en el estudio, todas se deberán normalizar para no tener problemas de magnitudes. Así, todos los valores pasan al intervalo [0, 1], para ello las nuevas variables calculadas se diseñan del siguiente modo,

$$var_{norm} = \frac{valor - \text{mínimo}}{\text{máximo} - \text{mínimo}}$$

Reseñar que únicamente se presentarán los valores máximos y mínimos de aquellas variables del estudio que quedan introducidas en el modelo matemático, y que estos han sido obtenidos de manera aproximada a través de la experimentación acontecida y realizada por odontólogos experimentados en el campo de la endodoncia.

Para obtener el mejor ajuste de los parámetros de las funciones encontradas, se ha hecho uso del programa de regresión no lineal de *Mathematica* 12.2. (250). Tras este ajuste, se ha utilizado la herramienta Regint (251) para obtener la información necesaria que no suministraba *Mathematica* 12.2, para a continuación introducir la información en el programa SIGEM (Sistema Inteligente Generador de Modelos). Ambos programas, Regint y SIGEM se tratan de programas libres creados por Antonio Caselles que se pueden obtener en (<http://www.uv.es/caselles/>). Se puede conseguir información completa en el libro publicado por Caselles (249) en 2008.

### 6.3.2 Modelo

Para obtener el diagrama causal, las correlaciones serán estudiadas por fases o niveles, siendo el primero el estudio con las variables que pretenden ser pronosticadas,  $\overline{SBUP}$ ,  $\overline{SAL}$ ,  $\widehat{SBAL}$  (véase Figura 30).

- $\overline{SBUP}$ : punto donde apoyamos el instrumento y se inicia el acceso cameral. Para ello, lo que se pronostica con el modelo es la distancia  $\overline{SBUP}$ , la cual se deberá dividir entre dos para obtener el punto referido.

Cabe notar que el punto  $\overline{SBUP}$  a pesar de que se trata de un punto en el espacio y debiera tener sus tres coordenadas (x, y, z), en este caso el instrumento de perforación deberá trazar la línea desde  $B$  hasta UAC palatino, marcando la distancia  $\overline{SBUP}$ , tal y como se muestran en la Figura 30, y el instrumento de perforación se situará en la mitad de dicho segmento, con el ángulo ( $\widehat{SBAL}$ ) y la profundidad ( $\overline{SAL}$ ) que delimitaremos a continuación.

- $\widehat{SBAL}$ : ángulo de inclinación del instrumento de acceso empleado, como una fresa o una punta de ultrasonidos.
- $\overline{SAL}$ : distancia hasta cuerno pulpar.



Figura 30: Representación de las variables objetivo.

Se toman como variables categóricas condicionantes las variables diente, sexo, ortodoncia y bruxismo. Se calculan las correlaciones (Rho Spearman test) que están sujetas a las cualitativas y se determinan las variables de los diferentes niveles. Todos estos datos se encuentran detallados en las hojas de Excel en el Anexo 3.

Vamos a dividir este apartado en dos. Primero determinaremos la asociación entre las variables objetivo y las variables del estudio, y en un segundo apartado desarrollaremos todas las ecuaciones predictoras.

### 6.3.2.1 Asociación entre las variables objetivo y las variables de estudio

Las variables objetivo ( $SBUP$ ,  $S\bar{A}L$  y  $S\widehat{B}AL$ ) correlacionan con todas las variables que se muestran en la Tabla 20. Es importante analizar su relación, ya que, sino existe intercorrelación dentro de la propia función matemática, el resultado obtenido no sería correcto. Un ejemplo de esta

situación sería  $\overline{S\dot{U}VP}$ , que no correlaciona con edad, (RS=0.118, p-valor= 0.181), por lo que podemos mantener las dos variables en el modelo. Sin embargo, si observamos el volumen ( $VOL$ ), vemos como sí correlaciona con  $\overline{S\dot{U}VP}$  (RS=0.211, p-valor= 0.016), por lo que no podemos mantener las dos en el nivel.

Con ello se facilita la comprensión del proceso realizado hasta crear el diagrama causal con todas las variables presentes en el Anexo 3.

$\overline{S\dot{A}L}$	$\overline{S\dot{B}\dot{U}P}$	$\overline{S\dot{B}\dot{A}L}$
EDAD	EDAD	EDAD
ÁREA	ÁREA	ÁREA
VOL	VOL	VOL
$\overline{S\dot{U}VP}$	$\overline{S\dot{U}VP}$	$\overline{S\dot{A}L}$
$\overline{S\dot{B}\dot{L}}$	$\overline{S\dot{A}\dot{M}}$	$\overline{S\dot{B}\dot{L}}$
$\overline{S\dot{B}\dot{A}\dot{L}}$	$\overline{S\dot{M}\dot{F}\dot{V}}$	$\overline{C\dot{B}\dot{X}}$
$\overline{C\dot{B}\dot{M}\dot{D}}$	$\overline{S\dot{B}\dot{L}}$	$\overline{A\dot{U}\dot{M}\dot{D}}$
$\overline{C\dot{B}\dot{M}}$	$\overline{C\dot{B}\dot{M}\dot{D}}$	$\overline{A\dot{U}\dot{V}\dot{P}}$
$\overline{C\dot{B}\dot{T}}$	$\overline{C\dot{M}\dot{M}\dot{D}}$	$\overline{A\dot{U}\dot{M}\dot{D}\dot{S}}$
$\overline{A\dot{B}\dot{V}\dot{P}}$	$\overline{C\dot{B}\dot{M}}$	$\overline{A\dot{L}\dot{V}\dot{P}}$
$\overline{A\dot{L}\dot{V}\dot{P}}$	$\overline{C\dot{I}\dot{M}\dot{D}}$	$\overline{A\dot{L}\dot{M}\dot{D}}$
$\overline{A\dot{L}\dot{M}\dot{D}}$	$\overline{C\dot{B}\dot{T}}$	$\overline{A\dot{L}\dot{V}\dot{P}\dot{S}}$
$\overline{A\dot{L}\dot{M}\dot{D}\dot{S}}$	$\overline{C\dot{B}\dot{X}}$	$\overline{A\dot{L}\dot{M}\dot{D}\dot{S}}$
	$\overline{A\dot{B}\dot{M}\dot{D}}$	$\overline{A\dot{T}\dot{V}\dot{P}}$
	$\overline{A\dot{I}\dot{M}\dot{D}}$	$\overline{A\dot{T}\dot{M}\dot{D}}$
	$\overline{A\dot{U}\dot{V}\dot{P}}$	$\overline{A\dot{T}\dot{V}\dot{P}\dot{S}}$
	$\overline{A\dot{U}\dot{M}\dot{D}}$	$\overline{A\dot{T}\dot{M}\dot{D}\dot{S}}$
	$\overline{A\dot{L}\dot{M}\dot{D}}$	
	$\overline{A\dot{L}\dot{M}\dot{D}\dot{S}}$	
	$\overline{A\dot{T}\dot{M}\dot{D}}$	
	$\overline{A\dot{T}\dot{V}\dot{P}\dot{S}}$	
	$\overline{A\dot{T}\dot{M}\dot{D}\dot{S}}$	

Tabla 20: Correlación tras análisis de todas las variables de la Tabla del Anexo 3.

Así, las variables que se determinan de primer nivel para la construcción del diagrama causal serían edad,  $\overline{S\dot{M}\dot{F}\dot{V}}$  ( $F$ ),  $\overline{S\dot{B}\dot{L}}$  y  $\overline{C\dot{B}\dot{X}}$ . Se puede decir que, revisando las tablas de Excel (Anexo 3), la variable  $\overline{S\dot{B}\dot{U}P}$  tiene relación con la edad (RS=-0.290, p-valor=0,001), con  $\overline{S\dot{M}\dot{F}\dot{V}}$  ( $F$ ) (RS=0.193,



p-valor=0.027), con  $\overline{SBL}$  (RS=0.249, p-valor=0.004) y  $\overline{CBX}$  (RS=0.563, p-valor<0.0001). La variable  $\overline{SAL}$  tiene relación con Edad (RS=0.313, p-valor<0.0001), con  $\overline{SBL}$  (RS=0.745, p-valor<0.0001), con  $\overline{SUV}$  (RS=0.178, p-valor=0.042). Y el ángulo  $\overline{SBAL}$  tiene relación con las variables  $\overline{SBL}$  (RS=0.814, p-valor<0.0001) y  $\overline{CBX}$  (RS=-0.221, p-valor=0.011).

Tras esto, se determinan las relaciones entre las tres variables obtenidas (la edad no será calculada por nadie, sino que entrará directamente como variable de entrada, doble elipse Figura 31), y las que no han resultado de la relación anterior o se han eliminado por correlacionar entre sí. Siendo  $\overline{CBX}$ , que presenta relación con las variables  $\overline{CBT}$  (RS= 0.393, p-valor<0.0001),  $\overline{SUV}$  (RC=0.375, p-valor<0.0001) y  $\overline{ALMDS}$  (RC=0.133, p-valor=0.131). Estas segundas, serán las llamadas variables de segundo nivel. Continuamos con  $\overline{CBT}$  que se relacionan con  $\overline{CBM}$  (RS=0.997, p-valor<0.0001), y  $\overline{SUV}$  con  $\overline{AIVP}$  (RS=0.253, p-valor=0.004) y  $\overline{CIMD}$  (RS=0.387, p-valor<0.0001) estas serán del tercer nivel. Así sucesivamente hasta que no se observen más relaciones o hasta que todas las variables estén presentes en el diagrama causal (véase Figura 31).

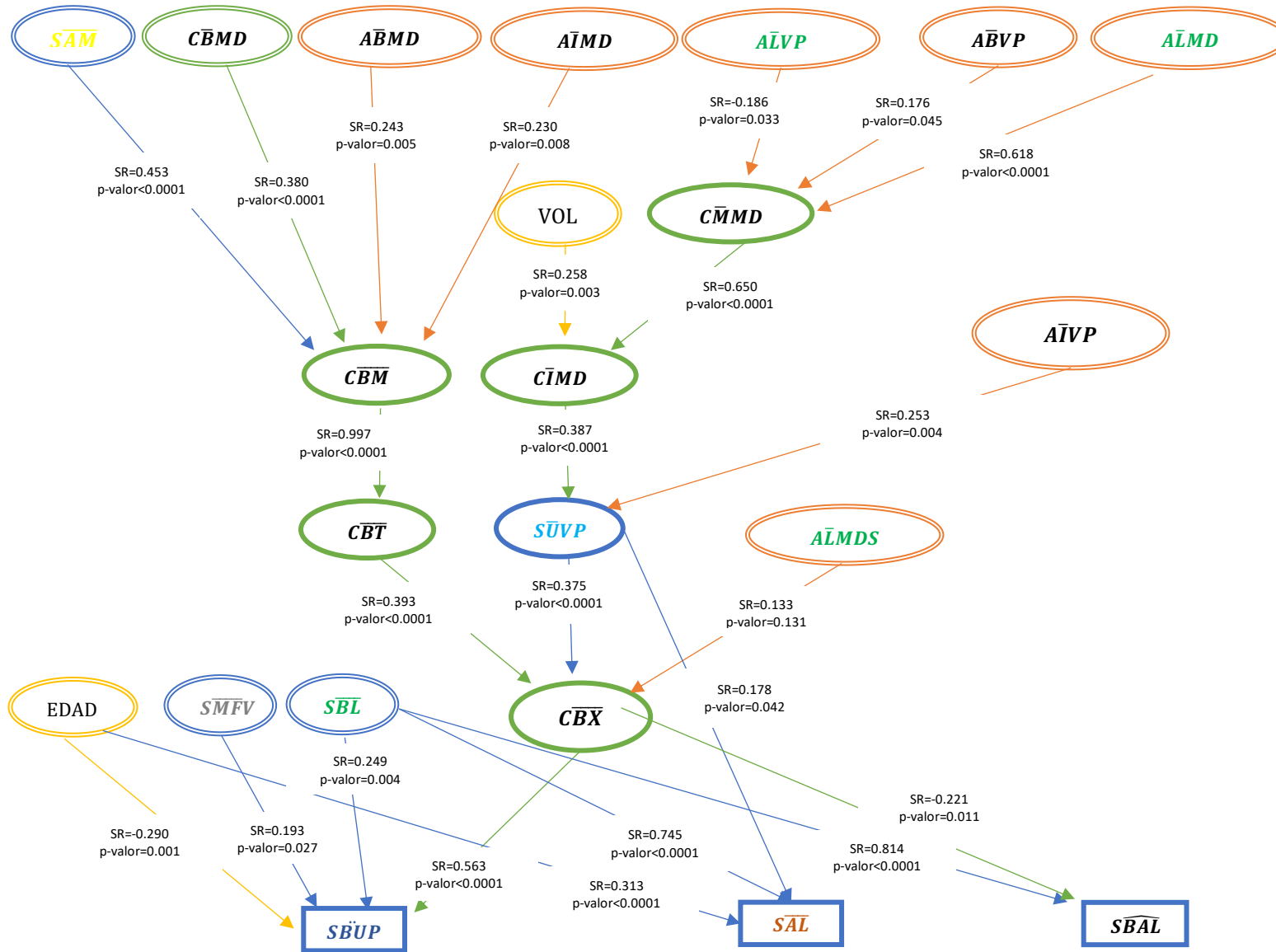


Figura 31: Representación del Diagrama causal.

Con un rectángulo se representan las variables objetivo ( $SB\ddot{U}P$ ,  $S\bar{A}L$  y  $S\bar{B}\bar{A}L$ ) que están relacionadas con el resto de las variables. Siguiendo el código de colores presentados en la Figura 29 se representan con elipses amarillas las variables demográficas, en azul las del plano sagital, en verde las del plano coronal y en naranja las del plano axial. Las que tienen doble elipse son las variables de entrada del modelo.

Tal y como se ha explicado en la metodología, las variables del modelo serán normalizadas siguiendo la Tabla 21. Los valores se han obtenido de manera aproximada a través de la experimentación acontecida y realizada por odontólogos experimentados en el campo de la endodoncia.

Variables del modelo	Valor mínimo	Valor máximo
$S\bar{A}L$	1	5
$S\bar{B}\bar{A}L$	20	180
$SB\ddot{U}P$	4	7
$SB\bar{U}P$	8	14
EDAD	5	100
$SMFV (F)$	4	12
$S\bar{U}VP$	5	8
VOLU	1	40
$S\bar{A}M$	4	12
$S\bar{B}L$	3	11
$C\bar{B}\bar{X}$	10	28
$C\bar{B}MD$	4	13
$C\bar{M}MD$	4	8
$C\bar{I}MD$	6	10
$C\bar{B}\bar{T}$	8	15
$C\bar{B}M$	5	12
$A\bar{B}VP$	0,1	4
$A\bar{B}MD$	5	19
$A\bar{I}VP$	0,5	7
$A\bar{I}MD$	2	10
$A\bar{L}VP$	1	8
$A\bar{L}MD$	5	10
$A\bar{L}VPS$	0,1	2
$A\bar{L}MDS$	0,1	8

Tabla 21: Valores máximos y mínimos de las variables del modelo. Las longitudes se midieron en mm, el ángulo en grados y el volumen en mm<sup>3</sup>.

### 6.3.2.2 Ecuaciones predictoras

Es importante tener en cuenta que el modelo que se presenta serviría únicamente para incisivos centrales maxilares, no para cualquier grupo dentario. Además, las funciones no presentan diferenciación entre diente superior derecho e izquierdo ya que no se presentaban diferencias estadísticamente significativas en los resultados entre ambos. La variable ortodoncia también fue eliminada de la ecuación al no afectar a las características del diente.

Todas las funciones se detallan a continuación. Las variables en negrita son variables de entrada del modelo y en la Figura 31 se representa con una doble elipse. Las primeras tres ecuaciones son las funciones matemáticas obtenidas para predecir cada una de las tres variables objetivo.

(1) PUNTO

$$SB\ddot{U}P = \frac{SB\bar{U}P}{2}$$

$$SB\bar{U}P = 0.097 - 0.031 \cdot sexo(h = 1; m = 0) - 0.001 \cdot bruxismo(n = 1; s = 0) - 0.445 \cdot edad + 0.336 \cdot S\bar{B}\bar{L} + 0.637 \cdot C\bar{B}\bar{X} + 0.007 \cdot S\bar{M}\bar{F}\bar{V}$$

$SB\ddot{U}P$  es el punto de acceso desde palatino, que se obtiene de  $SB\bar{U}P$ , siendo la mitad de la distancia de la superficie palatina iniciada en UAC. Los coeficientes obtenidos tienen una justificación teórica, respaldada por la literatura y la práctica en el campo. Respecto al sexo, se presupone que los hombres tienen mayor  $SB\bar{U}P$ , en nuestra muestra no existe diferencia significativa entre hombre y mujer (chi-cuadrado=2.100; p-valor=0.147). A pesar de esto, consideramos una variable importante a introducir en un

modelo de este tipo, y lo que se obtiene de nuestro estudio es que ser hombre reduce la variable en  $SBUP$  0.0093 (Tabla 22).

Del mismo modo ocurre con el bruxismo, no existe diferencia significativa (chi-cuadrado=2.134; p-valor=0.144), aunque la experiencia nos diga que no tener bruxismo implica mayor  $SBUP$ , en nuestro caso lo que ocurre es que el punto  $SBUP$  se reduciría en 0.003 mm (Tabla 22). Un incremento en un año en la edad, implicaría una reducción de 0.014 en el valor del punto  $SBUP$ , esto significa que se desgasta con la edad. Existe una relación directa entre  $SBUP$  y  $SBL$ , por lo que si aumenta  $SBL$  en una unidad, aumenta  $SBUP$  en 0.126. Respecto a  $CBX$ , la longitud total de diente se ve influenciada, esto significa que a mayor  $CBX$  mayor distancia, aumentando 0.106 por unidad de  $CBX$ , de la superficie palatina. Por último,  $SMFV$  es la distancia hasta la perforación en la raíz vestibular, a mayor  $SBUP$  mayor es la longitud que hay que recorrer hasta perforar la raíz, aumentándose en 0.003 por unidad de  $SMFV$ . Al deshacer la normalización, los incrementos o reducciones por unidad de cambio en cada una de las variables que intervienen en la ecuación de  $SBUP$  se indican en la siguiente Tabla 22.

	$SBUP$ (mm)
<i>SEXO</i>	-0.093
<i>BRUX</i>	-0.003
<i>EDAD</i>	-0.014
$SBL$	0.126
$CBX$	0.106
$SMFV$	0.003

Tabla 22. Distancia real que modifica el punto  $SBUP$  en un cambio de 1mm en las variables  $SBL$ ,  $CBX$  y  $SMFV$ , de 1 año en la *edad* y siendo 1 en *sexo* y *brux*.

Tal y como se observa en la Tabla 23, se trata de un modelo correcto para la predicción de  $SBUP$ . Se calcularon distintos coeficientes para cuantificar el grado de ajuste entre los datos medidos y los resultados del modelo. Los

valores obtenidos para esta ecuación son buenos, ya que los valores se aproximan a 1, esto quiere decir que el modelo tiene un buen ajuste (W) y una buena capacidad predictora (NS). Estos coeficientes muestran que se trata de un modelo correcto para la predicción de  $\overline{SBÜP}$ .

Para  $\overline{SBÜP}$  muestra un ajuste (W=0.705) y una capacidad predictora (NS=0.385).

Para  $\overline{SÄL}$  muestra un ajuste (W=0.833) y una capacidad predictora (NS=0.561).

Para  $\overline{SBÄL}$  muestra un ajuste (W=0.870) y una capacidad predictora (NS=0.628).

	$\overline{SBÜP}$	$\overline{SÄL}$	$\overline{SBÄL}$
R <sup>2</sup>	0.429	0.609	0.688
R	0.654	0.780	0.829
Eficiencia del modelo (NS)	0.385	0.561	0.628
Índice de ajuste modificado(W)	0.705	0.833	0.870
RMSE/MAE	1.180	1.314	1.239

Tabla 23: Los coeficientes empleados en el modelo. Resultados numéricos del modelo matemático

## (2) PROFUNDIDAD

$$\overline{SÄL} = -0.082 + 0.042 \cdot \text{sexo}(h = 1; m = 0) - 0.014 \cdot \text{bruxismo}(n = 1; s = 0) + 0.132 \cdot \text{edad} + 0.160 \cdot \overline{SÜVP} + 0.761 \cdot \overline{SBÄL}$$

Respecto al genero (sexo), los hombres tienen mayor  $\overline{SÄL}$  (el diente es de mayor tamaño). El no tener bruxismo implica mayor  $\overline{SÄL}$ , ya que el diente no se ve tan afectado por el desgaste superficial. A mayor edad más  $\overline{SÄL}$ , y mayor retracción de la pulpa. A mayor  $\overline{SÜVP}$  (distancia en la unión amelocementaria de vestibular a palatino) mayor  $\overline{SÄL}$ . Respecto a  $\overline{SBÄL}$ , si aumenta también lo hace  $\overline{SÄL}$ , porque ambos dependen del cuerno pulpar.

Respecto al sexo, los hombres tienen mayor  $\overline{SAL}$ , es decir, la distancia desde el punto de acceso  $\overline{SBUP}$  hasta el cuerno pulpar es mayor, exactamente 0.168 mm. Se explica porque las coronas de los hombres son de mayor tamaño. Se presupone que no tener bruxismo implica una mayor distancia de acceso al cuerno pulpar, en nuestra muestra no existe diferencias significativas en cuanto a tener o no bruxismo (chi-cuadrado=0.066; p-valor=0.798), a pesar de esto consideramos que la variable bruxismo debe de estar reflejada en el modelo predictivo. Lo que se obtiene en nuestro estudio es que no tener bruxismo, disminuye en 0.056 la variable  $\overline{SAL}$ . A mayor edad del paciente más profundidad ( $\overline{SAL}$ ), por cada año de edad incrementado la distancia para llegar a la pulpa se incrementa en 0.006, por lo que hay una mayor retracción de la pulpa. Así mismo por cada 1 mm que se incremente  $\overline{SUV}$  o  $\overline{SBL}$  se obtiene que la profundidad incrementa en 0.213 y 0.381, respectivamente (Tabla 24).

	$\overline{SAL}$ (mm)
SEXO	0.168
BRUX	-0.056
EDAD	0.006
$\overline{SUV}$	0.213
$\overline{SBL}$	0.381

Tabla 24: Distancia real que modifica  $\overline{SAL}$  en un cambio de 1mm en las variables  $\overline{SUV}$  y  $\overline{SBL}$ , de 1 año en edad y siendo 1 en sexo y brux.

Tal y como se observa en la Tabla 23, para la variable  $\overline{SAL}$ , se muestra un ajuste  $W=0.833$ , una capacidad predictora  $NS=0.561$  y un coeficiente de determinación  $R^2=0.609$ .

### (3) ÁNGULO DE ACCESO

$$\widehat{SBAL} = 0.220 - 0.019 \cdot \text{sexo}(h = 1; m = 0) - 0.011 \cdot \text{bruxismo}(n = 1; s = 0) + 0.814 \cdot \overline{SBL} - 0.246 \cdot \overline{CBX}$$

Ser hombre hace que el ángulo de acceso sea menor, se reduce exactamente  $0.076^\circ$ , esto significa que la pulpa esta en una posición más

alta. Del mismo modo, el ángulo disminuye en  $0.044^\circ$  si el paciente es bruxista. Existe una relación directa entre el  $\widehat{SBAL}$  y  $\overline{SBL}$ , si aumenta la distancia desde el borde incisal al techo de la cámara pupar en 1 mm esto implica un aumento en la abertura de  $0.407^\circ$ . Esto quiere decir que el cuerno se retrae y durante el acceso el instrumento hay que inclinarlo más hacia el borde incisal. Por último, existe relación inversa entre el ángulo y la longitud total, esto significa que si aumenta  $\overline{CBX}$  en 1mm el ángulo ( $\widehat{SBAL}$ ) disminuye en  $0.055^\circ$ , es decir, el cuerno pulpar está más alto hacia el borde incisal, por lo que el ángulo de acceso disminuye. Los valores exactos en los que se ve el ángulo en cada una de las variables se presentan en la Tabla 25.

	$\widehat{SBAL} (^\circ)$
SEXO	-0.076
BRUX	-0.044
$\overline{SBL}$	0.407
$\overline{CBX}$	-0.055

Tabla 25: Ángulo en grados reales que modifica  $\widehat{SBAL}$  en un cambio de 1mm en las variables  $\overline{SBL}$  y  $\overline{CBX}$  y siendo 1 en sexo y brux.

Tal y como se observa en la Tabla 25, para la variable  $\widehat{SBAL}$ , se muestra un ajuste  $W=0.870$ , con una capacidad predictora  $NS=0.628$  y un coeficiente de determinación bueno  $R^2=0.688$ .

A continuación, se describen el resto de las funciones presentes en el estudio.

#### (4) $\overline{CBX}$

$$\overline{CBX} = 0.325 + 0.037 \cdot \text{sexo}(h = 1; m = 0) + 0.042 \cdot \text{bruxismo}(n = 1; s = 0) + 0.329 \cdot \overline{SUV P} + 0.264 \cdot \overline{CBT} + 0.135 \cdot \overline{ALMDS}$$

Ser hombre implica mayor longitud total del diente  $\overline{CBX}$ .

Respecto a padecer bruxismo el paciente, en la ecuación nos indica mayor longitud del diente, este resultado se puede ver sesgado por no presentar patología avanzada al ser una muestra en general joven. Existe una relación directa con la variable  $\overline{SUV P}$ . Si éste aumenta, implica mayor longitud del diente y mayor  $\overline{CBT}$ .



La variable  $\overline{ALMDS}$  es la longitud mesiodistal del espacio pulpar en el primer punto del cuerno pulpar y está directamente relacionada con  $\overline{CBX}$ . Si el diente es más largo, el conducto es más ancho, esto se debe a las proporciones anatómicas.

(5)  $\overline{SÜVP}$

$$\overline{SÜVP} = 0.107 + 0.424 \cdot \overline{CİMD} + 0.297 \cdot \overline{AİVP}$$

Existe una relación directa entre  $\overline{SÜVP}$  y la variable  $\overline{CİMD}$  (anchura mesiodistal en la mitad de la corona), es decir que, si la distancia de vestibular a palatino en la UAC aumenta, la distancia mediodistal de la corona es mayor. Y lo mismo con la variable  $\overline{AİVP}$ , que también aumenta. Hay que recalcar que  $\overline{CİMD}$  y  $\overline{AİVP}$  son medidos en el mismo punto aunque en distinto plano. La primera variable se registra en el plano frontal y la segunda, en el plano axial.

(6)  $\overline{CBT}$

$$\overline{CBT} = -0.005 + 1.008 \cdot \overline{CBM}$$

La variable  $\overline{CBM}$  se mide en el plano frontal, y es la distancia desde el borde incisal a la UAC. El aumento de ésta implica el aumento de la distancia de  $\overline{CBT}$ , que se registra desde el borde incisal pasando por la UAC hasta 3 mm hacia apical. Esto indica que, a mayor longitud de la corona, mayor es la distancia hasta la zona de riesgo de perforación.

(7)  $\overline{CİMD}$

$$\overline{CİMD} = 0.064 + 0.121 \cdot vol + 0.707 \cdot \overline{CİMD}$$

Si el volumen pulpar aumenta, la variable  $\overline{CİMD}$  aumenta, es decir, la corona del diente es más ancha mesiodistalmente en la mitad coronal. De la misma forma, si  $\overline{CİMD}$  (longitud mesiodistal en UAC) aumenta, también lo hace la variable  $\overline{CİMD}$ . Esta relación es directamente

proporcional, lo que quiere decir que si mesiodistalmente aumenta la distancia en UAC, también lo hace en la mitad de la corona.

(8)  $\overline{C\bar{M}MD}$

$$\overline{C\bar{M}MD} = 0.130 + 0.149 \cdot \overline{A\bar{B}VP} + 0.535 \cdot \overline{A\bar{L}MD} + 0.157 \cdot \overline{A\bar{L}VP}$$

Mayor longitud mesiodistal en UAC ( $\overline{C\bar{M}MD}$ ) implica mayor distancia en el borde incisal de vestibular a palatino.

A mayor longitud mesiodistal en UAC ( $\overline{C\bar{M}MD}$ ) mayor diámetro mesiodistal ( $\overline{A\bar{L}VP}$ ) y vestibulopalatino ( $\overline{A\bar{L}VP}$ ) en el primer punto donde encuentra el cuerno pulpar.

(9)  $\overline{C\bar{B}M}$

$$\overline{C\bar{B}M} = 0.127 + 0.765 \cdot \overline{S\bar{A}M} + 0.508 \cdot \overline{C\bar{B}MD} + 0.137 \cdot \overline{A\bar{B}MD} + 0.017 \cdot \overline{A\bar{I}MD}$$

La variable  $\overline{C\bar{B}M}$  es la distancia coronal desde el borde incisal a la UAC, y está directamente relacionada con  $\overline{S\bar{A}M}$ ,  $\overline{C\bar{B}MD}$  y  $\overline{A\bar{B}MD}$ . Esto quiere decir que si aumenta la longitud de la corona, también aumenta  $\overline{S\bar{A}M}$  y la longitud mesiodistal del borde incisal en coronal y en el plano axial. Al igual que con la variable  $\overline{A\bar{I}MD}$ , que coincide con la variable coronal  $\overline{C\bar{I}MD}$ .

Por economía y evitar el error acumulado (véase apartado 6.2.3), se decidió que únicamente nos quedaríamos con las funciones que pronostican las variables objetivo de nuestro trabajo (1), (2) y (3), las de  $\overline{S\bar{B}\ddot{U}P} = \overline{S\bar{B}\ddot{U}P}/2$ ,  $\overline{S\bar{A}\bar{L}}$  y  $\overline{S\bar{B}\bar{A}\bar{L}}$ .

Para facilitar su uso a nivel clínico, se ha reducido el diagrama (Figura 31), que se presenta a continuación (Figura 32).

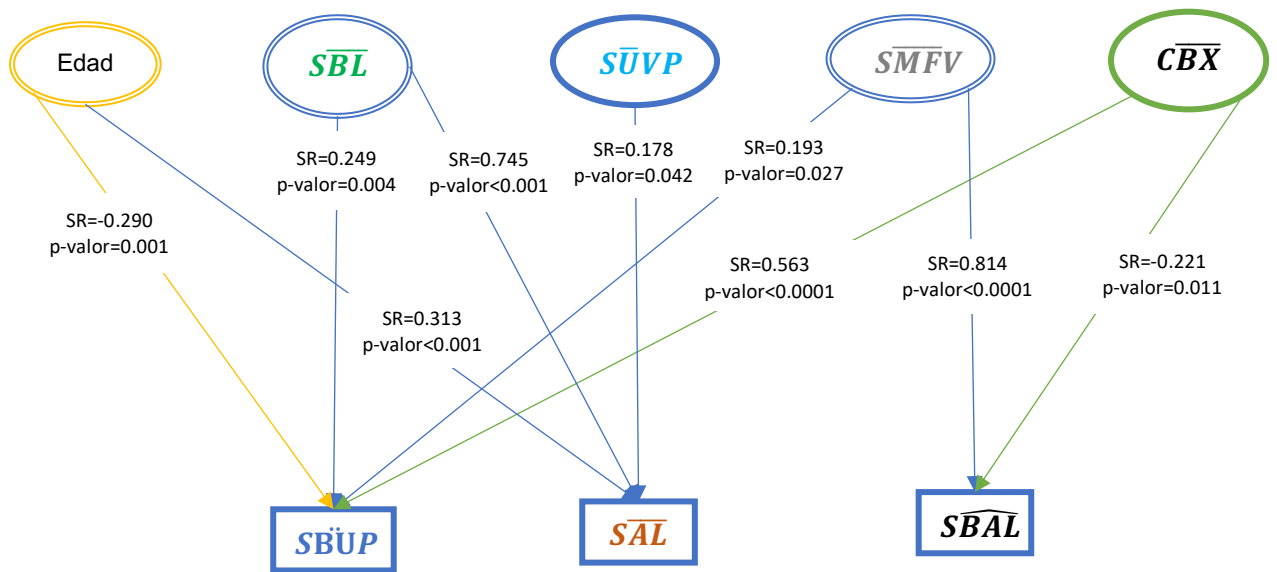


Figura 32. Diagrama causal reducido.

Tras esto, decir que a nivel clínico el modelo es muy cómodo de usar, pues aun sin tener mucha habilidad en la herramienta empleada (CBCT), el odontólogo puede realizar fácilmente las 4 mediciones necesarias para predecir el punto de acceso, la profundidad y el ángulo de entrada, veáse el dibujo en la Figura 33, imagen B y C.

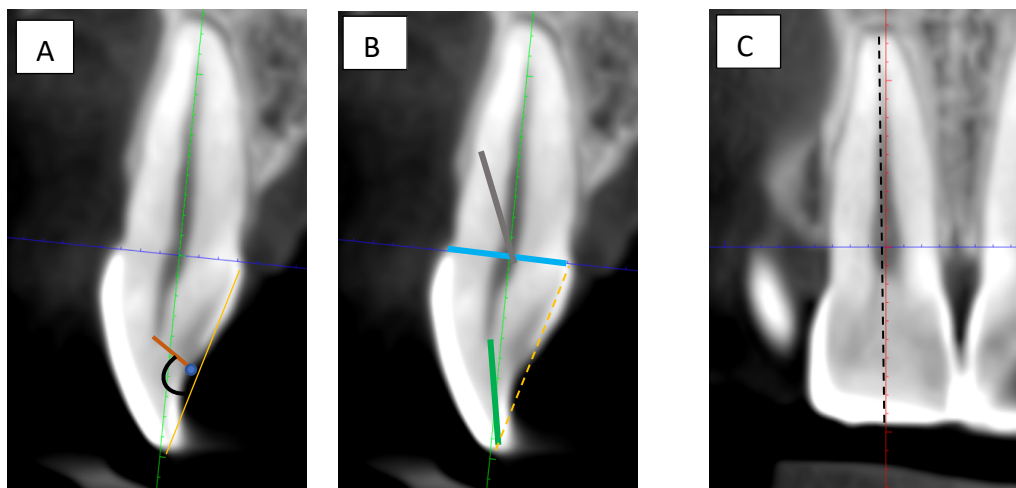


Figura 33: Cortes de CBCT de un ICM. El eje coronal se representa con una línea roja perpendicular a la UAC y al borde incisal. El eje axial aparece como una línea azul en la UAC. El eje sagital se representa con una línea verde. A: Variables objetivo ( $S\bar{A}L$ - $S\bar{B}\bar{A}L$ - $S\bar{B}\bar{U}P$ ); B: Variables de entrada en el plano sagital ( $S\bar{B}L$ - $S\bar{U}VP$ - $S\bar{M}FV$ ); C: Variables de entrada en el plano coronal ( $C\bar{B}\bar{X}$ : longitud total del diente, línea discontinua negra).

### 6.3.3 Validación

La validación del modelo se obtendrá con los mismos 135 dientes ICM, ya que nos permite a su vez obtener el error acumulado cuando se utilizan todas las funciones obtenidas.

Arreglo a la teoría, la Tabla 23 muestra los valores obtenidos para este modelo, indica que se trata de un modelo correcto para su predicción, con todo el conjunto de ecuaciones.

Los resultados de nuestro modelo revelan que el modelo predice con mayor exactitud el ángulo de acceso (NS=0.628), seguido de la profundidad del acceso (NS=0.561) y el punto de acceso el valor de menor exactitud (NS=0.385). Como se comenta en el apartado 6.3.2.2 en la explicación de las ecuaciones predictoras del modelo, por economía temporal y de trabajo clínico, se reduce de las nueve ecuaciones empleadas en el modelo a tres, estas son las funciones que pronostican las tres variables objetivo. Las variables incluidas en estas tres ecuaciones se reflejan de forma más esquemática en la Figura 32.

Además, para probar si son validas y tienen capacidad predictora, se obtienen 18 nuevos incisivos centrales maxilares de una población valenciana, de los que se miden únicamente las variables necesarias para determinar las tres primeras funciones (ver Tabla 26).

Para la validación del modelo se tuvieron que dar las siguientes tres condiciones,

- Buena superposición gráfica de los valores reales y los simulados por el modelo (Figura 34, 35 y 36).
- Alto coeficiente de determinación, de correlación, eficiencia del modelo, índice de ajuste modificado y RMSE/MAE (Tabla 27).
- Los errores relativos (ER) menores del 10%.

Paciente	SEXO	EDAD	BRUXISMO	$\overline{SBL}$	$\overline{SÜVP}$	$\overline{CBX}$	$\overline{SMFV}$
1	H	29	S	8,3	7	24,6	9,05
2	M	44	S	5,6	6,4	18,72	6,99
3	M	71	S	6,3	6,6	25,9	7,69
4	H	34	N	6,73	6,7	22,71	8,41
5	H	69	N	7,4	6,71	22,5	8,32
6	M	53	S	6,65	6,2	18,61	6,55
7	H	16	N	5,2	6,6	24,4	5,92
8	M	63	N	6,64	6,15	23,11	5,57
9	H	48	S	8,4	6,9	25,5	7,5
10	H	35	N	6,31	6,6	20,31	6,6
11	M	48	N	5,85	5,9	22,12	6,1
12	H	23	N	7,06	6,46	24,4	7,71
13	M	52	N	4,5	6,1	22,8	7,03
14	H	18	N	6,3	7,2	25,95	7,51
15	M	33	S	6,33	6,51	21,63	8
16	M	62	S	5,32	6,4	21,6	7,3
17	H	68	N	7,6	6,2	20,9	7,5
18	H	42	S	6	6,8	22,6	6,8

Tabla 26. Variables de entrada (N=18 pacientes). Sexo: H=1, M=0; Bruxismo: Si=0, No=1.)

	$\overline{SBÜP}$	$\overline{SÄL}$	$\overline{SBAL}$
<b>R<sup>2</sup></b>	0,6917	0,7678	0,9230
<b>R</b>	0,8317	0,8762	0,9607
<b>Eficiencia del modelo (NS)</b>	0,6573	0,7272	0,9987
<b>Índice de ajuste modificado (W)</b>	0,9084	0,9223	0,9997
<b>RMSE/MAE</b>	1,1985	1,1972	1,3656

Tabla 27: Coeficientes empleados para validar el modelo, resultados numéricos del modelo matemático.

Estos datos nos permiten realizar una simulación del modelo. Las columnas 5, 6 y 7 (Tabla 28) son los valores de las variables a pronosticar.

Paciente	<b>SBÜP</b> Modelo	<b>SAL</b> Modelo	<b>SBAL</b> Modelo	<b>SBÜP</b> CBCT	<b>SAL</b> CBCT	<b>SBAL</b> CBCT
1	12,18	3,42	120,30	11,98	3,33	119
2	10,01	2,18	97,50	10,2	2	98,01
3	10,95	2,64	94,00	11,2	2,37	95,2
4	11,24	2,73	101,46	10,83	2,62	102,52
5	10,38	3,18	110,69	9,6	3,5	115,73
6	9,99	2,58	111,58	10,4	1,89	106,17
7	11,70	2,02	78,22	11,51	2,41	79,39
8	10,66	2,57	102,03	10,37	2,37	111,82
9	11,86	3,54	120,02	11,31	3,63	118,33
10	10,58	2,55	100,17	11,26	2,46	102,77
11	10,67	2,13	93,34	11,72	1,86	100,1
12	11,98	2,74	102,82	12,3	2,6	101
13	10,37	1,68	74,27	10,85	2	76,1
14	12,26	2,58	90,01	12,62	2,18	87,05
15	11,12	2,42	101,98	10,97	2,34	101,95
16	10,05	2,17	88,68	10,32	1,98	87,92
17	10,11	3,14	116,18	10,3	3	114,99
18	10,80	2,57	93,43	10,8	2,4	96,01

Tabla 28. Resultados de las tres variables objetivo: Columna 1-2-3 resultados del modelo. Columna 4-5-6 Nuevos resultados de los 18 pacientes.

Dado que se trata de dientes reales, el endodoncista, midió a su vez los valores reales de **SBÜP**, **SAL** y **SBAL** (Tabla 28), y con esto se determinó una validación del modelo, utilizando únicamente las 3 primeras funciones. Se observa gráficamente un ajuste perfecto (Figura 34, 35 y 36) entre el valor real y el pronosticado, lo que viene acompañado, numéricamente (Tabla 27), por los mismos parámetros utilizados anteriormente (Tabla 28). Cabe resaltar nuevamente que el instrumento tomará la distancia pronosticada, **SBÜP**, para poder iniciar la perforación en su punto medio **SBÜP**.

Se puede determinar que el modelo tiene un ajuste perfecto entre el valor real y el pronosticado, lo que viene acompañado numéricamente de la Tabla 27. Para la variable **SBÜP**, es decir, la distancia para calcular el punto de acceso tiene un valor de  $W=0.908$ . Para la variable **SAL**, que es la profundidad de acceso hasta llegar al cuerno pulpar, es de  $W=0.922$ . Y para

la variable  $\overline{SBAL}$ , el ángulo con el que instrumento de corte accede, muestra una  $W=0.999$ . Todos los valores se aproximan a 1.

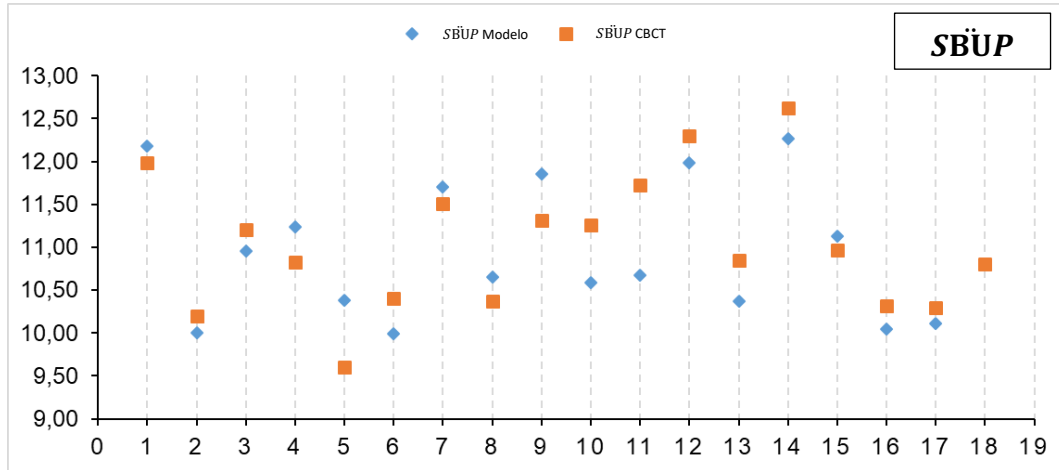


Figura 34. Validación del modelo matemático ( $R^2=0.691$ ,  $r=0.831$ ,  $ER<8.96\%$ ). Cuadrado naranja: grupo validación, rombo azul: simulación variable punto de acceso  $\overline{SBUP} = \overline{SBUP}/2$ . En el eje Y: Resultados obtenidos de la variable. En el eje X: Pacientes evaluados.

La variable  $\overline{SAL}$ , que es la profundidad de acceso hasta llegar al cuerno pulpar, presenta un valor de  $W=0.922$ .

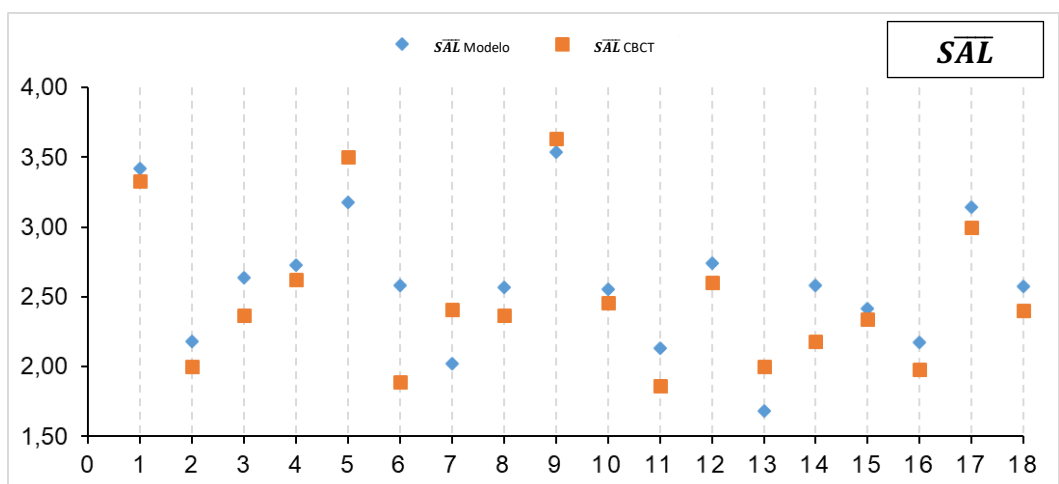


Figura 35. Validación modelo matemático ( $R^2=0.767$ ,  $r=0.876$ ,  $ER<8.71\%$ ). Cuadrado naranja: grupo validación, rombo azul: simulación variable profundidad

de acceso  $\widehat{S\bar{A}L}$ . En el eje Y: Resultados obtenidos de la variable. En el eje X: Pacientes evaluados.

El ángulo con el que instrumento de corte accede, representado por la variable  $\widehat{S\bar{B}A\bar{L}}$ , muestra una  $W=0.999$ . Este valor está muy próximo a 1, lo que nos indica que el modelo presenta un ajuste perfecto.

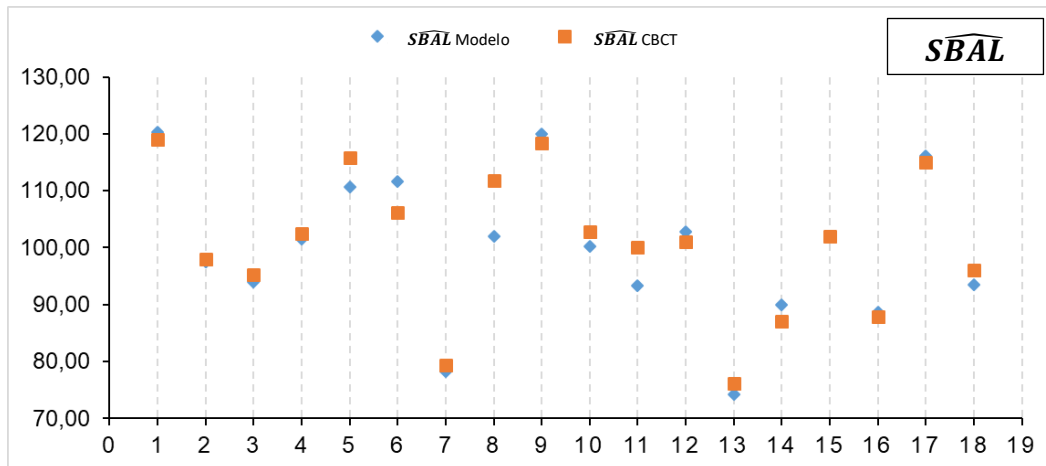


Figura 36. Validación del modelo matemático ( $R^2=0.767$ ,  $r=0.876$ ,  $ER<8.76\%$ ). Cuadrado naranja: grupo validación, rombo azul: simulación variable ángulo de acceso  $\widehat{S\bar{B}A\bar{L}}$ . En el eje Y: Resultados obtenidos de la variable. En el eje X: Pacientes evaluados.



## **DISCUSIÓN**



## 7. DISCUSIÓN

### 7.1 Discusión del estudio anatómico del ICM

En el presente trabajo se seleccionó el incisivo central maxilar por ser el diente que menos variaciones anatómicas presenta (3,85,102,252), al igual que hicieron otros estudios similares en diferentes poblaciones como la turca, americana y asiática (66,252-254). Por otro lado, la herramienta empleada fue el CBCT. Esta metodología ya fue utilizada con anterioridad en los estudios de Kim y cols. y Choi y cols. (256,258), mientras que otros autores realizaron las mediciones sobre incisivos extraídos (259) o sobre modelos de escayola (257,260-262).

A la hora de comparar los datos obtenidos en este estudio con otros, hay que tener en cuenta que, aunque las muestras según el sexo son similares en número, no son equiparables en cuanto a la edad. El rango de edad más frecuente fue el de 29 a 44 años y el menor el de 59 a 74 años, por lo que nuestra muestra es joven. Así pues, nuestra muestra consistió en ICM de pacientes predominantemente jóvenes y fue estudiada a partir de los CBCT tomados en la clínica por motivos no relacionados con el estudio.

En el presente estudio se observa como el conducto del ICM no tiene la forma cónica establecida como normal, sino que es más ancho mesiodistal que vestibulopalatinamente a lo largo de la porción coronal y tercio medio de la raíz. Este dato es comparable con lo descrito por Mueller (103). En cuanto al volumen pulpar medio de nuestra muestra de estudio, fue de 15.13 mm<sup>3</sup>, siendo el de menor volumen el de una persona de rango de edad entre 59 y 74 años, y el de mayor (39 mm<sup>3</sup>) el de un niño de 14 años que sufrió un traumatismo. Se observa como el volumen pulpar disminuye con la edad. No se han hallado otros artículos que también estudien el volumen pulpar medio, sólo que revisen el tamaño del conducto en el plano axial (116).

Un punto de referencia anatómica importante a registrar en el presente estudio fue la unión amelocementaria, al igual que hicieron autores como Magne y cols. en 2003 (259). Estos autores describen la alta variabilidad que existe al seleccionar otro punto como podría ser el nivel gingival, ya que éste se ve influenciado por factores que pueden causar retracción gingival o situaciones como la erupción pasiva. Además, Krasner y cols. (32) afirman que la unión amelocementaria es la referencia anatómica más consistente y fiable, independientemente de la corona clínica, del desgaste o la extensión de la restauración, y que debería emplearse como guía en el acceso endodóntico.

En el plano sagital se registraron las siguientes medidas de interés clínico: la distancia del borde incisal a UAC en palatino (media de  $10.9 \pm 0.98$  mm); la longitud de UAC de vestibular a palatino (media de  $6.55 \pm 0.46$  mm), esta última de gran interés a la hora de seleccionar el tamaño de la fresa emplear en el acceso endodóntico; la distancia desde el punto de acceso hasta la mitad de la unión amelocementaria ( $5.45 \pm 0.718$  mm); la distancia a la perforación radicular (media de  $7.12 \pm 1.213$  mm) y la distancia total en la trayectoria desde el punto de acceso hasta la perforación en vestibular de la raíz (media de 12.58 mm).

Pocos son los estudios que miden este tipo de puntos clave de referencia anatómicos relacionados con la morfología de la cámara pulpar en los dientes anteriores. Tras revisar la literatura científica se encuentran dos artículos que registran las distancias de acceso desde la cúspide a la cámara pulpar en molares (108) y premolares (106). Solo Lee y cols. (109) estudian los ICM pero, a diferencia de en nuestro estudio, la herramienta que se empleó fue la radiografía digital. Aun siendo distinto el método, los resultados que obtuvieron fueron similares a los nuestros. La distancia desde la superficie palatina hasta la cámara pulpar, también considerada la profundidad del acceso endodóntico a UAC, obtuvo una media de  $5.4 \pm$

0.4 mm, siendo la nuestra  $5.45 \pm 0.71$  mm. La distancia media de la superficie palatina fue de 11 mm, muy similar a nuestro estudio que fue  $10.97 \pm 0.98$  mm. Y la distancia a la perforación en la pared vestibular desde la mitad de UAC presentó una media de  $8.2 \pm 1.5$  mm, en nuestro estudio se obtuvo una distancia de  $7.12 \pm 1.21$  mm.

En este plano sagital también se estudió el diseño de acceso cavitario ideal. Consideramos, al igual que Krapez y cols. (263) que el acceso lingual convencional es el más adecuado, ya que permite la correcta desinfección del tejido, conserva la estructura dentaria y no afecta estéticamente como el acceso incisal en línea recta (264). A diferencia de los estudios de Sarvaiya y cols. (134) y Mannan y cols. (133) que, tras comparar los distintos accesos sobre la eficacia de la instrumentación y la resistencia a la fractura, concluyeron afirmando que el acceso en línea recta incisivolingual era el más adecuado, aunque el de menor resistencia.

En el plano coronal se estudiaron las proporciones del ICM, es decir, la relación entre la altura y el ancho de la corona, que sugiere la forma relativa del diente. Una proporción alta significa que los dientes tienen una forma más cuadrada, mientras que si es baja, la forma es más alargada. En nuestro estudio, realizado sobre una población española, el promedio de la ratio alto-ancho coronal fue de  $0.9 \pm 0.13$ , similar a los obtenidos en otros trabajos (183,257, 260, 266). Las dimensiones coronales son sutilmente más largas que anchas, pero los valores son muy próximos, por lo que nuestra muestra presenta una forma bastante cuadrada, a diferencia de lo obtenido en otros estudios que informan de valores inferiores (267,268), y que nos indica una apariencia más alargada de los ICM (Anexo 4).

En el plano axial se registró el diámetro del espacio pulpar en UAC, siendo su media de  $1.91 \pm 0.54$  mm para pacientes con un rango de edad de entre 14 y 74 años. Du y cols. (116) mostraron resultados similares a los de nuestro estudio en una muestra con un rango de edad de 15 a 80 años. La distancia del espacio pulpar en UAC iba desde un mínimo de  $1.00 \pm 0.12$

mm, en las personas de mayor edad, a un diámetro máximo de  $2.04 \pm 0.37$  mm en las más jóvenes. Estos resultados muestran la disminución gradual del diámetro del espacio pulpar, es decir, que la pulpa en este punto se reduce con el aumento de la edad. No pudimos comparar los resultados de nuestro estudio con las otras dos medidas en el tercio medio de la raíz y apical registradas por Du, por no coincidir los puntos de medición en la raíz. Cabe destacar que ellos emplean como herramienta de medición las radiografías dentales, por ser un método simple y de bajo coste, pero al mismo tiempo, como ellos expresan, presenta limitaciones, pues no registran diámetros mesiodistales de la pulpa coronal, sólo radicular en relación a UAC y al ápice radiográfico. El motivo es que en la sección transversal la corona de los incisivos tiene forma de media luna, pudiendo fácilmente registrarse errores al mediar el ancho, pues no es completamente paralela a la película radiográfica en el plano mesiodistal. En nuestro estudio, al utilizar CBCT no nos encontramos esta limitación.

El sexo, la simetría entre el lado derecho e izquierdo y la etnia del paciente, son factores que pueden influir en las dimensiones de los ICM.

Nuestro estudio revela la existencia de relación entre las mediciones obtenidas y la edad del paciente. A mayor edad, menor es la distancia desde el punto de acceso a mitad de la unión amelocementaria y el volumen pulpar, esto puede deberse a que la superficie palatina se desgasta con la edad y de mayor forma en los pacientes con bruxismo. No se encontró literatura al respecto.

En la literatura existe controversia al relacionar el sexo con el tamaño de la corona del ICM. Algunos artículos afirman que no hay relación entre ser hombre y mujer y el tamaño coronal (183,262,265,269), mientras que otros en cambio obtienen resultados opuestos (255,256,267,270-274). El motivo de esta discrepancia puede deberse a diferencias en la metodología de los estudios. En nuestro trabajo algunas variables sí presentan diferencias en relación al sexo, mientras que otras no.

Entre los datos obtenidos se aprecia cómo los hombres con respecto a las mujeres tienen un mayor volumen pulpar, una longitud de la unión amelocementaria en el plano sagital mayor de vestibular a palatino, una mayor profundidad en el acceso endodóntico, una mayor distancia desde el borde incisal al cuerno pulpar y una mayor longitud total de los ICM. Estos resultados coinciden con los descritos por Mavrouloufis y cols. (275), Hasanreisoglu y cols. (255), Santoro y cols. (273) y Strerrett y cols. (271) cuando afirman que los hombres tienen los ICM más ancho y largos que las mujeres, al igual que la cara; los hombres tienen las caras más grandes por lo que sus dientes presentan mayores dimensiones. En el estudio de Kim y cols. (256) en una población joven coreana con un rango de 16 a 30 años, las proporciones también eran mayores en los hombres que en las mujeres, sin embargo, la relación corona/raíz no presentó diferencias estadísticamente significativas. Las medidas registradas en nuestro estudio también nos informan de la no existencia de relación entre ser hombre o mujer y la altura desde el borde incisal a la unión amelocementaria, el ancho cervical y el ancho en el punto medio mesiodistal de la corona.

Respecto a la relación entre las mediciones y la presencia de bruxismo, los resultados revelaron la no existencia de relación excepto en la longitud total del diente. En el presente estudio se obtuvo que los pacientes que no sufrían bruxismo presentaban una mayor longitud del ICM. Cabe destacar que nuestra muestra es joven y que en el estudio nos basamos en los datos aportados por la historia clínica, sin realizar nosotros el diagnóstico clínico de esta patología, por lo que puede existir un sesgo o error en la fiabilidad de este dato.

Lo que sí podemos extraer de nuestra muestra es que el bruxismo se incrementa con la edad, encontrado diferencias significativas al comparar los grupos de edad más jóvenes (14 a 24 años) con los grupos de 29 a 44 y de 44 a 59 años. Estos datos se extraen del estudio de las correlaciones, pero deben valorarse con cuidado, ya que la muestra no son homogéneas por rango de edad.

De entre las medidas registradas en nuestro estudio con respecto a la ortodoncia, se puede observar como la distancia mesiodistal del borde incisal es mayor en los pacientes que no han llevado ortodoncia comparado con los que sí han sido portadores. Este resultado puede deberse a un procedimiento clínico que en ocasiones se realiza durante el tratamiento llamado stripping. Este dato por otro lado no presenta relevancia clínica. Podemos concluir afirmando que los pacientes que presentaron historia de ortodoncia eran más jóvenes, y que los pacientes diagnosticados de bruxismo eran más mayores, apareciendo con mayor frecuencia en mujeres. En la revisión realizada de la literatura no se ha encontrado ningún autor que haya realizado esta comparación

## **7.2 Discusión del estudio comparativo CBCT y micro-CT**

La medición del volumen de la pulpa es de interés para estimar la edad cronológica de un ser humano vivo o fallecido. Según el grupo de edad de los sujetos pueden usarse métodos diferentes. En personas de hasta 24 años, la edad se puede estimar sobre la base de la erupción y el grado de desarrollo dental. Pero una vez que ha tenido lugar la maduración del tercer molar en la edad adulta, esto se vuelve mucho más complejo (242). Una de las características que se pueden investigar para determinar la edad es la disminución del tamaño de la cavidad pulpar. La dentina secundaria se deposita en las paredes de la cavidad pulpar a lo largo de la vida de un individuo, reduciendo su tamaño (48), por lo que el volumen pulpar es indicativo de la edad en adultos (89).

La medición del volumen pulpar también es útil en endodoncia. El examen del conducto radicular y el cálculo del volumen pulpar brindan información complementaria útil para la selección de limas autoajustables (SAF), que deben adaptarse a la forma del conducto radicular en tres dimensiones (89). La determinación del volumen pulpar también facilitaría las secuencias operativas endodónticas a la hora de elegir el tipo más adecuado de obturación radicular o en la endodoncia guiada.



Tras comparar las medidas de volumen pulpar obtenidas mediante CBCT y micro-CT para confirmar la precisión de la tomografía computarizada de haz cónico para medir esta variable, los resultados no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre las dos técnicas de medición, por lo que se puede suponer que el CBCT logra una alta precisión y reproducibilidad al calcular el volumen pulpar *ex vivo*. Hasta donde sabemos, la literatura no incluye ningún estudio que haya realizado esta comparación.

El micro-CT fue la técnica de referencia para el estudio interno de la anatomía dental, debido a su alta precisión al estudiar estructuras de pequeño volumen (278,279). Actualmente, el uso de micro-CT se considera crucial en los estudios que evalúan la precisión de las medidas obtenidas con CBCT (280).

Aunque estudios recientes han recomendado el uso del CBCT para evaluar los conductos radiculares (59,281), la literatura también describe imprecisiones en sus mediciones. Entre los investigadores que se han propuesto validar el CBCT como herramienta de medición, el grupo de Celikten y cols. (90) estudió la distorsión volumétrica en 30 incisivos inferiores con tratamientos de conductos, y compararon las medidas tomadas de micro-CT y CBCT con un tamaño de vóxel de 200  $\mu\text{m}$ . Se concluyó que había diferencias entre los dos conjuntos de medidas y que las del CBCT generaban medidas más grandes. Además, se encontraron diferencias entre los diferentes tipos de CBCT, siendo mayores para el ProMax 3D Max<sup>®</sup> (Planmeca Inc, Roselle, IL, USA) que con NewTom VGi evo (NewTom, Verona, Italia) (90).

Esto podría deberse a la presencia de materiales intraconducto de alta densidad que podría disminuir la calidad de la imagen. Así se observa en el estudio de Møller y cols. que comparó los espacios existentes en los conductos obturados con gutapercha mediante imágenes de CBCT y micro-CT. Los resultados indican que se encontraron falsos positivos en las

imágenes CBCT, por lo que los autores no recomiendan la herramienta CBCT para evaluar la calidad de la obturación de los conductos radiculares (282). En el presente estudio, los conductos estaban intactos, por lo que se reduce la cantidad de artefactos que podrían afectar a la precisión de las mediciones.

Por otro lado, este trabajo presenta algunas limitaciones. El tamaño de la muestra es pequeño ( $n=30$ ), debido al alto coste del escaneado con micro-CT. Sin embargo, aunque la muestra no fue grande, el número de especímenes se basó en el estudio previo de Domark y cols. (7) y de Grande y cols. (283), quienes estudiaron 27 molares y 30 premolares respectivamente mediante CBCT y micro-CT.

También hay que tener en cuenta, que el estudio se realizó *ex vivo*, lo que podría hacer que las mediciones volumétricas mediante CBCT de los pacientes sean más imprecisas debido a la superposición de estructuras y al movimiento potencial del paciente (284). Además, hay que señalar que las mediciones sólo se realizaron con un tipo de unidad de CBCT (ProMax 3D Max<sup>®</sup>) y que los resultados podrían ser diferentes con otras marcas. La obtención del volumen pulpar de nuestro estudio mediante el software propio del CBCT fue posible por su tecnología avanzada. Otros CBCT como el NewTow VGi EVO<sup>®</sup> y el KODAK 9500 3D<sup>®</sup>, no disponen de una herramienta similar. Un objetivo futuro sería poder realizar cálculos en distintos dispositivos y poder compararlos.

En el estudio se utilizaron incisivos centrales superiores al igual que en el de Porto y cols. (241), ya que son más cortos que los caninos, tienen cámaras pulpares más anchas que los incisivos inferiores y su anatomía radicular es más sencilla que la de los premolares y molares. Las medidas volumétricas de los dientes multirradiculares podrían ser menos precisa.

El tamaño del vóxel es otro parámetro que se puede modificar y que influye directamente en la precisión de la medición. Maret y cols. en 2012 escanearon 70 dientes, tomando medidas de volumen con CBCT con tres

tamaños del vóxel distintos (200,300 y 74  $\mu\text{m}$ ) y un micro-CT (41  $\mu\text{m}$ ). Concluyeron afirmando que con un tamaño de vóxel de 300  $\mu\text{m}$ , las medidas eran significativamente más pequeñas (89). En 2014, Maret y cols. (285) también compararon las medidas geométricas entre 37 reconstrucciones dentales utilizando CBCT con distintos tamaños de vóxel y micro-CT. Las imágenes se colocaron en el mismo plano y las diferencias se identificaron mediante un mapa de colores, se encontró que las diferencias máximas aparecían en los márgenes cervicales, las puntas de las cúspides y los bordes incisales. Sus resultados aconsejan utilizar un tamaño de vóxel de 200  $\mu\text{m}$  o menos para estudiar la anatomía dental (285). Este fue el tamaño utilizado en el presente estudio.

### **7.3 Discusión del Caso del Modelo predictivo**

A nuestro saber podemos decir que este es el primer modelo para predecir el punto, distancia y ángulo de acceso endodóntico en los incisivos centrales maxilares mediante un CBCT.

En el campo de la odontología se han encontrado estudios con modelo de regresión logístico (286-288) que predicen variables categóricas, es decir, la probabilidad de que ocurra algo, como predecir la incidencia o la duración del dolor intraoperatorio o post tratamiento de conductos. A diferencia de nuestro modelo que se ajusta por mínimos cuadrados y predice una variable cuantitativa.

Tras realizar una revisión bibliográfica no existen estudios que midan puntos de referencia anatómicos relacionados con la cámara pulpar de los dientes anteriores con CBCT, sólo se encontró el estudio de Lee y cols. (109) donde se representaban distancias clínicas importantes empleando radiografías digitales.

Una ventaja del presente modelo es que se consideran múltiples factores tanto del paciente como del diente y que, a través de unas ecuaciones

matemáticas, se genera una probabilidad de posición, profundidad y angulación de nuestro instrumento, permitiéndonos acceder de forma segura a la pulpa dental.

El conocimiento de las interrelaciones entre variables es interesante para poder evaluar adecuadamente el proceso, ya que a lo largo de la vida existen cambios biológicos complejos que no sería adecuado evaluar sólo con datos estadísticos descriptivos de la muestra estudiada.

El tamaño empleado para la obtención del modelo predictivo es pequeño, pero tras nuestro estudio previo de obtención del tamaño muestral de nuestra población, consiguiendo  $n=135$  obteníamos una potencia de estudio de 99%. Al ser un estudio observacional retrospectivo, la obtención de la muestra bajo los criterios de inclusión fue compleja, pues se dependía del motivo del paciente para la realización del CBCT, de los parámetros de exposición y de que los ICM estuvieran intactos, Rara vez se registraban como válidos ambos ICM.

Cada ecuación fue tratada por separado por razones de claridad. En todas las ecuaciones están presentes las variables sexo, edad y bruxismo.

Respecto a la ecuación del Punto de acceso  $SB\dot{U}P = \overline{SB\dot{U}P} + 2$ , las variables relacionadas son la distancia hasta la perforación en la pared vestibular de la raíz, la distancia desde el borde incisal hasta el techo de la cámara y la longitud total del diente. Los resultados nos indican que los pacientes más jóvenes presentan una mayor superficie palatina, mayor longitud total del diente, mayor tamaño de corona dentaria, y que por ellos el punto de acceso se desplaza hacia el borde incisal. A mayor edad del paciente, menor superficie palatina, por lo que el punto de acceso se aproxima más hacia UAC. A nivel clínico, este dato nos demuestra la retracción pulpar que existe con el envejecimiento, al igual demostraron Allen y cols. (185) en el 2004, al estudiar una población de personas mayores, y encontrar una alta incidencia de calcificaciones del espacio pulpar en dientes sanos.

La ecuación de profundidad  $\overline{SAL}$  hasta llegar al cuerno pulpar, presenta como variables relacionadas la distancia desde el borde incisal hasta el techo de la cámara pulpar y la longitud de UAC de vestibular a palatino.

Cuando hablamos de profundidad de acceso en los dientes anteriores, en nuestro estudio recalamos la importancia de realizarlo desde la superficie palatina, siempre preservando la completa estética del borde incisal y la mayor estructura dentaria posible. Por otro lado, existen estudios que valoran el acceso en línea recta tras realizar un análisis radiográfico (264). También se describe este tipo de acceso incisal en el sistema de navegación estático (146,159,160), aunque hay autores como Fonseca y cols. (147), Buchgreitz y cols. (161) y Hegde y cols. (289) que prefieren modificar la plantilla guía para poder preservar el borde incisal y realizar un acceso palatino convencional.

También encontramos autores que se centran en el efecto de la preparación mecánica respecto a la ubicación del acceso (133), pero no hemos localizado en la literatura ningún autor que registre las medidas de puntos de referencia anatómicos.

En el estudio de Lee y cols. de 2007 (109) se registraron distancias interesantes para el clínico relacionadas con algunas de las medidas registradas en el presente estudio, algunas relevantes para nuestras ecuaciones, y otras registradas, pero sin influencia en el modelo predictivo. La primera medida es la profundidad desde el punto de acceso hasta la mitad de la distancia vestibulopalatina de UAC, donde obtienen una media de  $5.4 \pm 0.4$  mm, obteniendo un resultado similar al de nuestro estudio ( $5.45 \pm 0.71$  mm). La distancia registrada hasta la perforación en vestibular de la raíz, lo describen cómo “margen de seguridad” y fue también registrada en el estudio de Lee, siendo la media de  $8.2 \pm 1.5$  mm. Estos resultados también son similares a los de nuestro estudio,  $7.12 \pm 1.21$  mm. También se demuestra que el riesgo de perforación es mayor si el acceso se realiza

más próximo a la UAC, cuando la distancia a la perforación de la pared se reduce drásticamente. Por último, registraron la suma de dos distancias, que van desde el punto de acceso palatino hasta el punto de la perforación vestibular en la raíz. Esta medida representa la distancia clínica aproximada a la perforación de la raíz de los ICM, siendo  $13.6 \pm 1.5$  mm. El promedio de las medias de los dientes anteriores que estudian es 13.1 mm, con un coeficiente de variación para los dientes anteriores de un 14%. Esta medida es similar a las registrada en nuestro estudio con el CBCT  $12.58 \pm 1.44$  mm y coeficientes de variación del 11%.

No se han encontrado artículos en la literatura que midan el ángulo de acceso  $\overline{SBAL}$ . En el estudio de La Turno y Zillich (264), aunque no realizaron ninguna medición del ángulo, indicaron tras un análisis radiográfico que, cuanto más se oriente la apertura de acceso hacia el borde incisal, es decir, con un mayor ángulo, mayor acceso en línea recta se conseguiría. Esta descripción coincide con nuestros resultados, cuanto mayor es el ángulo de nuestro instrumento mejor orientación en el acceso tendremos.

El modelo predictivo desarrollado con este estudio, requiere por parte del odontólogo que se registre la edad, el sexo, si presenta o no bruxismo, y la medición de 4 distancias: 3 en el plano sagital (la distancia vestibulopalatina de la UAC ( $\overline{SUVVP}$ ), la distancia del borde incisal al cuerno pulpar ( $\overline{SBL}$ ), la distancia de la mitad de  $\overline{SUVVP}$  a la perforación vestibular en la raíz ( $\overline{SMFV}$ ) y, por último, la longitud total del diente ( $\overline{CBX}$ ) en el plano coronal. Este proceso es sencillo y rápido.

Actualmente el SND está en pleno desarrollo, existen distintos grupos de trabajo (155,156,175) que surgen para intentar resolver las distintas limitaciones anteriormente descritas del sistema de navegación estático.

De los estudios encontrados hasta la fecha son todos *in vitro* excepto uno del grupo de Dianat y cols. (175). Todos emplearon como herramienta el

CBCT, pero el tamaño de estudio empleado fue de campo grande. A diferencia del resto, el grupo de Jain y cols. (153) ha desarrollado su sistema de navegación dinámico (SND) de 2ª generación. Son los primeros en realizar el estudio radiográfico con campo pequeño, al igual que empleamos nosotros para el registro de las mediciones en nuestro modelo, permitiendo ser más precisos y disminuyendo la distorsión del CBCT.

La precisión se ve directamente afectada por la inestabilidad y el movimiento del sensor empleado en la herramienta del SND, error donde los datos facilitados por las ecuaciones del modelo de estudio pueden mejorar la estabilidad y la precisión en el desarrollo y la mejora del nuevo sistema de navegación dinámico.

Cabe destacar que en el estudio *in vivo* de Dianat y cols. (175) se informa de la existencia de un incremento en el riesgo de iatrogenia, cuando no existe la posibilidad de usar microscopio operatorio o se pierde la visión del campo operatorio en el momento que el odontólogo no sigue la guía virtual del SND, por lo que los datos matemáticos proporcionados por nuestro modelo pueden mejorar la planificación y ejecución del tratamiento de conductos al ayudar a aumentar la precisión del SND (155).

La metodología propuesta es capaz de guiar al clínico de forma óptima en el acceso cameral para conseguir una pérdida mínima de tejido dentario. Permite mejorar la precisión del sistema de navegación dinámico ayudando a reducir el tiempo de preparación del acceso, así como disminuyendo la curva de aprendizaje del sistema.

El modelo también ayudaría a los profesionales menos experimentados a enfocar con seguridad los tratamientos de conductos complejos, así como a nivel educativo, permitiría mejorar las habilidades clínicas de mano alzada preservando una mayor estructura dental.

Por otro lado, este estudio tiene algunas limitaciones metodológicas que deben tenerse en cuenta. Primero, el modelo propuesto se ajusta al tercio

coronal y medio radicular, por lo que las ecuaciones en la fase actual no pueden ser empleadas para un acceso endodóntico multirradicular. Segundo, el tamaño muestral debe aumentarse a otros grupos dentarios unirradiculares y multirradiculares, para así desarrollar un modelo más complejo que los abarque a todos. Tercero, los criterios de exclusión son estrictos (se excluyeron dientes con caries, con reconstrucciones o rehabilitaciones...), aunque sí se ha tenido en cuenta la historia de traumatismos, así como el diagnóstico de bruxismo.

#### Línea investigación futura:

El modelo predictivo propuesto solo serviría para incisivos. Para el empleo de estas ecuaciones matemáticas en otros grupos dentarios multirradiculares se requiere de la toma de nuevas muestras, pues cada conducto presenta un cuerno pulpar separado y no centrado en la raíz, al igual que sucede en los dientes unirradiculares, pero con más de un conducto.

Otro aspecto a tener en cuenta sería intentar equilibrar la muestra en los diferentes grupos de edad. La muestra del presente estudio es joven, por lo que no todos los grupos de edad se ven representados. Además, sería muy interesante registrar el tipo de bruxismo, si desgastan los dientes a nivel anterior o posterior, o si son apretadores o rechinadores.

Sería muy útil incorporarlo a un equipamiento de realidad virtual o relacionarlo con un sistema auditivo que nos indique la dirección correcta del acceso.



## **CONCLUSIONES**



## 8. CONCLUSIONES

1. Con respecto a las mediciones de la anatomía externa de los ICM se obtiene una longitud total media de 22.62 mm. En cuanto a la relación entre el ancho y largo coronal, nuestro estudio muestra que la población española estudiada presenta los ICM prácticamente cuadrados.
2. En lo referente a las mediciones internas del ICM se observa como el conducto radicular va disminuyendo su tamaño hacia apical y como el volumen pulpar va disminuyendo con la edad.
3. La edad del paciente no presentó relación con la distancia desde el borde incisal hasta el techo de cámara pulpar, mientras que sí lo hizo con el volumen pulpar, la distancia desde el punto de acceso a la unión amelocementaria y la longitud de la superficie palatina, que disminuyeron a medida que aumentaba la edad.

En cuanto al sexo, en los hombres se registró un mayor volumen pulpar, una mayor longitud vestibulopalatina en la unión amelocementaria, una mayor profundidad de acceso endodóntico y una mayor distancia del borde incisal al cuerno pulpar que las mujeres. La longitud total de los ICM fue aproximadamente 1.5 mm mayor en hombres que en mujeres.

Sí existió relación entre presentar bruxismo y la longitud total del diente, siendo esta menor en los pacientes diagnosticados de bruxismo.

Por otro lado, haber llevado ortodoncia no se relaciona con la longitud total, ni con en el ancho mesiodistal coronal, pero sí parece disminuir el volumen pulpar.

4. El CBCT ha demostrado ser una herramienta precisa y reproducible en la medición *ex vivo* del volumen de la pulpa de los conductos radiculares en los incisivos.

5. Se ha logrado crear un modelo predictivo de acceso endodóntico que puede integrarse en el sistema de navegación dinámico. Las ecuaciones matemáticas obtenidas proporcionan los valores del punto de acceso, la profundidad hasta la pulpa y el ángulo de inclinación de nuestro instrumento, y servirían para desarrollar un software adecuado que indique al clínico cómo y dónde realizar la apertura cameral.

## **BIBLIOGRAFÍA**



## 9. BIBLIOGRAFÍA

- (1) Shemesh A, Levin A, Katzenell V, Itzhak JB, Avraham Z, Levinson O, et al. Root anatomy and root canal morphology of mandibular canines in Israeli population. *Refuat Hapeh Vehashinayim* (1993). 2016; 33(1):19-23, 60.
- (2) Walton W, Vertucci F. Internal anatomy. Principles and practice of endodontics. 3rd ed. Philadelphia: Saunders; 2002.
- (3) Martins JNR, Marques D, Mata A, Caramês J. Root and root canal morphology of the permanent dentition in a Caucasian population: a cone-beam computed tomography study. *Int Endod J*. 2017; 50(11):1013-1026.
- (4) Liang YH, Yue L. A discussion on three-dimensional digital imaging technology: application of cone-beam CT in endodontics. *Chin J Stomatol*. 2019; 54(9):591-597.
- (5) Tomaszewska IM, Jarzebska A, Skinningsrud B, Pekala PA, Wronski S, Iwanaga J. An original micro-CT study and meta-analysis of the internal and external anatomy of maxillary molars-implications for endodontic treatment. *Clin Anat*. 2018; 31(6):838-853.
- (6) Grover C, Shetty N. Methods to study root canal morphology: A review. *ENDO (Lond Engl)*. 2012; 6(3):171-182.
- (7) Domark JD, Hatton JF, Benison RP, Hildebolt CF. An Ex Vivo Comparison of Digital Radiography and Cone-beam and Micro Computed Tomography in the Detection of the Number of Canals in the Mesiobuccal Roots of Maxillary Molars. *J Endod*. 2013; 39(7):901-905.
- (8) Liu N, Li X, Liu N, Ye L, An J, Nie X, et al. A micro-computed tomography study of the root canal morphology of the mandibular first premolar in a population from southwestern China. *Clin Oral Investig*. 2013; 17(3):999-1007.

- (9) Prado MC, Gusman H, Belladonna FG, Prado M, Ormiga F. Effectiveness of three methods for evaluating root canal anatomy of mandibular incisors. *J Oral Sci.* 2016; 58(3):347-351.
- (10) Rodriguez y Baena R, Beltrami R, Tagliabo A, Rizzo S, Lupi S-. Differences between panoramic and Cone Beam-CT in the surgical evaluation of lower third molars. *J Clini Exp Dent.* 2017; 9(2):e259-e265.
- (11) Durack C, Patel S. Cone beam computed tomography in endodontics. *Braz Dent J.* 2012; 23(3):179-91.
- (12) Liang YH, Yue L, Chung-Hua Kou Chiang, Hsueh Tsa Chih. A discussion on three-dimensional digital imaging technology: application of cone-beam CT in endodontics. *Chin J Stomatol.* 2019; 54(9):591-597.
- (13) Dragan OC, Farcasanu AS, Campian RS, Turcu RVF. Human tooth and root canal morphology reconstruction using magnetic resonance imaging. *Clujul Med (1957).* 2016; 89(1):137-42.
- (14) Bauss O, Schwestka-Polly R, Kiliaridis S. Influence of orthodontic derotation and extrusion on pulpal and periodontal condition of autotransplanted immature third molars. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2004; 125(4):488-496.
- (15) Idiyatullin D, Corum C, Moeller S, Prasad HS, Garwood M, Nixdorf DR. Dental magnetic resonance imaging: making the invisible visible. *J Endod.* 2011; 37(6):745-752.
- (16) Arijji Y, Arijji E, Nakashima M, Iohara K. Magnetic resonance imaging in endodontics: a literature review. *Oral Radiol.* 2018; 34(1):10-16.
- (17) Møller L, Wenzel A, Wegge-Larsen A, Ding M, Væth M, Hirsch E, et al. Comparison of images from digital intraoral receptors and cone beam computed tomography scanning for detection of voids in root canal fillings:



an in vitro study using micro-computed tomography as validation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2013; 115(6):810-818.

(18) Patel S, Durack C, Abella F, Roig M, Shemesh H, Lambrechts P, et al. European Society of Endodontology position statement: The use of CBCT in Endodontics. *Int Endod J.* 2014; 47(6):502-504.

(19) Patel S, Durack C, Abella F, Shemesh H, Roig M, Lemberg K. Cone beam computed tomography in Endodontics - a review. *Int Endod J.* 2015; 48(1):3-15.

(20) Patel S, Brown J, Pimentel T, Kelly RD, Abella F, Durack C. Cone beam computed tomography in Endodontics - a review of the literature. *Int Endod J.* 2019; 52(8):1138-1152.

(21) Patel S, Wilson R, Dawood A, Mannocci F. The detection of periapical pathosis using periapical radiography and cone beam computed tomography - Part 1: pre-operative status. *Int Endod J.* 2012; 45(8):702-710.

(22) Baratto Filho F, Zaitter S, Haragushiku GA, de Campos EA, Abuabara A, Correr GM. Analysis of the Internal Anatomy of Maxillary First Molars by Using Different Methods. *J Endod.* 2009; 35(3):337-342.

(23) Cohenca N, Shemesh H. Clinical applications of cone beam computed tomography in endodontics: A comprehensive review. *Quintessence Int.* 2015; 46(6):465-480.

(24) Cohenca N, Shemesh H. Clinical applications of cone beam computed tomography in endodontics: A comprehensive review. *Quintessence Int.* 2015; 46(8):657-668.

(25) Patel S, Dawood A, Whaites E, Ford TP. New dimensions in endodontic imaging: part 1. Conventional and alternative radiographic systems. *Int Endod J.* 2009; 42(6):447-462.

- (26) Patel S. New dimensions in endodontic imaging: Part 2. Cone beam computed tomography. *Int Endod J.* 2009; 42(6):463-475.
- (27) Rodríguez G, Abella F, Durán-Sindreu F, Patel S, Roig M. Influence of Cone-beam Computed Tomography in Clinical Decision Making among Specialists. *J Endod.* 2017; 43(2):194-199.
- (28) Cotton TP, Geisler TM, Holden DT, Schwartz SA, Schindler WG. Endodontic applications of cone-beam volumetric tomography. *J Endod.* 2007; 33(9):1121-1132.
- (29) Kanagasingam S, Mannocci F. Cone Beam Computed Tomography (CBCT) in Endodontics. *Dent Update.* 2010; 37(6):373-379.
- (30) Martins JN, Marques D, Mata A, Carames J. Root and root canal morphology of the permanent dentition in a Caucasian population: a cone-beam computed tomography study. *Int Endod J.* 2016 November 24;50(11):1010-13.
- (31) Vertucci FJ. Root canal morphology and its relationship to endodontic procedures. *Endodontic Topics.* 2005; 10(1):3-29.
- (32) Krasner P, Rankow HJ. Anatomy of the pulp-chamber floor. *J Endod.* 2004; 30(1):5-16.
- (33) Gaba C, Gurtu A, Bansal R, Kumar P. Morphological measurements of anatomical landmarks in human maxillary first molar pulp chambers and evaluation of number of pulp canal orifices using spiral computed tomography: An in vitro study. *J Conserv Dent.* 2019; 22(3):233-236.
- (34) Bonsor SJ. The use of the operating microscope in general dental practice. Part 2: If you can see it, you can treat it! *Dent Update.* 2015; 42(1):60-2, 65.

- (35) Venskutonis T, Plotino G, Juodzbaly G, Mickevičienė L. The importance of cone-beam computed tomography in the management of endodontic problems: a review of the literature. *J Endod.* 2014; 40(12):1895-1901.
- (36) Feragalli B, Rampado O, Abate C, Macrì M, Festa F, Stromei F, et al. Cone beam computed tomography for dental and maxillofacial imaging: technique improvement and low-dose protocols. *Radiol Med.* 2017; 122(8):581-588.
- (37) Patel S, Brown J, Pimentel T, Kelly RD, Abella F, Durack C. Cone beam computed tomography in Endodontics - a review of the literature. *Int Endod J.* 2019; 52(8):1138-1152.
- (38) Mohamed F, Bradford RJ. 3D imaging in Endodontics. A New Era in Diagnosis and Treatment. Chicago, IL. USA: Springer; 2016.
- (39) Sánchez Mercant H, Mangarelli Vence AA. Upper premolars: study of the number of roots and their canals. *An Fac Odontol.* 1989; (25):69-90.
- (40) Hasselgren G, Tronstad L. The use of transparent teeth in the teaching of preclinical endodontics. *J Endod.* 1975;1(8):278-280.
- (41) Lussi A, Imwinkelried S, Stich H. Obturation of root canals with different sealers using non-instrumentation technology. *Int Endod J.* 1999; 32(1):17-23.
- (42) Melton DC, Krell KV, Fuller MW. Anatomical and histological features of C-shaped canals in mandibular second molars. *J Endod.* 1991; 17(8):384-388.
- (43) Shrestha S, Karki S, Agrawal N, Vikram M, Singh V, Shrestha A. Prevalence of Different Types of Apical Root Canal Morphology and their Treatment Recommendations in an Institute. *JNMA J Nepal Med Assoc.* 2018; 56(210):616-620.

- (44) Gu Y, Lu Q, Wang H, Ding Y, Wang P, Ni L. Root Canal Morphology of Permanent Three-rooted Mandibular First Molars—Part I: Pulp Floor and Root Canal System. *J Endod.* 2010; 36(6):990-994.
- (45) Saxena D, Saha SG, Bharadwaj A, Vijaywargiya N, Dubey S, Kala S. A comparative evaluation of accuracy of three electronic apex locators using histological section as gold standard: An ex vivo study. *J Conserv Dent.* 2017; 20(4):251-254.
- (46) Lertmalapong P, Jantararat J, Srisatjaluk RL, Komoltri C. Bacterial leakage and marginal adaptation of various bioceramics as apical plug in open apex model. *J Investig Clin Dent.* 2019; 10(1):e12371.
- (47) Khademi AA, Shekarchizade N. Evaluation of coronal microleakage of mineral trioxide aggregate plug-in teeth with short roots prepared for post placement using bacterial penetration technique. *Indian J Dent Res.* 2016; 27(3):295-299.
- (48) Nielsen RB, Alyassin AM, Peters DD, Carnes DL, Lancaster J. Microcomputed tomography: an advanced system for detailed endodontic research. *J Endod.* 1995; 21(11):561-568.
- (49) Park JW, Lee JK, Ha BH, Choi JH, Perinpanayagam H. Three-dimensional analysis of maxillary first molar mesiobuccal root canal configuration and curvature using micro-computed tomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2009; 108(3):437-442.
- (50) Fan B, Yang J, Gutmann JL, Fan M. Root canal systems in mandibular first premolars with C-shaped root configurations. Part I: Microcomputed tomography mapping of the radicular groove and associated root canal cross-sections. *J Endod.* 2008; 34(11):1337-1341.
- (51) Ordinola-Zapata R, Monteiro Bramante C, Gagliardi Minotti P, Cavallini Cavenago B, Gutmann JL, Moldauer BI, et al. Micro-CT evaluation of C-

shaped mandibular first premolars in a Brazilian subpopulation. *Int Endod J.* 2015; 48(8):807-813.

(52) Swain MV, Xue J. State of the art of Micro-CT applications in dental research. *Int J Oral Sci.* 2009; 1(4):177-188.

(53) Rhodes JS, Ford TRP, Lynch JA, Liepins PJ, Curtis RV. Micro-computed tomography: a new tool for experimental endodontology. *Int Endod J.* 1999; 32(3):165-170.

(54) Liang X, Zhang Z, Gu J, Wang Z, Vandenberghe B, Jacobs R, et al. Comparison of micro-CT and cone beam CT on the feasibility of assessing trabecular structures in mandibular condyle. *Dentomaxillofac Radiol.* 2017; 46(5):20160435.

(55) Fan B, Cheung GS, Fan M, Gutmann JL, Bian Z. C-shaped canal system in mandibular second molars: Part I--Anatomical features. *J Endod.* 2004; 30(12):899-903.

(56) Bjørk MB, Kvaal SI. CT and MR imaging used in age estimation: a systematic review. *J Forensic Odontostomatol.* 2018; 36(1):14-25.

(57) Vandevort FM, Bergmans L, Van Cleynenbreugel J, Bielen DJ, Lambrechts P, Wevers M, et al. Age calculation using X-ray microfocus computed tomographical scanning of teeth: a pilot study. *J Forensic Sci.* 2004; 49(4):787-790.

(58) Someda H, Saka H, Matsunaga S, Ide Y, Nakahara K, Hirata S, et al. Age estimation based on three-dimensional measurement of mandibular central incisors in Japanese. *Forensic Sci Int.* 2009; 185(1-3):110-114.

(59) Michetti J, Maret D, Mallet J, Diemer F. Validation of Cone Beam Computed Tomography as a Tool to Explore Root Canal Anatomy. *J Endod.* 2010; 36(7):1187-1190.

- (60) Pfeiffer D, Pfeiffer F, Rummeny E. Advanced X-ray Imaging Technology. *Recent Results Cancer Res.* 2020; 216:3-30.
- (61) Nüsslin F. Wilhelm Conrad Röntgen: The scientist and his discovery. *Phys Med.* 2020; 79:65-68.
- (62) Walton RE. Endodontic radiographic technics. *Dent Radiogr Photogr.* 1973; 46(3):51-59.
- (63) Pontual AA, de Melo DP, de Almeida SM, Bóscolo FN, Haiter Neto F. Comparison of digital systems and conventional dental film for the detection of approximal enamel caries. *Dentomaxillofac Radiol.* 2010; 39(7):431-436.
- (64) Safi Y, Shamloo Mahmoudi N, Aghdasi MM, Eslami Manouchehri M, Rahimian R, Valizadeh S, et al. Diagnostic accuracy of Cone Beam Computed Tomography, conventional and digital radiographs in detecting interproximal caries. *J Med Life.* 2015; 8(Spec Iss 3):77-82.
- (65) Wenzel A, Gröndahl HG. Direct digital radiography in the dental office. *Int Dent J.* 1995; 45(1):27-34.
- (66) Hargreaves KM, Berman LH, Rotstein I. Cohen's Pathways of the Pulp. 11<sup>th</sup> Edition ed.: Elsevier; 2016.
- (67) Brooks SL, Miles DA. Advances in diagnostic imaging in dentistry. *Dent Clin North Am.* 1993; 37(1):91-111.
- (68) Eikenberg S, Vandre R. Comparison of digital dental X-ray systems with self-developing film and manual processing for endodontic file length determination. *J Endod.* 2000; 26(2):65-67.
- (69) Hildebolt CF, Couture RA, Whiting BR. Dental photostimulable phosphor radiography. *Dent Clin North Am.* 2000; 44(2):273-97.
- (70) Zhang W, Huynh C, Jadhav A, Pinales J, Arvizu L, Tsai J, et al. Comparison of Efficiency and Image Quality of Photostimulable Phosphor

Plate and Charge-Coupled Device Receptors in Dental Radiography. *J Dent Educ.* 2019; 83(10):1205-1212.

(71) Kitagawa H, Scheetz JP, Farman AG. Comparison of complementary metal oxide semiconductor and charge-coupled device intraoral X-ray detectors using subjective image quality. *Dentomaxillofac Radiol.* 2003; 32(6):408-411.

(72) Akdeniz BG, Soğur E. An ex vivo comparison of conventional and digital radiography for perceived image quality of root fillings. *Int Endod J.* 2005; 38(6):397-401.

(73) Moore WS. Dental digital radiography. *Tex Dent J.* 2002; 119(5):404-412.

(74) Schiffman E, Ohrbach R, Truelove E, Look J, Anderson G, Goulet JP, et al. Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders (DC/TMD) for Clinical and Research Applications: recommendations of the International RDC/TMD Consortium Network\* and Orofacial Pain Special Interest Group†. *J Oral Facial Pain Headache.* 2014; 28(1):6-27.

(75) Schmeling A, Grundmann C, Fuhrmann A, Kaatsch HJ, Knell B, Ramsthaler F, et al. Criteria for age estimation in living individuals. *Int J Legal Med.* 2008; 122(6):457-460.

(76) Schnabl D, Rottler AK, Schupp W, Boisserée W, Grunert I. CBCT and MRT imaging in patients clinically diagnosed with temporomandibular joint arthralgia. *Heliyon.* 2018; 4(6):e00641.

(77) Larheim TA. Current trends in temporomandibular joint imaging. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1995; 80(5):555-576.

(78) Ghadimi M, Sapra A. Magnetic Resonance Imaging Contraindications. Treasure Island, FL, USA. 2020 January 24.

- (79) Shampo MA, Kyle RA. Godfrey Hounsfield--developer of computed tomographic scanning. *Mayo Clin Proc.* 1996; 71(10):990-6196(11)63774.
- (80) Qu XM, Li G, Ludlow JB, Zhang ZY, Ma XC. Effective radiation dose of ProMax 3D cone-beam computerized tomography scanner with different dental protocols. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2010; 110(6):770-776.
- (81) Li G. Patient radiation dose and protection from cone-beam computed tomography. *Imaging Sci Dent.* 2013; 43(2):63-69.
- (82) Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Tinazzi Martini P, Bergamo Andreis IA. A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: Preliminary results. *Eur Radiol.* 1998; 8(9):1558-1564.
- (83) Special Committee to Revise the Joint AAE/AAOMR Position Statement on use of CBCT in Endodontics. AAE and AAOMR Joint Position Statement: Use of Cone Beam Computed Tomography in Endodontics 2015 Update. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2015; 120(4):508-512.
- (84) Patel S, Brown J, Semper M, Abella F, Mannocci F. European Society of Endodontology position statement: Use of cone beam computed tomography in Endodontics: European Society of Endodontology (ESE) developed by. *Int Endod J.* 2019; 52(12):1675-1678.
- (85) Jain P, Balasubramanian S, Sundaramurthy J, Natanasabapathy V. A Cone Beam Computed Tomography of the Root Canal Morphology of Maxillary Anterior Teeth in an Institutional-Based Study in Chennai Urban Population: An In vitro Study. *J Int Soc Prev Community Dent.* 2017; 7(Suppl 2):S68-S74.
- (86) Aminsobhani M, Sadegh M, Meraji N, Razmi H, Javad Kharazifard M. Evaluation of the Root and Canal Morphology of Mandibular Permanent



Anterior Teeth in an Iranian Population by Cone-Beam Computed Tomography. *J Dent Tehran*. 2013; 10(4):358-366.

(87) Consoli Lizzi EP, Chaintiou Piorno R, Aranda CM, Gualtieri AF, Rodríguez PA. Maxillary incisor internal root anatomy evaluated by cone-beam computed tomography in a population of the Autonomous City of Buenos Aires, Argentina. *Acta Odontol Latinoam*. 2021; 34(2):188-194.

(88) Nogueira Leal da Silva, Emmanuel Joao, Queiroz de Castro, Raquel Werczler, Nejaim Y, Vespasiano Silva AI, Haiter-Neto F, Silberman A, et al. Evaluation of root canal configuration of maxillary and mandibular anterior teeth using cone beam computed tomography: An in-vivo study. *Quintessence Int*. 2016; 47(1):19-24.

(89) Maret D, Telmon N, Peters OA, Lepage B, Treil J, Inglese JM, et al. Effect of voxel size on the accuracy of 3D reconstructions with cone beam CT. *Dentomaxillofac Radiol*. 2012; 41(8):649-655.

(90) Celikten B, Jacobs R, deFaria Vasconcelos K, Huang Y, Nicolielo LFP, Orhan K. Assessment of Volumetric Distortion Artifact in Filled Root Canals Using Different Cone-beam Computed Tomographic Devices. *J Endod*. 2017; 43(9):1517-1521.

(91) Melo SL, Bortoluzzi EA, Abreu M, Corrêa LR, Corrêa M. Diagnostic ability of a cone-beam computed tomography scan to assess longitudinal root fractures in prosthetically treated teeth. *J Endod*. 2010; 36(11):1879-1882.

(92) Upasani VV, Bandaralage H, Farnsworth CL. 3D cone-beam tomosynthesis provides axial imaging of the spine with lower radiation compared to computed tomography. *Spine Deform*. 2021; 9(1):41-49.

(93) Koivisto J, van Eijnatten M, Kiljunen T, Shi XQ, Wolff J. Effective Radiation Dose in the Wrist Resulting from a Radiographic Device, Two

CBCT Devices and One MSCT Device: A Comparative Study. *Radiat Prot Dosimetry*. 2018; 179(1):58-68.

(94) Spin-Neto R, Matzen LH, Schropp L, Gotfredsen E, Wenzel A. Factors affecting patient movement and re-exposure in cone beam computed tomography examination. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*. 2015; 119(5):572-578.

(95) Torabinejad M. *Endodontics: principles and practice*. 5th. ed. ed. St. Louis (Missouri): Elsevier Saunders; 2015.

(96) Queiroz PM, Oliveira ML, Groppo FC, Haiter-Neto F, Freitas DQ. Evaluation of metal artefact reduction in cone-beam computed tomography images of different dental materials. *Clin Oral Investig*. 2018; 22(1):419-423.

(97) Bechara B, Alex McMahan C, Moore WS, Noujeim M, Teixeira FB, Geha H. Cone beam CT scans with and without artefact reduction in root fracture detection of endodontically treated teeth. *Dentomaxillofac Radiol*. 2013; 42(5):20120245.

(98) Bechara BB, Moore WS, McMahan CA, Noujeim M. Metal artefact reduction with cone beam CT: an in vitro study. *Dentomaxillofac Radiol*. 2012; 41(3):248-253.

(99) Celikten B, Jacobs R, de FV, Huang Y, Shaheen E, Nicolielo LFP, et al. Comparative evaluation of cone beam CT and micro-CT on blooming artifacts in human teeth filled with bioceramic sealers. *Clin Oral Investig*. 2019; 23(8):3267-3273.

(100) Theodorakou C, Walker A, Horner K, Pauwels R, Bogaerts R, Jacobs R, et al. Estimation of paediatric organ and effective doses from dental cone beam CT using anthropomorphic phantoms. *Br J Radiol*. 2012; 85(1010):153-160.

- (101) Somalinga Amardeep N, Raghu S, Natanasabapathy V. Root canal morphology of permanent maxillary and mandibular canines in Indian population using cone beam computed tomography. *Anat Res Int.* 2014;731859.
- (102) Sert S, Bayirli GS. Evaluation of the root canal configurations of the mandibular and maxillary permanent teeth by gender in the Turkish population. *J Endod.* 2004; 30(6):391-398.
- (103) Mueller AH. Anatomy of the Root Canals of the Incisors, Cuspids and Bicuspid of the Permanent Teeth. *JADA* .1933; 20(8):1361-1386.
- (104) Llana C, Fernandez J, Ortolani PS, Forner L. Cone-beam computed tomography analysis of root and canal morphology of mandibular premolars in a Spanish population. *Imaging Sci Dent.* 2014; 44(3):221-227.
- (105) Usha G, Muddappa SC, Venkitachalam R, Singh VPP, Rajan RR, Ravi AB. Variations in root canal morphology of permanent incisors and canines among Asian population: A systematic review and meta-analysis. *J Oral Biosci.* 2021; 63(4):337-350.
- (106) Deutsch AS, Musikant BL, Gu S, Isidro M. Morphological measurements of anatomic landmarks in pulp chambers of human maxillary furcated bicuspid. *J Endod.* 2005; 31(8):570-573.
- (107) Azim AA, Azim KA, Deutsch AS, Huang GT-. Acquisition of Anatomic Parameters Concerning Molar Pulp Chamber Landmarks Using Cone-beam Computed Tomography. *J Endod* 2014; 40(9):1298-1302.
- (108) Deutsch AS, Musikant BL. Morphological measurements of Anatomic landmarks in human maxillary and mandibular molar pulp chambers. *J Endod.* 2004; 30(6):388-390.

- (109) Lee MM, Rasimick BJ, Turner AM, Shah RP, Musikant BL, Deutsch AS. Morphological measurements of anatomic landmarks in pulp chambers of human anterior teeth. *J Endod.* 2007; 33(2):129-131.
- (110) Scarfe WC, Farman AG, Sukovic P. Clinical applications of cone-beam computed tomography in dental practice. *J Can Dent Assoc.* 2006; 72(1):75-80.
- (111) Liang YH, Yue L. A discussion on three-dimensional digital imaging technology: application of cone-beam CT in endodontics. *Zhonghua Lou qiang yi xue za zhi.* 2019; 54(9):591-597.
- (112) Demirjian A, Goldstein H, Tanner JM. A new system of dental age assessment. *Hum Biol.* 1973; 45(2):211-227.
- (113) Asif MK, Nambiar P, Mani SA, Ibrahim NB, Khan IM, Lokman NB. Dental age estimation in Malaysian adults based on volumetric analysis of pulp/tooth ratio using CBCT data. *Leg Med.* 2019; 36:50-58.
- (114) Star, Hazha D D S, Thevissen PMS, Jacobs RPD, Fieuws SPD, Solheim TPD, Willems GPD. Human Dental Age Estimation by Calculation of Pulp-Tooth Volume Ratios Yielded on Clinically Acquired Cone Beam Computed Tomography Images of Monoradicular Teeth. *J Forensic Sci.* 2011; 56 Suppl 1:S77-S82.
- (115) Ge ZP, Ma RH, Li G, Zhang JZ, Ma XC. Age estimation based on pulp chamber volume of first molars from cone-beam computed tomography images. *Forensic Sci Int.* 2015; 253:133.e1-133.e7.
- (116) Du C, Zhu Y, Hong L. Age-related changes in pulp cavity of incisors as a determinant for forensic age identification. *J Forensic Sci.* 2011; 56 Suppl 1:S72-S76.

- (117) Schmidt S, Schiborr M, Pfeiffer H, Schmeling A, Schulz R. Sonographic examination of the apophysis of the iliac crest for forensic age estimation in living persons. *Sci Justice*. 2013; 53(4):395-401.
- (118) Corradi F, Pinchi V, Barsanti I, Manca R, Garatti S. Optimal age classification of young individuals based on dental evidence in civil and criminal proceedings. *Int J Legal Med* 2013; 127(6):1157-1164.
- (119) Andrade VM, Fontenele RC, de Souza AC, Almeida CA, Vieira AC, Groppo FC, et al. Age and sex estimation based on pulp cavity volume using cone beam computed tomography: development and validation of formulas in a Brazilian sample. *Dentomaxillofac Radiol*. 2019; 48(7):20190053.
- (120) Aykroyd RG, Lucy D, Pollard AM, Solheim T. Technical note: regression analysis in adult age estimation. *Am J Phys Anthropol*. 1997; 104(2):259-265.
- (121) Cameriere R, Ferrante L, Belcastro MG, Bonfiglioli B, Rastelli E, Cingolani M. Age estimation by pulp/tooth ratio in canines by mesial and vestibular peri-apical X-rays. *J Forensic Sci*. 2007; 52(5):1151-1155.
- (122) Cameriere R, Cunha E, Wasterlain SN, De Luca S, Sassaroli E, Pagliara F, et al. Age estimation by pulp/tooth ratio in lateral and central incisors by peri-apical X-ray. *J Forensic Leg Med*. 2013; 20(5):530-536.
- (123) Cameriere R, De Luca S, Alemán I, Ferrante L, Cingolani M. Age estimation by pulp/tooth ratio in lower premolars by orthopantomography. *Forensic Sci Int*. 2012; 214(1-3):105-112.
- (124) Juneja M, Devi YB, Rakesh N, Juneja S. Age estimation using pulp/tooth area ratio in maxillary canines-A digital image analysis. *J Forensic Dent Sci*. 2014; 6(3):160-165.

- (125) Dehghani M, Shadkam E, Ahrari F, Dehghani M. Age estimation by canines' pulp/tooth ratio in an Iranian population using digital panoramic radiography. *Forensic Sci Int.* 2018; 285:44-49.
- (126) Morse DR. Age-related changes of the dental pulp complex and their relationship to systemic aging. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1991; 72(6):721-745.
- (127) Gulsahi A, Kulah CK, Bakirarar B, Gulen O, Kamburoglu K. Age estimation based on pulp/tooth volume ratio measured on cone-beam CT images. *Dentomaxillofac Radiol.* 2018; 47(1):1-7.
- (128) Pinchi V, Pradella F, Buti J, Baldinotti C, Focardi M, Norelli GA. A new age estimation procedure based on the 3D CBCT study of the pulp cavity and hard tissues of the teeth for forensic purposes: A pilot study. *J Forensic Leg Med.* 2015; 36:150-157.
- (129) Murray PE, Stanley HR, Matthews JB, Sloan AJ, Smith AJ. Age-related odontometric changes of human teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2002; 93(4):474-482.
- (130) Aguilera-Muñoz F, Garay-Barrientos A, Moreno-Lazcano I, Navarro-Cáceres P, Fonseca GM. Estimación de Edad Mediante la Relación Área Pulpa/Diente en Caninos Mandibulares: Estudio en una Muestra Chilena Utilizando el Método de Cameriere. *Int J Morphol.* 2020; 38(2):322-327.
- (131) Bing L, Xiu-Ping Wu, Hong-Shangguan, Xiao W, Ke-Ming Yun. Morphology and Volume of Maxillary Canine Pulp Cavity for Individual Age Estimation in Forensic Dentistry. *Int J Morphol.* 2017; 35(3):1058-1062.
- (132) Ge ZP, Yang P, Li G, Zhang JZ, Ma XC. Age estimation based on pulp cavity/chamber volume of 13 types of tooth from cone beam computed tomography images. *Int J Legal Med.* 2016; 130(4):1159-1167.

- (133) Mannan G, Smallwood ER, Gulabivala K. Effect of access cavity location and design on degree and distribution of instrumented root canal surface in maxillary anterior teeth. *Int Endod J.* 2001; 34(3):176-183.
- (134) Sarvaiya UP, Rudagi K, Joseph J. A comparative evaluation of the effect of different access cavity designs on root canal instrumentation efficacy and resistance to fracture assessed on maxillary central incisors: An in vitro study. *J Conserv Dent.* 2020; 23(6):609-614.
- (135) Plotino G, Grande NM, Isufi A, Ioppolo P, Pedullà E, Bedini R, et al. Fracture Strength of Endodontically Treated Teeth with Different Access Cavity Designs. *J Endod.* 2017; 43(6):995-1000.
- (136) Krishan R, Paque F, Ossareh A, Kishen A, Dao T, Friedman S. Impacts of conservative endodontic cavity on root canal instrumentation efficacy and resistance to fracture assessed in incisors, premolars, and molars. *J Endod.* 2014; 40(8):1160-1166.
- (137) Vieira GCS, Pérez AR, Alves FRF, Provenzano JC, Mdala I, Siqueira JF, et al. Impact of Contracted Endodontic Cavities on Root Canal Disinfection and Shaping. *J Endod.* 2020; 46(5):655-661.
- (138) Special Committee to Revise the Joint AAE/AAOMR Position Statement on use of CBCT in Endodontics. AAE and AAOMR Joint Position Statement: Use of Cone Beam Computed Tomography in Endodontics 2015 Update. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2015; 120(4):508-512.
- (139) Yang YM, Guo B, Guo LY, Yang Y, Hong X, Pan HY, et al. CBCT-Aided Microscopic and Ultrasonic Treatment for Upper or Middle Thirds Calcified Root Canals. *Biomed Res Int.* 2016; 2016:4793146.
- (140) Block MS, Emery RW, Lank K, Ryan J. Implant Placement Accuracy Using Dynamic Navigation. *Int J Oral Maxillofac Implants.* 2017; 32(1):92-99.

(141) Emery RW, Merritt SA, Lank K, Gibbs JD. Accuracy of Dynamic Navigation for Dental Implant Placement-Model-Based Evaluation. *J Oral Implantol.* 2016; 42(5):399-405.

(142) Panchal N, Mahmood L, Retana A, Emery R. Dynamic Navigation for Dental Implant Surgery. *Oral Maxillofac Surg Clin North Am.* 2019; 31(4):539-547.

(143) Mediavilla Guzmán A, Riad Deglow E, Zubizarreta-Macho Á, Agustín-Panadero R, Hernández Montero S. Accuracy of Computer-Aided Dynamic Navigation Compared to Computer-Aided Static Navigation for Dental Implant Placement: An In Vitro Study. *J Clin Med.* 2019; 8(12):2123.

(144) Spille J, Jin F, Behrens E, Açil Y, Lichtenstein J, Naujokat H, et al. Comparison of implant placement accuracy in two different preoperative digital workflows: navigated vs. pilot-drill-guided surgery. *Int J Implant Dent.* 2021; 7(1):45-021.

(145) Gargallo-Albiol J, Barootchi S, Salomó-Coll O, Wang HL. Advantages and disadvantages of implant navigation surgery. A systematic review. *Ann Anat.* 2019; 225:1-10.

(146) Krastl G, Zehnder MS, Connert T, Weiger R, Köhl S. Guided Endodontics: a novel treatment approach for teeth with pulp canal calcification and apical pathology. *Dent Traumatol.* 2016; 32(3):240-246.

(147) Fonseca Tavares WL, Diniz Viana AC, de Carvalho Machado V, Feitosa Henriques LC, Ribeiro Sobrinho AP. Guided Endodontic Access of Calcified Anterior Teeth. *J Endod.* 2018; 44(7):1195-1199.

(148) Casadei BA, Lara-Mendes STO, Barbosa CFM, Araújo CV, de Freitas CA, Machado VC, et al. Access to original canal trajectory after deviation and perforation with guided endodontic assistance. *Aust Endod J.* 2020; 46(1):101-106.



- (149) Maia LM, de Carvalho Machado V, da Silva, N R F A, Brito Júnior M, da Silveira RR, Moreira Júnior G, et al. Case Reports in Maxillary Posterior Teeth by Guided Endodontic Access. *J Endod.* 2019; 45(2):214-218.
- (150) Lara-Mendes STO, Barbosa CFM, Machado VC, Santa-Rosa CC. A New Approach for Minimally Invasive Access to Severely Calcified Anterior Teeth Using the Guided Endodontics Technique. *J Endod.* 2018; 44(10):1578-1582.
- (151) Llaquet Pujol M, Vidal C, Mercadé M, Muñoz M, Ortolani-Seltenerich S. Guided Endodontics for Managing Severely Calcified Canals. *J Endod.* 2021; 47(2):315-321.
- (152) Shah P, Chong BS. 3D imaging, 3D printing and 3D virtual planning in endodontics. *Clin Oral Investig.* 2018; 22(2):641-654.
- (153) Jain SD, Carrico CK, Bermanis I. 3-Dimensional Accuracy of Dynamic Navigation Technology in Locating Calcified Canals. *J Endod.* 2020; 46(6):839-845.
- (154) Jain SD, Saunders MW, Carrico CK, Jadhav A, Deeb JG, Myers GL. Dynamically Navigated versus Freehand Access Cavity Preparation: A Comparative Study on Substance Loss Using Simulated Calcified Canals. *J Endod* 2020; 46(11):1745-1751.
- (155) Dianat O, Nosrat A, Tordik PA, Aldahmash SA, Romberg E, Price JB, et al. Accuracy and Efficiency of a Dynamic Navigation System for Locating Calcified Canals. *J Endod.* 2020; 46(11):1719-1725.
- (156) Chong BS, Dhesi M, Makdissi J. Computer-aided dynamic navigation: a novel method for guided endodontics. *Quintessence Int.* 2019; 50(3):196-202.
- (157) Rebong RE, Stewart KT, Utreja A, Ghoneima AA. Accuracy of three-dimensional dental resin models created by fused deposition modeling,

stereolithography, and Polyjet prototype technologies: A comparative study. *Angle Orthod.* 2018; 88(3):363-369.

(158) Nestler N, Wesemann C, Spies BC, Beuer F, Bumann A. Dimensional accuracy of extrusion- and photopolymerization-based 3D printers: In vitro study comparing printed casts. *J Prosthet Dent.* 2021; 125(1):103-110.

(159) Zehnder MS, Connert T, Weiger R, Krastl G, Kuhl S. Guided endodontics: accuracy of a novel method for guided access cavity preparation and root canal location. *Int Endod J.* 2016; 49(10):966-972.

(160) Connert T, Zehnder MS, Amato M, Weiger R, Kuhl S, Krastl G. Microguided Endodontics: a method to achieve minimally invasive access cavity preparation and root canal location in mandibular incisors using a novel computer-guided technique. *Int Endod J.* 2018; 51(2):247-255.

(161) Buchgreitz J, Buchgreitz M, Bjørndal L. Guided root canal preparation using cone beam computed tomography and optical surface scans – an observational study of pulp space obliteration and drill path depth in 50 patients. *Int Endod J.* 2019; 52(5):559-568.

(162) Van der Meer, W J, Vissink A, Ng YL, Gulabivala K. 3D Computer aided treatment planning in endodontics. *J Dent.* 2016; 45:67-72.

(163) Lara-Mendes STO, Barbosa CFM, Santa-Rosa CC, Machado VC. Guided Endodontic Access in Maxillary Molars Using Cone-beam Computed Tomography and Computer-aided Design/Computer-aided Manufacturing System: A Case Report. *J Endod.* 2018; 44(5):875-879.

(164) Lara-Mendes STO, Barbosa, Camila de Freitas M, Machado VC, Santa-Rosa CC. A New Approach for Minimally Invasive Access to Severely Calcified Anterior Teeth Using the Guided Endodontics Technique. *J Endod.* 2018; 44(10):1578-1582.

- (165) Torres A, Shaheen E, Lambrechts P, Politis C, Jacobs R. Microguided Endodontics: a case report of a maxillary lateral incisor with pulp canal obliteration and apical periodontitis. *Int Endod J.* 2019; 52(4):540-549.
- (166) Connert T, Krug R, Eggmann F, Emsermann I, ElAyouti A, Weiger R, et al. Guided Endodontics versus Conventional Access Cavity Preparation: A Comparative Study on Substance Loss Using 3-dimensional-printed Teeth. *J Endod.* 2019; 45(3):327-331.
- (167) Buchgreitz J, Buchgreitz M, Mortensen D, Bjorndal L. Guided access cavity preparation using cone-beam computed tomography and optical surface scans - an ex vivo study. *Int Endod J.* 2016; 49(8):790-795.
- (168) Ackerman S, Aguilera FC, Buie JM, Glickman GN, Umorin M, Wang Q, et al. Accuracy of 3-dimensional-printed Endodontic Surgical Guide: A Human Cadaver Study. *J Endod.* 2019; 45(5):615-618.
- (169) Patzelt AP. The Virtual patient. In: Masri RD, editor. *Clinical Applications of Digital Dental Technology.* 1 st ed. Oxford: Wiley-Blackwell; 2015. p. 231-240.
- (170) Yoshida Y, Yamaguchi S, Kawamoto Y, Noborio H, Murakami S, Sohmura T. Development of a multi-layered virtual tooth model for the haptic dental training system. *Dent Mater J.* 2011; 30(1):1-6.
- (171) Shah P, Chong BS. 3D imaging, 3D printing and 3D virtual planning in endodontics. *Clin Oral Investig.* 2018; 22(2):641-654.
- (172) Su Yin M, Haddawy P, Suebnukarn S, Kulapichitr F, Rhiemora P, Jatuwat V, et al. Formative feedback generation in a VR-based dental surgical skill training simulator. *J Biomed Inform.* 2021; 114:103659.
- (173) Li Y, Ye H, Ye F, Liu Y, Lv L, Zhang P, et al. The Current Situation and Future Prospects of Simulators in Dental Education. *J Med Internet Res.* 2021; 23(4):e23635.

- (174) Towers A, Field J, Stokes C, Maddock S, Martin N. A scoping review of the use and application of virtual reality in pre-clinical dental education. *Br Dent J.* 2019; 226(5):358-366.
- (175) Dianat O, Gupta S, Price JB, Mostoufi B. Guided Endodontic Access in a Maxillary Molar Using a Dynamic Navigation System. *J Endod.* 2021; 47 (4):658-662.
- (176) Scheid RC. *Woelfel's dental anatomy.* 8th ed. ed. Philadelphia etc.: Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins; 2012.
- (177) Jeffrey P Okeson. *Tratamiento de oclusión y afecciones temporomandibulares. Management of temporomandibular Disorders and Occlusion.* 7 th Edition ed.: Elsevier España, S.L; 2013. p. 56.
- (178) Nelson SJ. *Wheeler's Dental anatomy, physiology, and occlusion.* 10th. ed. ed. St. Louis (Missouri): Elsevier Saunders; 2015.
- (179) Khan M, Kazmi SMR, Khan FR, Samejo I. Analysis of different characteristics of smile. *BDJ Open.* 2020; 6:6-020.
- (180) Simões D, Meyge de Brito G, Teixeira Cangussu MC, Machado AW. Does the vertical position of maxillary central incisors in men influence smile esthetics perception? *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2019; 156(4):485-492.
- (181) Sriphadungporn C, Chamnannidiadha N. Perception of smile esthetics by laypeople of different ages. *Prog Orthod.* 2017; 18(1):8-017.
- (182) Kaushal S, Patnaik V, Agnihotri G, Jain R. Maxillary central incisor morphometry in north indians-A dimorphic study. *J Punjab Acad forensic med Toxicol.* 2005; 5:13-17.
- (183) Wang Y, Song Y, Zhong Q, Xu C. Evaluation of influence factors on the width, length, and width to length ratio of the maxillary central incisor: A

systematic review and meta-analysis. *J Esthet Restor Dent.* 2021; 33(2):351-363.

(184) Jenkins G. *The physiology and biochemistry of the Mouth.* 4th ed: Oxford: Blackwell Scientific Publications. 1978:34-74.

(185) Allen PF, Whitworth JM. Endodontic considerations in the elderly. *Gerodontology.* 2004; 21(4):185-194.

(186) Philippas GG, Applebaum E. Age Change in the Permanent Upper Canine Teeth. *J Dent Res.* 1968; 47(3):411-417.

(187) Philippas GG, Applebaum E. Age Changes in the Permanent Upper Lateral Incisor. *J Dent Res.* 1967; 46(5):1002-1009.

(188) Nogueira Leal da Silva, Emmanuel Joao, Prado MC, Queiroz PM, Nejaim Y, Brasil DM, Groppo FC, et al. Assessing pulp stones by cone-beam computed tomography. *Clin Oral Investig.* 2017; 21(7):2327-2333.

(189) Chaini K, Georgopoulou MK. General pulp calcification: Literature review and case report. *ENDO.* 2016; 10(2):69-75.

(190) Sener S, Cobankara FK, Akgünlü F. Calcifications of the pulp chamber: prevalence and implicated factors. *Clin Oral Investig.* 2009; 13(2):209-215.

(191) Ravanshad S, Khayat S, Freidonpour N. The Prevalence of Pulp stones in Adult Patients of Shiraz Dental School, a Radiographic Assessment. *J Dent.* 2015; 16(4):356-361.

(192) Kannan S, Kannepady SK, Muthu K, Jeevan MB, Thapasum A. Radiographic assessment of the prevalence of pulp stones in Malaysians. *J Endod.* 2015; 41(3):333-337.

- (193) Tassoker M, Magat G, Sener S. A comparative study of cone-beam computed tomography and digital panoramic radiography for detecting pulp stones. *Imaging Sci Dent.* 2018; 48(3):201-212.
- (194) Goga R, Chandler NP, Oginni AO. Pulp stones: a review. *Int Endod J.* 2008; 41(6):457-468.
- (195) Skaare AB, Jacobsen I. Dental injuries in Norwegians aged 7-18 years. *Dent Traumatol.* 2003; 19(2):67-71.
- (196) Eltair M, Pitchika V, Standl M, Lang T, Krämer N, Hickel R, et al. Prevalence of traumatic crown injuries in German adolescents. *Clin Oral Investig.* 2020; 24(2):867-874.
- (197) Gassner R, Bösch R, Tuli T, Emshoff R. Prevalence of dental trauma in 6000 patients with facial injuries: implications for prevention. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 1999; 87(1):27-33.
- (198) Bastone EB, Freer TJ, McNamara JR. Epidemiology of dental trauma: a review of the literature. *Aust Dent J.* 2000; 45(1):2-9.
- (199) Wölner-Hanssen AB, von Arx T. Permanent teeth with horizontal root fractures after dental trauma. A retrospective study. *Schweiz Monatsschr Zahnmed.* 2010; 120(3):200-212.
- (200) Da Silva AC, Passeri LA, Mazzonetto R, De Moraes M, Moreira RW. Incidence of dental trauma associated with facial trauma in Brazil: a 1-year evaluation. *Dent Traumatol.* 2004; 20(1):6-11.
- (201) Abd-Elmeguid A, ElSalhy M, Yu DC. Pulp canal obliteration after replantation of avulsed immature teeth: a systematic review. *Dent Traumatol.* 2015; 31(6):437-441.

- (202) De Cleen M. Obliteration of pulp canal space after concussion and subluxation: Endodontic considerations. *Quintessence Int.* 2002; 33(9):661-669.
- (203) Andreasen FM, Zhijie Y, Thomsen BL, Andersen PK. Occurrence of pulp canal obliteration after luxation injuries in the permanent dentition. *Endod Dent Traumatol.* 1987; 3(3):103-115.
- (204) Oginni AO, Adekoya-Sofowora CA, Kolawole KA. Evaluation of radiographs, clinical signs and symptoms associated with pulp canal obliteration: an aid to treatment decision. *Dent Traumatol.* 2009; 25(6):620-625.
- (205) Bastos JV, Côrtes MI. Pulp canal obliteration after traumatic injuries in permanent teeth - scientific fact or fiction? *Braz Oral Res.* 2018; 32:159-168.
- (206) Andreasen FM. Pulpal healing after luxation injuries and root fracture in the permanent dentition. *Endod Dent Traumatol.* 1989; 5(3):111-131.
- (207) Hargreaves KM, Berman LH, Rotstein I. Estructura y funciones del complejo pulpodentinario. *Cohen's Pathways of the pulp.* 11ed: Elsevier; 2016. p. 564-566.
- (208) Moss-Salentijn L, Hendricks-Klyvert M. Calcified structures in human dental pulps. *J Endod.* 1988; 14(4):184-189.
- (209) Ngeow, Thong, Cheong Ngeow W. Gaining access through a calcified pulp chamber: a clinical challenge. *Int Endod J.* 1998; 31(5):367-371.
- (210) Schindler WG, Gullickson DC. Rationale for the management of calcific metamorphosis secondary to traumatic injuries. *J Endod.* 1988; 14(8):408-412.

- (211) Amir FA, Gutmann JL, Witherspoon DE. Calcific metamorphosis: a challenge in endodontic diagnosis and treatment. *Quintessence Int.* 2001; 32(6):447-455.
- (212) Gopikrishna V, Parameswaran A, Kandaswamy D. Criteria for management of calcific metamorphosis: review with a case report. *Indian J Dent Res.* 2004; 15(2):54-57.
- (213) Pujari MD, Pujar MA, Makandar SD. Endodontic Perforations: A Review. *Ind J Dental Sc.* 2012; 4:136-140.
- (214) Tsesis I, Fuss Z. Diagnosis and treatment of accidental root perforations. *Endodontic Topics.* 2016; 13(1):95-107.
- (215) Kiefner P, Connert T, Elayouti A, Weiger R. Treatment of calcified root canals in elderly people: a clinical study about the accessibility, the time needed and the outcome with a three-year follow-up. *Gerodontology.* 2017; 34(2):164-170.
- (216) Iezzi I, Pagella P, Mattioli-Belmonte M, Mitsiadis TA. The effects of ageing on dental pulp stem cells, the tooth longevity elixir. *Eur Cell Mater.* 2019; 37:175-185.
- (217) Gómez de Ferraris M, Campos Muñoz A. *Histología y embriología bucodental.* 2ª ed.: Medica Panamericana; 2002.
- (218) Nanci A. Dentin-pulp complex. *Ten Cate's Oral Histology. Development, Structure, and Function.* 9th ed.: Elsevier; 2017. p. 377-414.
- (219) Arola DD, Gao S, Zhang H, Masri R. The Tooth: Its Structure and Properties. *Dent Clin North Am.* 2017; 61(4):651-668.
- (220) Tassoker M. Evaluation of the relationship between sleep bruxism and pulpal calcifications in young women: A clinico-radiological study. *Imaging Sci Dent.* 2018; 48(4):277-281.



- (221) Conrads G, About I. Pathophysiology of Dental Caries. Monogr Oral Sci. 2018; 27:1-10.
- (222) Bjørndal L. The caries process and its effect on the pulp: the science is changing and so is our understanding. J Endod. 2008; 34 Suppl 7:S2-5.
- (223) Lazaridis K, Lazaridou M, Athanasiou AE. Pulpal and Periodontal Tissues Changes Associated with Le Fort I and Sagittal Split Ramus Osteotomies: A review. Open Dent J. 2018; 12:24-31.
- (224) Vedtofte P. Pulp canal obliteration after Le Fort I osteotomy. Endod Dent Traumatol. 1989; 5(6):274-278.
- (225) Vandevska-Radunovic V, Kristiansen AB, Heyeraas KJ, Kvinnsland S. Changes in blood circulation in teeth and supporting tissues incident to experimental tooth movement. Eur J Orthod. 1994; 16(5):361-369.
- (226) Sano Y, Ikawa M, Sugawara J, Horiuchi H, Mitani H. The effect of continuous intrusive force on human pulpal blood flow. Eur J Orthod. 2002; 24(2):159-166.
- (227) Nixon CE, Saviano JA, King GJ, Keeling SD. Histomorphometric study of dental pulp during orthodontic tooth movement. J Endod. 1993; 19(1):13-16.
- (228) Bauss O, Röhling J, Rahman A, Kiliaridis S. The effect of pulp obliteration on pulpal vitality of orthodontically intruded traumatized teeth. J Endod. 2008; 34(4):417-420.
- (229) Perinetti G, Varvara G, Festa F, Esposito P. Aspartate aminotransferase activity in pulp of orthodontically treated teeth. Am J Orthod Dentofacial Orthop. 2004; 125(1):88-92.

- (230) Javed F, Al-Kheraif AA, Romanos EB, Romanos GE. Influence of orthodontic forces on human dental pulp: a systematic review. *Arch Oral Biol.* 2015; 60(2):347-356.
- (231) von Böhl M, Ren Y, Fudalej PS, Kuijpers-Jagtman AM. Pulpal reactions to orthodontic force application in humans: a systematic review. *J Endod.* 2012; 38(11):1463-1469.
- (232) Bauss O, Röhling J, Schwestka-Polly R. Prevalence of traumatic injuries to the permanent incisors in candidates for orthodontic treatment. *Dent Traumatol.* 2004; 20(2):61-66.
- (233) Robertson A, Andreasen FM, Bergenholtz G, Andreasen JO, Noren JG. Incidence of pulp necrosis subsequent to pulp canal obliteration from trauma of permanent incisors. *J Endod.* 1996; 22(10):557-560.
- (234) Burden DJ. An investigation of the association between overjet size, lip coverage, and traumatic injury to maxillary incisors. *Eur J Orthod.* 1995; 17(6):513-517.
- (235) Brin I, Ben-Bassat Y, Heling I, Brezniak N. Profile of an orthodontic patient at risk of dental trauma. *Endod Dent Traumatol.* 2000; 16(3):111-115.
- (236) Bauss O, Freitag S, Rohling J, Rahman A. Influence of overjet and lip coverage on the prevalence and severity of incisor trauma. *J Orofac Orthop.* 2008; 69(6):402-410.
- (237) Koroluk LD, Tulloch JF, Phillips C. Incisor trauma and early treatment for Class II Division 1 malocclusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2003; 123(2):117-25.
- (238) Chen DR, McGorray SP, Dolce C, Wheeler TT. Effect of early Class II treatment on the incidence of incisor trauma. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011; 140(4):e155-60.

- (239) Patel S, Durack C, Abella F, Roig M, Shemesh H, Lambrechts P, et al. European Society of Endodontology position statement: the use of CBCT in endodontics. *Int Endod J*. 2014; 47(6):502-4.
- (240) Pauwels R, Jacobs R, Singer SR, Mupparapu M. CBCT-based bone quality assessment: are Hounsfield units applicable? *Dentomaxillofac Radiol*. 2015; 44(1):20140238.
- (241) Porto LV, Celestino da Silva Neto, J, Anjos Pontual AD, Catunda RQ. Evaluation of volumetric changes of teeth in a Brazilian population by using cone beam computed tomography. *J Forensic Leg Med*. 2015; 36:4-9.
- (242) Biuki N, Razi T, Faramarzi M. Relationship between pulp-tooth volume ratios and chronological age in different anterior teeth on CBCT. *J Clin Exp Dent*. 2017; 9(5):e688-e693.
- (243) Fedorov A BR. 3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network. *Magn Reson Imaging*. 2012; 30(9):1323-1341.
- (244) Martín Garcia J. *Dinámica de Sistemas*. Barcelona: Juan Martín García; 2<sup>a</sup> ed; 2011 [Consultado 3 Jul 2021]. Disponible online en: <http://dinamica-de-sistemas.com>.
- (245) Hazra A, Gogtay N. Biostatistics Series Module 6: Correlation and Linear Regression. *Indian J Dermatol*. 2016; 61(6):593-601.
- (246) Johnsen HM. Regression and correlation. *Nord Med*. 1990; 105(4):121-123.
- (247) Nash JE, Sutcliffe JV. River flow forecasting through conceptual models part I — A discussion of principles. *J Hydrol*. 1970; 10(3):282-290.
- (248) Willmott CJ. On the validation of models. *Physical Geography*. 1981; 2(2):184-194.

(249) Caselles A. Modelización y simulación de sistemas complejos (Modeling and simulation of complex systems). Universitat de València (Spain). 1ed; 2008 [Consultado Nov 2020] Disponible en: <http://www.uv.es/caselles>.

(250) Wolfram Research I. System Modeler Mathematica. 2020 January 01; Versión 12.2. [Consultado Dic 2021]. Disponible en: <http://www.wolfram.com/system-modeler>.

(251) Caselles A. A tool for discovery by complex function fitting. In: Cybern Syst. 1998; p.787-792.

(252) Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. Oral Surg Oral Med Oral Pathol. 1984; 58(5):589-599.

(253) Jain P, Balasubramanian S, Sundaramurthy J, Natanasabapathy V. A Cone Beam Computed Tomography of the Root Canal Morphology of Maxillary Anterior Teeth in an Institutional-Based Study in Chennai Urban Population: An In vitro Study. J Int Soc Prev Community Dent. 2017; 7 Suppl 2:S68-S74.

(254) Weng XL, Yu SB, Zhao SL, Wang HG, Mu T, Tang RY, et al. Root canal morphology of permanent maxillary teeth in the Han nationality in Chinese Guanzhong area: a new modified root canal staining technique. J Endod. 2009; 35(5):651-656.

(255) Hasanreisoglu U, Berksun S, Aras K, Arslan I. An analysis of maxillary anterior teeth: facial and dental proportions. J Prosthet Dent. 2005; 94(6):530-538.

(256) Kim SY, Lim SH, Gang SN, Kim HJ. Crown and root lengths of incisors, canines, and premolars measured by cone-beam computed tomography in patients with malocclusions. Korean J Orthod. 2013; 43(6):271-278.

- (257) Orozco-Varo A, Arroyo-Cruz G, Martínez-de-Fuentes R, Jiménez-Castellanos E. Biometric analysis of the clinical crown and the width/length ratio in the maxillary anterior region. *J Prosthet Dent.* 2015; 113(6):565-70.e2.
- (258) Choi SH, Kim JS, Kim CS, Yu HS, Hwang CJ. Cone-beam computed tomography for the assessment of root-crown ratios of the maxillary and mandibular incisors in a Korean population. *Korean J Orthod.* 2017; 47(1):39-49.
- (259) Magne P, Gallucci GO, Belser UC. Anatomic crown width/length ratios of unworn and worn maxillary teeth in white subjects. *J Prosthet Dent.* 2003; 89(5):453-461.
- (260) Alqahtani AS, Habib SR, Ali M, Alshahrani AS, Alotaibi NM, Alahaidib FA. Maxillary anterior teeth dimension and relative width proportion in a Saudi subpopulation. *J Taibah Univ Med Sci.* 2021; 16(2):209-216.
- (261) Sah SK, Zhang HD, Chang T, Dhungana M, Acharya L, Chen LL, et al. Maxillary anterior teeth dimensions and proportions in a central mainland chinese population. *Chin J Dent Res.* 2014; 17(2):117-124.
- (262) Gillen RJ, Schwartz RS, Hilton TJ, Evans DB. An analysis of selected normative tooth proportions. *Int J Prosthodont.* 1994; 7(5):410-417.
- (263) Krapež J, Fidler A. Location and dimensions of access cavity in permanent incisors, canines, and premolars. *J Conserv Dent.* 2013; 16(5):404-407.
- (264) LaTurno SA, Zillich RM. Straight-line endodontic access to anterior teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 1985; 59(4):418-419.
- (265) Ku JE, Yang HS, Yun KD. A morphometric analysis of maxillary central incisor on the basis of facial appearance in Korea. *J Adv Prosthodont.* 2012; 4(1):13-17.

- (266) Radia S, Sherriff M, McDonald F, Naini FB. Relationship between maxillary central incisor proportions and facial proportions. *J Prosthet Dent.* 2016; 115(6):741-748.
- (267) Wolfart S, Menzel H, Kern M. Inability to relate tooth forms to face shape and gender. *Eur J Oral Sci.* 2004; 112(6):471-476.
- (268) Rosenstiel SF, Ward DH, Rashid RG. Dentists' preferences of anterior tooth proportion--a web-based study. *J Prosthodont.* 2000; 9(3):123-136.
- (269) Bhargava A, Saigal S, Thakur P, Kumar U, Bhoi S, Siddiqui S. Data on morphometric analysis of anterior teeth from Hazaribag College of Dental Sciences and Hospital, jharkhand. *Bioinformation.* 2021; 17(1):60-66.
- (270) George S, Bhat V. Inner canthal distance and golden proportion as predictors of maxillary central incisor width in south Indian population. *Indian J Dent Res.* 2010; 21(4):491-495.
- (271) Sterrett JD, Oliver T, Robinson F, Fortson W, Knaak B, Russell CM. Width/length ratios of normal clinical crowns of the maxillary anterior dentition in man. *J Clin Periodontol.* 1999; 26(3):153-157.
- (272) Standards of Human Occlusal Development. Monograph 5. Ann Arbor, Mich: Center for Human Growth and Development, University of Michigan. 1976.
- (273) Santoro M, Ayoub ME, Pardi VA, Cangialosi TJ. Mesiodistal crown dimensions and tooth size discrepancy of the permanent dentition of Dominican Americans. *Angle Orthod.* 2000; 70(4):303-307.
- (274) - Pillai J, - Patel R, - Banker A, - Rajarajeswari J, - Mishra S. - Morphometric Analysis of Maxillary Central Incisor to Determine its Crown Form: A Model-based Cross-sectional Study. - *J Forensic Sci Med.* 2016; 2(4):213- 218.

(275) Mavroskoufis F, Ritchie GM. Variation in size and form between left and right maxillary central incisor teeth. *J Prosthet Dent.* 1980; 43(3):254-257.

(276) Tsukiyama T, Marcushamer E, Griffin TJ, Arguello E, Magne P, Gallucci GO. Comparison of the anatomic crown width/length ratios of unworn and worn maxillary teeth in Asian and white subjects. *J Prosthet Dent.* 2012; 107(1):11-16.

(277) Parciak EC, Dahiya AT, AlRumaih HS, Kattadiyil MT, Baba NZ, Goodacre CJ. Comparison of maxillary anterior tooth width and facial dimensions of 3 ethnicities. *J Prosthet Dent.* 2017; 118(4):504-510.

(278) Chen B, Szabo D, Shen Y, Zhang D, Li X, Ma J, et al. Removal of calcifications from distal canals of mandibular molars by a non-instrumental cleaning system: A micro-CT study. *Aust Endod J.* 2020; 46(1):11-16.

(279) Markvart M, Bjørndal L, Darvann TA, Larsen P, Dalstra M, Kreiborg S. Three-dimensional analysis of the pulp cavity on surface models of molar teeth, using X-ray micro-computed tomography. *Acta Odontol Scand.* 2012; 70(2):133-139.

(280) Johnsen GF, Sundnes J, Wengenroth J, Haugen HJ. Methodology for Morphometric Analysis of Modern Human Contralateral Premolars. *J Comput Assist Tomogr.* 2016; 40(4):617-625.

(281) Zhang D, Chen J, Lan G, Li M, An J, Wen X, et al. The root canal morphology in mandibular first premolars: a comparative evaluation of cone-beam computed tomography and micro-computed tomography. *Clin Oral Investig.* 2017; 21(4):1007-1012.

(282) Møller L, Wenzel A, Wegge-Larsen AM, Ding M, Væth M, Hirsch E, et al. Comparison of images from digital intraoral receptors and cone beam computed tomography scanning for detection of voids in root canal fillings:

an in vitro study using micro-computed tomography as validation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2013; 115(6):810-818.

(283) Grande NM, Plotino G, Pecci R, Bedini R, Pameijer CH, Somma F. Micro-computerized tomographic analysis of radicular and canal morphology of premolars with long oval canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2008; 106(3):e70-e76.

(284) Fokas G, Vaughn VM, Scarfe WC, Bornstein MM. Accuracy of linear measurements on CBCT images related to presurgical implant treatment planning: A systematic review. *Clin Oral Implants Res.* 2018; 29:393-415.

(285) Maret D, Peters OA, Galibourg A, Dumoncel J, Esclassan R, Kahn J, et al. Comparison of the Accuracy of 3-dimensional Cone-beam Computed Tomography and Micro-Computed Tomography Reconstructions by Using Different Voxel Sizes. *J Endod.* 2014; 40(9):1321-1326.

(286) Arias A, de la Macorra, J C, Hidalgo JJ, Azabal M. Predictive models of pain following root canal treatment: a prospective clinical study. *Int Endod J.* 2013; 46(8):784-793.

(287) Kayaoglu G, Gürel M, Saricam E, Ilhan MN, Ilk O. Predictive Model of Intraoperative Pain during Endodontic Treatment: Prospective Observational Clinical Study. *J Endod.* 2016; 42(1):36-41.

(288) Yücel O, Ekici MA, Ilk O, Ilhan MN, Kayaoglu G. Predicting intraoperative pain in emergency endodontic patients: clinical study. *Braz Oral Res.* 2018; 32: e38.

(289) Hegde SG, Tawani G, Warhadpande M, Raut A, Dakshindas D, Wankhade S. Guided endodontic therapy: Management of pulp canal obliteration in the maxillary central incisor. *J Conserv Dent.* 2019; 22(6):607-611.



(290) Soundarya N, Jain VK, Shetty S, Akshatha BK. Sexual dimorphism using permanent maxillary and mandibular incisors, canines and molars: An odontometric analysis. *J Oral Maxillofac Pathol.* 2021; 25(1):183-188.



## **ABREVIATURAS**



## 10. ABREVIATURAS

Abreviatura	Descripción
DSR	Radiografía de sustracción digital
TC	Tomografía computadorizada
micro-CT	Microtomografía computadorizada
CBCT	Tomografía computadorizada de haz cónico
RM	Resonancia magnética
OCP	Obliteración del conducto pulpar
OPC	Obliteración pulpar completa
UAC	Unión amelo cementaria
ICM	Incisivo Central Maxilar
VP	Vestibulopalatino
MD	Mesiodistal
SNE	Sistema de navegación estático
SND	Sistema de navegación dinámico
NE	Navegación estática
ND	Navegación dinámica



**ANEXOS**





## 11. ANEXOS

### Anexo 1: Aceptación del Comité de Ética

	<b>CEU</b> <i>Universidad Cardenal Herrera</i>	Vicerrectorado de Investigación Comité de Ética para la Investigación Biomédica
<b>INFORME CEI17/145</b>		
<b>TÍTULO DEL PROYECTO: Estudio de la anatomía dental mediante CBCT en relación a la edad y el género.</b>		
<b>INVESTIGADOR PRINCIPAL:</b> Dra. Dña. Maria del Mar Jovani Sancho.		
El Comité de Ética para la Investigación Biomédica de la Universidad CEU-Cardenal Herrera, reunido en sesión presencial con fecha del 20 de octubre de 2017 ha revisado dicho proyecto y considera que:		
Se cumplen los requisitos necesarios de idoneidad del protocolo en relación con los objetivos del estudio y están justificados los riesgos y las molestias previsibles para el sujeto.		
Por lo que acepta que dicho estudio sea realizado.		
<b>Fdo. Ignacio Pérez Roger</b> Presidente del comité de Ética para la Investigación Biomédica		

## Anexo 2: Aceptación del Comité de Ética: Estudio del volumen pulpar



**INFORME CEI19/089**

**TÍTULO DEL PROYECTO:** Validación del CBTC como herramienta para medir el volumen Pulpar.

**INVESTIGADOR PRINCIPAL:** Dr. D. Juan Ignacio Aura Tormos

El Comité de Ética para la Investigación Biomédica de la Universidad CEU-Cardenal Herrera, reunido en sesión presencial con fecha del 17 de julio de 2019 ha revisado dicho proyecto y considera que:

Se cumplen los requisitos necesarios de idoneidad del protocolo en relación con los objetivos del estudio y están justificados los riesgos y las molestias previsibles para el sujeto.

Por lo que acepta que dicho estudio sea realizado.

Fdo. Ignacio Pérez Roger

Presidente del comité de Ética para la Investigación Biomédica

Anexo 3: Tabla de Excel relación de todas las variables de estudio.

[Anexo 3.xlsx](#)



Anexo 4: Tabla comparativa de los autores que estudian el ICM en distintas poblaciones, mediante técnicas diferentes y en diversos grupos étnicos.

Autor	Año	Población (Etnia)	(N)	Método	Edad	Altura (long de la corona) (mm)				Ancho (mesiodistal) (mm)				Longitud (mm)				Ratio				
						H		M		H		M		LR		LT		Alto-ancho-coronal				
						1.1	2.1	1.1	2.1	1.1	2.1	1.1	2.1	H	M	H	M	H	M			
Mavroskoufis y cols. (275)	1980	Ingléses (Caucásicos)	140	Modelos	-	10.57	10.63	10.07	10.57	8.99	8.95	8.78	8.75	-	-	-	-	-	-			
Alqahtani y cols. (260)	2021	Saudi (árabe)	160	Modelos	20-30	10,04±0.92		9,64±0.98		8.89±0.56		9.6±0.49		-		63,69mm (89%)						
Orozco-Varo y cols. (257)	2015	España (Caucásica)	412	Modelos	33.94	10.47±0.82	10.47±0.81	10.08±0.72	10.06±0.71	8.87±0.51	8.87±0.49	8.61±0.52	8.60±0.52	-		0.85±0.07 (85%)	0.85±0.06 (85%)					
Hasanreisoglu y cols. (255)	2005	Turquia (Caucásica)	100	Modelos/foto y calibrado digital	22	10.00		9.00		8.6±0.5		8.00±0.5		-	-	-	-	Rango (72-124%) 89% 1.17				
																		88,7%	91,2%			
Kaushal y cols. (182)	2005	India	-	Modelos	-	-				8.94	9.05	8.61	8.66	-				-				
Kim y cols. (256)	2013	Korea (asiática)	152	CBCT	16-33 (22.3±3.0)	10.38±1.61		9.97±1.52		-	-	-	-	12.30±1.55	11.75±1.46	22.83±2.55	21.91±2.34	1.33±0.24	1.32±0.25			
Magne y cols. (259)	2003	Suiza (Caucásica)	44	ICM extraídos		ND=11,69±0.7 no desgastados/ D=10.67±1.13desgastados*				ND=9,10±0.62 a D=9,24±0.66*				-				D=87%/ND=78%. 1,28				
Soundarya y cols. (290)	2021	India	80	Modelos/calibrado digital	20-50	-		-		7.38±1.29		7.19±1.32		-				-	-			
Choi y cols. (258)	2017	Corea (asiática)	672	CBCT	27.2±7.7	11.4±0.8		10.8±0.8		-				12.4±1.5	11.7±1.4	-		1,1±0,3				
Sah y cols. (261)	2014	China (Asiática)	147	Modelos	18-25	9.50±0.08		9.31±0.07		8.21±0.02		8.11±0.08		-				86% 1.15				
Pillai y cols. (274)	2016	India	50	Modelos	18-23	10.07±0.95		9.01±0.91		8.66±0.57		8.26±0.5		-				1.17±0.12	1.09±0.1			
Gillen y cols. (262)	1994	Caucásicos-Negros	54	Modelos/calibrado digital	18-35	C	N	C	N	C	N	C	N	C	N	C	N	C	N	C	N	
						10.68	11.1	11.1	11.1	9.90	9.1	9.1	9.1	9.1	9.65	9.64	9.05	9.19	9.17	9.1	9.1	1.00

Santoro y cols. (273)	2000	Republica dominicana	54	Fotografía/ex amen clínico/calibra do	-	8.96±0.67	8.72±0.56	8.96±0.67 Rango (7.3 - 10.00)		8.72±0.56 (7.7-10.00)		-	-	-	-	-	-
Bhargava y cols. (269)	2020	India	50	Modelos/calib rado digital	19-23	-	8.96±0.55	8.96±0.54	8.77±0.55	8.80±0.54	-	-	-	-	-	-	-
Nuestro estudio	2021	España (caucásica)	135	CBCT	14-74	8,64±1.23mm (mínimo 6/máximo 11.37)	8.00±0.59mm (mínimo 6.5/máximo 9.6)		Raíz - coro na= 1,6± 0,3		22.62±2.65 (mínimo 10.21/máximo 27.68)		0.9± 0.13		-	-	-

(-): No registrado; H: Hombre, M: Mujer; LR: Longitud de la raíz; LT: Longitud total, (\* la longitud de la corona de los ICM fue influenciada por el desgaste), (D: desgastado/ ND: no desgastado); C: Caucásicos, N: Negros.

