

Universitat Internacional de Catalunya

Departament d'Odontologia



**Estudio comparativo de la fiabilidad de las mediciones
dentales en radiografías panorámicas, teleradiografías laterales
de cráneo y tomografías de haz de cono**

Tesis doctoral

Doctorat en Tècniques clíniques i de Laboratori en Odontologia

Neus Garriga i Turon

Director: Dr. Andreu Puigdollers Pérez

Co-director: Dr. Federico Hernández-Alfaro

Sant Cugat del Vallès, 14 de julio 2017

**Estudio comparativo de la fiabilidad de las mediciones
dentales en radiografías panorámicas, teleradiografías laterales
de cráneo y tomografías de haz de cono**

Àrea d'Ortodòncia i Ortopèdia dentofacial
Departament d'Odontologia
UNIVERSITAT INTERNACIONAL DE CATALUNYA

AUTORA: NEUS GARRIGA I TURON
DIRECTOR: Dr. ANDREU PUIGDOLLERS PÉREZ
CO-DIRECTOR: Dr. FEDERICO HERNÁNDEZ-ALFARO

A en Robert, sense tu, aquest projecte no hauria estat possible

Agraïments

Al meu director, Dr. Andreu Puigdollers i Pérez, que m'ha animat i ajudat durant tots aquests anys per realitzar aquest projecte.

Al Dr. Federico Hernández-Alfaro, per obrir les portes del seu Institut i ajudar-me a aconseguir la mostra necessària per realitzar aquest estudi.

A totes les persones que han col·laborat per fer-lo possible. Company@s i personal, Idoia, Nieves, Dra. Anna Molina i Coral, Dra. Núria Clusellas i Barrionuevo, Dr. Javier Moyano i Lleixà, Dr. Javier Fernández-Bozal.

A Marina Monjo, de Materialise Dental per cedir-me el software per poder realitzar aquest estudi.

Als meus pares, per haver-me educat en l'esforç, sacrifici, constància i pel seu suport en tot allò que em proposo.

A en Robert, per tot el temps que he dedicat a aquest projecte i que no hem pogut disfrutar junts. i sobretot, per al nostre nou projecte de vida.

GLOSARIO DE ABREVIATURAS

ABO: *American Board of Orthodontics*

ALARA: *As Low As Reasonably Achievable*

CARS: *Computer Assisted Radiology and Surgery*

CBCT: Siglas en inglés Tomografía de Haz Cónico (Cone Beam CT Scan)

CCD: Detectores *Charge-coupled device*

CMM: *Coordinate Measuring Machine*

DICOM: *Digital Imaging and Communication in Medicine*

EADMFR: *European Academy of Dentomaxillofacial Radiology*

ECR: *European Congress of Radiology*

FDI: Federación Dental Internacional

ICRP: *International Commission of Radiologic Protection*

MIPAC: *Software Dental Eye and LEAD Technologies, Inc. 2005*

OMF: *Oral Maxillo Facial*

OPG: Ortopantomografía

Pos: Posición

Seg: Segundos

SIRM: *Società Italiana di Radiologia Medica*

SPECT: Tomografía computerizada por emisión de fotón simple

TC: Tomografía computerizada

TeleRx: Teleradiografía Lateral de Cráneo

THC: Tomografía en haz de cono

2D: Dos dimensiones

3D: Tres dimensiones

1. Índice

ÍNDICE

GLOSARIO DE ABREVIATURAS	IX
ÍNDICE	XIII
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XVII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIX
1. MOTIVOS Y JUSTIFICACIÓN	23
2. HIPÓTESIS DE TRABAJO	31
3. OBJETIVOS.....	35
3.1. Objetivo Principal	35
3.2. Objetivos Secundarios.....	35
4. FUNDAMENTOS.....	39
4.1. Evolución de los registros en ortodoncia	39
4.2. Evolución histórica de los Rayos-X.....	40
4.3. La ortopantomografía	41
4.3.1. Introducción a la Ortopantomografía	41
4.3.2. Funcionamiento de un Ortopantomógrafo.....	42
4.3.3. Limitaciones de la Ortopantomografía	43
4.4. La Teleradiografía lateral de cráneo.....	46
4.4.1. Introducción a la teleradiografía lateral de cráneo.....	46
4.4.2. Funcionamiento de la teleradiografía lateral de cráneo.....	47
4.4.3. Limitaciones de la teleradiografía lateral de cráneo.....	48
4.5. El CBCT.....	48
4.5.1. Introducción al CBCT	48
4.5.2. Funcionamiento de la tecnología del CBCT.....	51
4.5.3. Radiación y CBCT	57
5. MATERIAL Y MÉTODOS	63
5.1. Material.....	63
5.1.1. Selección de la muestra.....	63
5.1.2. Criterios de Inclusión.....	63
5.1.3. Criterios de Exclusión	64
5.1.4. Muestra estudiada y cálculo del tamaño muestral.....	64
5.2. Métodos	65
5.2.1. Toma de registros.....	65
5.2.2. Variables estudiadas	65
5.2.3. Distribución de la muestra	71

5.2.4. Análisis Estadístico	72
6. RESULTADOS	79
6.1. Análisis Intraoperador	79
6.2. Valores de las variables estudiadas.....	79
6.2.1. Mediciones en la angulación mesio-distal	79
6.2.2. Tiempo empleado	86
7. DISCUSIÓN.....	91
7.1. Discusión de la metodología	91
7.2. Discusión de los resultados	94
7.2.1. Mediciones de las angulaciones mesio-distales y vestíbulo-linguales.....	94
7.2.2. Tiempo empleado	101
7.3. Aplicaciones clínicas	102
8. CONCLUSIONES	107
9. BIBLIOGRAFÍA.....	111
ANEXO I. DOCUMENTOS.....	123

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Dirección del rayo en una radiografía panorámica rotacional comparado con los ejes perpendiculares del arco dental ¹³	44
Figura 2. Cefalostato de Broadbent en el laboratorio de anatomía de la escuela de Medicina en la Case Western Reserve University, Cleveland. ^{31,42}	46
Figura 3. Imagen del primer paciente escaneado con el prototipo EMI del Hospital Atkinson Morley el 1 de Octubre de 1971. ⁴⁶	50
Figura 4. Esquema de la secuencia de la adquisición de la imagen con el CBCT ^{37,72}	52
Figura 5. Conjunto de datos del CBCT. El voxel con las mismas dimensiones en los tres planos del espacio. A la derecha, reconstrucción en los tres planos. ^{13,37}	54
Figura 6. Geometría CBCT en un sistema con el paciente en posición vertical. ⁴⁷	55
Figura 7. Descripción esquemática de los métodos de reducción de los artefactos de la fuente de fotones hacia el detector. ⁴⁷	56
Figura 8. Imagen de los ejes axiales de caninos, premolares y molares y el plano oclusal del paciente #12	66
Figura 9. Imagen de los ejes axiales de caninos, premolares y molares y el plano oclusal sobre la OPG del paciente #12.....	66
Figura 10. Imagen del plano oclusal y de las puntas de las cúspides del paciente #12 sobre el CBCT.	68
Figura 11. Vista frontal y vista lateral de plano oclusal del paciente #12 sobre CBCT	68
Figura 12. Ortopantomografía del paciente #12 con los ángulos medidos.	69
Figura 13. Imagen del CBCT con las angulaciones medidas en maxilar.	70
Figura 14. Imagen de la TeleRx del paciente #12 con los ejes y mediciones de inclinación vestibulo-lingual de los incisivos.....	70
Figura 15. Imagen del CBCT del paciente #12 con los ejes y mediciones de inclinación vestibulo-lingual de los incisivos.....	71
Figura 16. Diferencia de los valores de angulación mesio-distal entre OPG-CBCT.	83
Figura 17. Diferencia de los valores de inclinación vestibulo-lingual entre TeleRx-CBCT.....	84
Figura 18. Interacción de la angulación OPG/CBCT	84
Figura 19. Interacción de la angulación TeleRx/CBCT.....	85
Figura 20. Tiempo, en segundos, de realización de mediciones en CBCT/OPG y TeleRx por cada diente.	87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Codificación de todas las variables y su numeración FDI	72
Tabla 2. Comparación de los angulaciones mesio-distales y vestibulo-linguales realizadas en la OPG, la TeleRx y el CBCT.	80
Tabla 3. Diferencia en la angulación mesio-distal de cada diente entre la OPG y el CBCT.	82
Tabla 4. Porcentaje de diferencia mayor a 5º consideradas clínicamente significativas en la literatura.	86
Tabla 5. Tiempo empleado para la realización de las mediciones de inclinaciones radiculares en OPG+TeleRx y CBCT	86
Tabla 6. Resumen estudios similares encontrados en la literatura con mediciones de inclinaciones mesio-distales radiculares sobre ortopantomografías.	99
Tabla 7. Resumen de estudios similares encontrados en la literatura que comparan mediciones de inclinaciones mesio-distales registradas en OPG y en CBCT.	100

1.Motivos y justificación

1. MOTIVOS Y JUSTIFICACIÓN

El objetivo principal del tratamiento de ortodoncia, es conseguir, entre otros objetivos, el posicionamiento dental en los 3 planos del espacio, con una oclusión estática y funcional correcta, con una buena estética dental y facial, con salud periodontal, y en equilibrio con los tejidos blandos.¹ Para conseguir esta posición dental correcta, los ortodoncistas evalúan la posición de las coronas y las raíces dentales antes, durante y después del tratamiento de ortodoncia. Valorando la posición dental, el resultado del tratamiento de ortodoncia, , depende principalmente de la exactitud en el posicionamiento de los brackets.^{2,3} Cómo describió Andrews en 1972, una oclusión ideal y una correcta articulación son difíciles de conseguir sin una correcta inclinación axial de todos los dientes.^{4,5} Situaciones cómo el paralelismo de las raíces, fenestraciones o dehiscencias, son difíciles de prevenir si el ortodoncista sólo se centra en alinear las coronas dentales.⁶

Uno de los objetivo del tratamiento de Ortodoncia es la paralelización de las raíces dentales.^{1,2,5,7} Durante años, se han utilizado los modelos de escayola para definir la posición de las coronas e imaginar las inclinaciones radiculares. El grado de inclinación mesio-distal de las coronas, es el ángulo entre el eje de la corona (observando la superficie vestibular) y una línea de 90 grados respecto al plano oclusal.⁴ Tomando las coronas dentales cómo referencia, el ortodoncista dibujaba el eje longitudinal de las coronas en los modelos de escayola con el objetivo de colocar el bracket en una inclinación correcta.

Entre 1915-1926, los ortodoncistas empezaron a utilizar la antropometría, fotografías clínicas, modelos de escayola faciales y a fusionar la información para planificar el tratamiento.⁸ A mediados de 1931, cuándo el uso de radiografías fue más común, Broadbent resaltó la exactitud de las radiografías

panorámicas y la cefalometría para planificar el tratamiento.⁸ Desde entonces, la radiografía panorámica se usa de forma rutinaria para identificar los dientes ausentes, dientes supernumerarios, para determinar la longitud e inclinación radicular e identificar alteraciones mandibulares y de la articulación temporomandibular.⁷

Las radiografías panorámicas se han utilizado antes, durante y después del tratamiento de Ortodoncia para registrar la posición radicular.^{2,3,7,9} La comprobación de la inclinación mesio-distal de las raíces en la panorámica ha permitido la orientación para un correcto posicionamiento de los bráquets en la boca del paciente.^{1,4,10} Sin embargo, se ha demostrado que la radiografía panorámica presenta limitaciones para definir la angulación mesio-distal de las raíces dentarias ya que la posición y la inclinación dental se puede ver distorsionada o magnificada por gran cantidad de factores como la posición de la cabeza del paciente, la geometría de la arcada del paciente y parámetros de la rotación de la máquina durante el registro.^{1,3,7,10-13}

En 1998 se introdujo la Tomografía de haz de cono (CBCT) en las publicaciones científicas.^{8,10} Los CBCT permiten la evaluación de la anatomía dental del paciente, incluyendo la oclusión y la angulación dental en las 3 dimensiones del espacio.^{7,9,14} Además, como está descrito en la literatura, las reconstrucciones panorámicas obtenidas a partir del CBCT, eran más exactas ya que no existe la distorsión que ocurre en la obtención de radiografías panorámicas en 2 dimensiones.^{7,9,14}

Los aparatos de CBCT son capaces de proporcionar imágenes de resolución submilimétrica de alta calidad diagnóstica, con tiempos de escaneado cortos (10-70 segundos) y con dosis de radiación hasta 15 veces más bajas que los escáneres convencionales (TC), aportando numerosas ventajas sobre la tecnología existente.¹⁵ Sin embargo, el uso de los CBCT plantean inconvenientes y limitaciones: Los CBCT ocasionan una mayor irradiación al paciente. La dosis de radiación producida por el CBCT se sigue

investigando para asegurar los principios básicos de su uso como método de diagnóstico en nuestros pacientes.¹⁶ El uso de cualquier aparato radiológico, debe ir siempre asociado al principio fundamental para el diagnóstico radiológico, el Principio ALARA, acrónimo de *As Low As Reasonably Achievable* (tan bajo como sea posible).^{17,18} El término ALARA fue acuñado en 1977 por la ICRP, en su publicación 26 y desde entonces ha estado presente en multitud de recomendaciones y leyes sobre protección radiológica.

Asimismo, los CBCT tienen un costo más elevado que las radiografías convencionales para los pacientes. Además, la información contenida en un CBCT es muchísimo mayor que en las radiografías convencionales por lo que el clínico necesita un tiempo de aprendizaje específico para conocer las herramientas de su manejo, y debe recibir una formación específica para poder efectuar un diagnóstico correcto.

No se han realizado suficientes investigaciones que comparen en un mismo estudio la fiabilidad de las mediciones efectuadas en las radiografías convencionales comparándolas con las efectuadas en los CBCT, la relación coste-beneficio para uno u otro sistema y el tiempo que se requiere para superar la curva de aprendizaje en el uso del CBCT.

Este trabajo que se presenta como Proyecto de tesis Doctoral forma parte de la línea de investigación sobre el uso del CBCT en pacientes ortodóncicos y pacientes de cirugía ortognática que el Área de Ortodoncia de la UIC realiza en colaboración con el Área de Cirugía.

El propósito de este Proyecto de Tesis Doctoral es:

1. Comparar los métodos tradicionales (OPG, TeleRx) con el CBCT, cómo herramientas para valorar las inclinaciones de coronas y raíces.
2. Valorar si el uso del CBCT, con una única exposición, es un método más útil y preciso para determinar las inclinaciones radiculares.

3. Cuantificar el tiempo que se precisa para valorar la inclinación de las raíces con los métodos tradicionales (OPG, TeleRx) *versus* el que se precisa con el CBCT.

2. Hipótesis de Trabajo

2. HIPÓTESIS DE TRABAJO

H0₁. No existen diferencias en cuanto a la precisión de las mediciones de la angulación mesio-distal de las raíces dentales entre la ortopantomografía y el CBCT.

H1₁. Sí existen diferencias en cuanto a la precisión de las mediciones de la angulación mesio-distal de las raíces dentales entre la ortopantomografía y el CBCT.

H0₂. No existen diferencias en cuanto a la precisión de las mediciones de la angulación vestibulo-lingual de las raíces dentales entre la teleradiografía lateral de cráneo y el CBCT.

H1₂. Sí existen diferencias en cuanto a la precisión de las mediciones de la angulación vestibulo-lingual de las raíces dentales entre la teleradiografía lateral de cráneo y el CBCT.

H0₃. El CBCT con una única exposición no es un método más preciso que los métodos convencionales para determinar las inclinaciones radiculares.

H1₃. El CBCT con una única exposición es un método más preciso que los métodos convencionales para determinar las inclinaciones radioculares.

3. Objetivos

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo Principal

Valorar la utilidad del CBCT cómo método alternativo para mediciones dentales en el diagnóstico de Ortodoncia.

3.2. Objetivos Secundarios

- 1.- Evaluar la precisión de las mediciones de la angulación mesio-distal de las raíces dentales en la ortopantomografía y en el CBCT.
- 2.- Evaluar la precisión de las mediciones de la angulación vestibulo-lingual de las raíces en la teleradiografía lateral de cráneo y en el CBCT.
- 3.- Conocer las diferencias de tiempo necesarias para el análisis de la ortopantomografía y teleradiografía lateral de cráneo y con el CBCT.

4. Fundamentos

4. FUNDAMENTOS

4.1. Evolución de los registros en ortodoncia

En 1890 Edward H. Angle publicó su clasificación de maloclusión tomando como referencia la relación oclusal de los primeros molares.¹⁹ Angle fue el principal impulsor de la ortodoncia y realizó la definición de oclusión normal y su clasificación de maloclusiones que actualmente sigue todavía en vigor. Esto representó el comienzo de la ortodoncia como verdadera especialidad dentro de la odontología.

Los objetivos básicos del tratamiento de ortodoncia son obtener la correcta posición de los dientes usando la aparatología ortodóncica, crear una oclusión funcional y estable, y colocar los dientes en una relación correcta entre ellos y en armonía con los tejidos blandos y duros craneales después del tratamiento. Hay 6 parámetros que definen la posición de cada diente en las 3 dimensiones del espacio. Tres son posicionales (mesio-distal, vestibulo-lingual y ocluso-gingival) y tres son angulares (angulación mesio-distal, inclinación vestibulo-lingual y rotación axial).²⁰ Entre todos los esfuerzos para perfeccionar la aparatología ortodóncica, probablemente, ninguno supera la contribución de Andrews, que estudió 120 modelos de escayola de personas con una alineación y oclusión dental óptima. Entre ellos, encontró 6 características comunes que describió en su publicación más reconocida.²⁰⁻²² Si no se consiguieran, las fuerzas oclusales no se distribuirían correctamente en los contactos interproximales, los espacios de extracciones tendrían tendencia a reabrirse, y el resultado clínico sería inestable.^{3,11}

Basándose en estos estudios, Andrews, desarrolló el concepto, el objetivo de tratamiento, y diseñó una aparatología de arco recto. En lugar de doblar el arco para conseguir la orientación adecuada de los dientes, la aparatología de

Andrews tenía la angulación y el torque incorporado en los *brackets*. En teoría, estos *brackets* eliminaban la necesidad de realizar dobles de primer, segundo y tercer orden durante el tratamiento.^{21,23} Aún así, ortodontistas con gran experiencia, todavía consideran difícil conseguir las 6 llaves de la oclusión normal usando aparatología de arco recto, sobretodo por la falta de exactitud en el posicionamiento de los *brackets* durante el cementado. Además, las prescripciones de la aparatología se basan en el descubrimiento de Andrews hecho sobre modelos de escayola de coronas dentales, en el que no se tuvieron en cuenta las raíces dentales. Por esta razón, el correcto posicionamiento de los dientes incluyendo las raíces al finalizar el tratamiento de ortodoncia sigue siendo un reto,^{10,22} y aunque 4 de los 6 parámetros que definen la posición del diente, derivan de la corona y son fáciles de monitorizar clínicamente, diversas investigaciones han demostrado que las coronas puede que no proporcionen indicaciones claras de la angulación y la inclinación de todo el diente, incluyendo la raíz.^{20,24}

Una de las llaves de la oclusión de Andrews, es la correcta inclinación axial mesio-distal o tip, especialmente importante en casos en los que se realizan extracciones como parte del tratamiento de ortodoncia.¹ La angulación de las raíces en el maxilar y en la mandíbula es uno de los puntos a valorar en el examen de American Board of Orthodontics,²⁵ y la OPG era la radiografía indicada por el American Board of Orthodontics para valorar la inclinación y el paralelismo radicular, así como para evaluar el acabado en ortodoncia.

4.2. Evolución histórica de los Rayos-X

Los Rayos-X fueron descubiertos por William Conrad Roentgen el 8 de Noviembre de 1895. El descubrimiento se publicó en una revista ese mismo año. Las primeras radiografías dentales, se realizaron aproximadamente 2 semanas después de la publicación del descubrimiento. Los odontólogos fueron de los primeros profesionales de la salud en usar la radiografía en su práctica clínica.

A partir del descubrimiento de los Rayos-X, surgió una era de incremento de la capacidad de diagnóstico en el mundo médico. Con la rápida mejora tecnológica, los clínicos pasaron de las simples radiografías periapicales y aletas de mordida a grandes y más complejas imágenes extraorales.¹⁸

Durante años, los movimientos dentales ortodóncicos en las 3 dimensiones se han diagnosticado, planificado y tratado basándonos en imágenes en 2 dimensiones. La TeleRx, la OPG y radiografías periapicales son radiografías en 2 dimensiones que se usan rutinariamente en ortodoncia.^{26,27}

4.3. La ortopantomografía

4.3.1. Introducción a la Ortopantomografía

El primero en proponer y experimentar con la radiografía panorámica fue el Dr. H Numata, de Japón, en los años 30. A mediados de los años 40, en 1948, el padre de la radiografía panorámica, el Dr. Yrjö Veli Paatero, de Finlandia, desarrolló la pantomografía (así fue como la nombró inicialmente) a partir del proceso médico de laminografía, o radiografía de sección de cuerpo.²⁶ Su objetivo fue capturar toda la arcada dental en una sola imagen.²⁸ El método se basaba en una radiografía de capas en que la fuente de Rayos-X y la película se movían en relación con el objeto para capturar el área de interés conocida como la zona focal.¹⁰ Desarrolló la técnica usando dos centros de rotación, uno para cada lado de la cara.^{10,29} El lado izquierdo se proyectaba usando un eje cerca de la región molar derecha. Se giraba al paciente para que el mismo eje coincidiera en la zona del molar izquierdo para proyectar el lado derecho.³⁰ Estos principios fueron incorporados posteriormente en el desarrollo del Panorex® por S.S. White.

Las principales ventajas de ésta técnica radiográfica son la amplia región anatómica que comprende, la dosis de radiación baja que supone y la rapidez del procedimiento de toma de registro.^{10,11,27} Durante 70 años hemos utilizado

estos registros básicos, y la única innovación ha sido el cambio de analógico a digital, que, aunque no ha añadido nueva información, sí ha mejorado el manejo de datos.³¹

La OPG es una parte importante del *armamentum* del ortodoncista. Esta radiografía, se puede utilizar para: detectar la ausencia o presencia de dientes no erupcionados; hacer una primera valoración del estado periodontal general del paciente y la presencia de cualquier patología o gran destrucción dental. Aun así, la radiografía panorámica no está exenta de problemas, ya que errores debidos al tamaño y forma de la arcada darán lugar a imágenes distorsionadas.^{10,11,26,32,33} Otras alteraciones en la imagen pueden ser debido a un posicionamiento incorrecto de la cabeza del paciente, imágenes fantasma, áreas radiolúcidas y radioopacas, superposición de imágenes y movimiento del paciente.^{4,26,27}

4.3.2. Funcionamiento de un Ortopantomógrafo

La arcada dental, aunque curva, no tiene la forma del arco de un círculo. Para conseguir la forma elíptica en herradura necesaria del plano focal, el ortopantomógrafo utiliza el principio de tomografía rotacional de haz estrecho, pero empleando dos o más centros de rotación. El plano focal, se describe como el pasillo focal. Todas las estructuras dentro de dicho pasillo, incluyendo los dientes mandibulares y del maxilar superior, se encontrarán enfocadas en la radiografía final. La altura vertical de dicho pasillo queda determinada por la forma y la altura del haz de rayos X y por el tamaño de la película. La radiografía final se construye a partir de secciones, cada una creada de forma separada a medida que el equipo rota alrededor de la cabeza del paciente.³⁴

La colocación de la cabeza del paciente en este tipo de equipos resulta esencial: debe situarse de forma precisa para que los dientes estén colocados en el plano focal. Los efectos de una colocación de la cabeza demasiado adelantada o atrasada, o asimétrica, respecto al plano focal, influirán en la

calidad de la imagen final. Las áreas de los maxilares situadas fuera del plano focal aparecerán desenfocadas. El haz de rayos X en forma de abanico hace que una mala colocación de un paciente se represente principalmente como una distorsión en el plano horizontal. Las distorsiones de angulación en la OPG son el resultado de la distorsión combinada en las dimensiones vertical y horizontal y las diferentes situaciones y profundidades en el plano focal.

A pesar de una colocación precisa de la cabeza del paciente, la inclinación de los dientes incisivos o el patrón de la base esquelética subyacente pueden imposibilitar una colocación ideal de los dientes tanto mandibulares como del maxilar superior dentro del pasillo focal.

4.3.3. Limitaciones de la Ortopantomografía

Para conseguir el correcto posicionamiento de las raíces dentales, tradicionalmente se han utilizado las Ortopantomografías para el diagnóstico antes, durante y después del tratamiento de ortodoncia.^{1,9-11} Se deberían comprobar las inclinaciones dentales antes y después del tratamiento de ortodoncia.³⁵ Desafortunadamente, la rotación del cabezal durante la toma de la OPG, produce una gran desviación de la perpendicular entre el objeto y la película, por esta razón, la posición dental y la inclinación pueden verse distorsionadas y magnificadas. Se ha estudiado la distorsión angular en las imágenes de la OPG en numerosas ocasiones, los primeros en hacerlo fueron Sämfors y Welander, que, en 1974, lo hicieron con un modelo matemático basado en un Ortopantomógrafo generador de 3 Rx.³⁶ Valoraron la distorsión angular de objetos situados a varias distancias del plano focal, y concluyeron que los objetos situados a lingual del plano focal presentaban un ángulo de inclinación disminuido en la imagen, mientras que los objetos situados a vestibular del plano focal en la imagen presentaban ángulos más obtusos. Determinaron que la inclinación mesio-distal se puede medir con un margen de error de aproximadamente 5 grados en la práctica clínica.³⁷ Langland, en 1989,

también demostró que un error de aproximadamente 5 grados se considera tolerable e insignificante para la mayoría de situaciones clínicas.³⁷

Se ha demostrado que la OPG presenta unas limitaciones para conseguir las angulaciones mesio-distales dentales.^{1,3,4,7,9-11,21,25,26,37} Estas distorsiones angulares son el resultado de las distorsiones variables entre el plano horizontal y el vertical.^{7,13,27,38} También debido a la geometría del paciente, posición de la cabeza, y los parámetros rotacionales de cada máquina.^{1,7,10} Cuando un rayo, que no es horizontalmente perpendicular a la superficie ósea, refleja la imagen de dientes que tienen diferencias angulares vestibulo-linguales, puede crear una falsa percepción de la angulación de las raíces mesio-distalmente, y la región canina, es la más susceptible. (Figura 1) Por ésta razón, el uso de la OPG para valorar inclinaciones radiculares puede ser de un valor dudoso, sobre todo cuando se trata de tratamientos con extracciones.^{1,3,7,9,11,18,27}

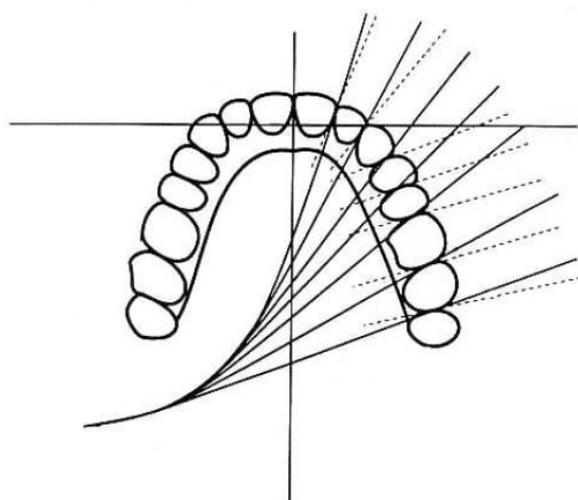


Figura 1. Dirección del rayo en una radiografía panorámica rotacional comparado con los ejes perpendiculares del arco dental¹³

Ya en el año 1978, Philipp³⁰ estudiaba el paralelismo entre las raíces dentales de canino a premolares y molares y la relación axial de estos dientes con el plano oclusal. El estudio lo llevó a cabo usando la imagen panorámica obtenida mediante el Panorex® de S.S. White. Ya en ese momento, detectó que la mayor distorsión del paralelismo radicular se producía en la zona de caninos y premolares en ambas arcadas.

McKee y cols.⁴ utilizaron un fantoma para comparar las angulaciones mesio-distales de los dientes comparando cuatro tipos de aparatos Panorámicos, y concluyeron que las proyecciones panorámicas alteraron la percepción de la angulación mesio-distal en su fantoma.

Hardy y cols,¹⁰ estudiaron la influencia del posicionamiento de la cabeza del paciente en los cambios de inclinación mesio-distal durante la toma de la OPG. Lo realizaron sobre un cráneo humano sujetado sobre un trípode, y concluyeron que aún consiguiendo el posicionamiento ideal de la cabeza del paciente, puede haber distorsiones al evaluar la inclinación de las raíces dentales.

Owens y Johal,³² estudiaron las inclinaciones mesio-distales utilizando la OPG sobre un cráneo y repitieron las mediciones cuando alteraban la inclinación radicular más a mesial y a distal. Concluyeron que las mayores variaciones ocurrían en la zona de caninos y premolares tanto en arcada superior como en la inferior.

Como consecuencia de la distorsión que ocurre frecuentemente con las Ortopantomografías, el ABO^{25,39} ha recomendado lo siguiente:

"Abstenerse de puntuar la relación de la raíz de los caninos con los dientes adyacentes cuando se usa una Ortopantomografía final".

4.4. La Teleradiografía lateral de cráneo

4.4.1. Introducción a la teleradiografía lateral de cráneo

Tras la aparición de la radiografía, en 1925, en 1931, B Holly Broadbent en Estados Unidos (Figura 2) y Hofrath en Alemania, introdujeron la teleradiografía lateral.⁴⁰⁻⁴² Desarrollaron métodos estandarizados para obtener éstas radiografías usando cefalostatos para facilitar la reproducibilidad del posicionamiento de la cabeza en casos de radiografías tomadas en diferentes momentos.²⁶ La Teleradiografía lateral de cráneo se utiliza de forma rutinaria para mediciones lineales y angulares utilizando distintos puntos anatómicos de referencia.

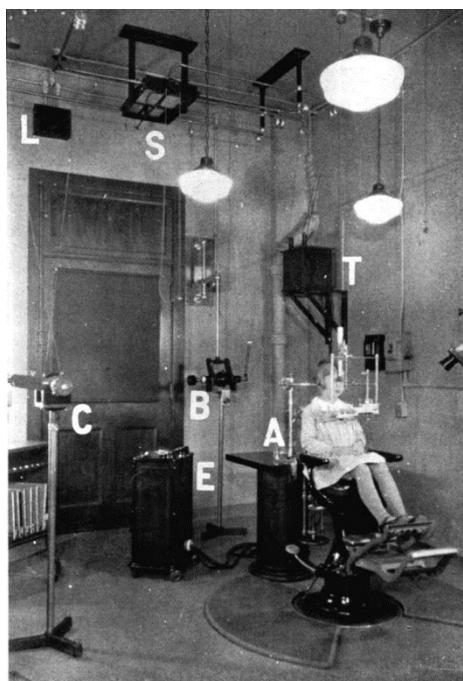


Figura 2. Cefalostato de Broadbent en el laboratorio de anatomía de la escuela de Medicina en la Case Western Reserve University, Cleveland.^{31,42}

4.4.2. Funcionamiento de la teleradiografía lateral de cráneo

Los equipos tradicionales tienen una serie de componentes esenciales, entre los que se encuentra el tubo generador de rayos X y el cefalostato. El tubo generador de rayos X, situado en una posición fija respecto al cefalostato y a la placa, con una distancia foco-placa de entre 1,5-1,8 m. El cefalostato es el aparato que sirve para la sujeción y la estabilización de la cabeza del paciente.

Los equipos digitales pueden tener receptores de imagen con placas de fósforo o con sensores en estado sólido, dependiendo del fabricante. En éste último caso, para garantizar que el haz de rayos X tiene la misma forma que la matriz del dispositivo de carga acoplada (CCD) en el sensor, y que están exactamente alineados, el haz debe atravesar un colimador secundario, que también se mueve durante la exposición.

En la teleradiografía lateral de cráneo, el receptor de imagen está en paralelo con el plano sagital de la cabeza del paciente, y el haz de rayos-X es perpendicular al receptor de imagen y al plano sagital.

La teleradiografía lateral se basa en la habilidad para usar una posición de la cabeza reproducible y estandarizada en relación a la fuente de rayos-X y la película. Los cilindros auriculares se usan para prevenir la rotación de la cabeza en el eje vertical, sagital y transversal. Una tercera referencia, el posicionador nasal, se usa para prevenir la rotación en el eje transversal. Aún así, la cabeza puede quedar mal posicionada sagitalmente, antero-posteriormente o verticalmente, ya que la cabeza puede rotar ligeramente en el cefalostato.⁴³

4.4.3. Limitaciones de la teleradiografía lateral de cráneo

En la teleradiografía lateral de cráneo, la fuente de rayos-X está situada a distancia del plano medio y del plano entre porion bilateral y la película también situada a más de 10 cm de estos planos. Estas variaciones llevan a una magnificación de la imagen,⁴⁴ a la superposición de dos estructuras bilaterales, derecha e izquierda, con diferente proyección y magnificación que crean un problema en la localización de puntos.⁴⁰ No son puntos anatómicos sino de proyección lo que aumenta el problema, puesto que cada punto tiene su margen de error. El posicionamiento del paciente también origina errores. En principio, se debe tomar en posición natural de la cabeza, pero los cefalostatos actuales no favorecen esta toma.^{27,43} Los errores en las mediciones se pueden clasificar como "errores de proyección" o "errores de identificación".⁴⁰

Como en otras técnicas radiográficas, la TeleRx convierte una estructura tridimensional en una bidimensional. La superposición de estructuras anatómicas complica la interpretación de la imagen y el posicionamiento de puntos, y esta distorsión y magnificación, puede llevar a una disminución de la exactitud al realizar mediciones.⁴⁰

4.5. El CBCT

4.5.1. Introducción al CBCT

Se cree erróneamente que el CBCT es específico para odontología, y que se introdujo únicamente para la obtención de imágenes maxilofaciales. Los factores que dieron lugar al desarrollo del CBCT fueron el conocimiento de la integración de imágenes mediante tomosíntesis, un proceso desarrollado por Ziesdes des Plantes, el desarrollo de detectores de rayos-X para la obtención relativamente rápida de imágenes múltiples, la evolución de la obtención de

imágenes y algoritmos de integración adecuados y la disponibilidad de ordenadores de potencia suficiente para procesar los datos de las imágenes obtenidas.⁴⁵

El primer scanner TC médico fue desarrollado en 1967 por Sir. Godfrey N. Hounsfield,⁴⁶⁻⁴⁸ un ingeniero al que le valió la distinción de la orden de la caballería británica y, conjuntamente con Cormack, el Premio Nobel de Medicina de 1979.⁴⁶ Los descubrimientos independientes de Hounsfield y Cormack mostraron la posibilidad de reconstruir un corte transversal de un objeto de un animal de experimentación y, finalmente, de un ser humano con precisión bastante elevada, lo que permite el examen visual de la anatomía de una persona sin necesidad de practicar cirugía invasora. Se realizó el primer escaner, con el prototipo que había sido instalado en el Hospital Atkinson Morley, al sur de Londres, a una mujer de la que se sospechaba que padecía un tumor en el lóbulo frontal. El escaner se practicó el 1 de octubre de 1971. El cirujano que la operó, comentó que se veía exactamente igual que en la imagen del escaner. (Figura 3) En los años siguientes, se refinó la técnica del TC, y la calidad de las imágenes de los cortes mejoró categóricamente. El haz para los aparatos originales de TC médico era en forma de abanico, lo que proporcionaba imágenes de los cortes del individuo. Cuando se integraron cortes adyacentes, se pudo generar un volumen tridimensional (3D).⁴⁶

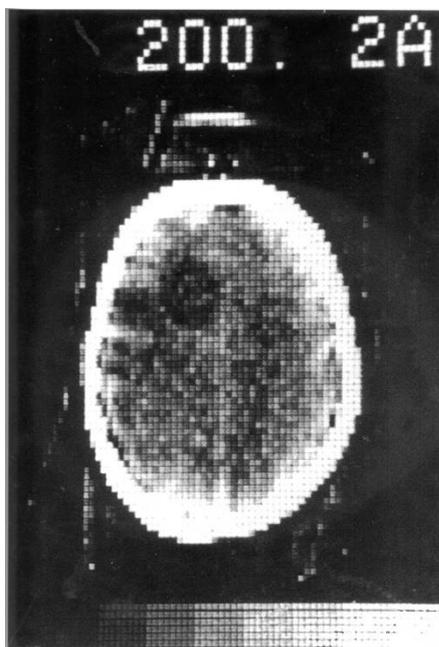


Figura 3. Imagen del primer paciente escaneado con el prototipo EMI del Hospital Atkinson Morley el 1 de Octubre de 1971.⁴⁶

El CBCT utiliza una forma de haz que proporciona múltiples imágenes de transmisión que se integran directamente y crean información volumétrica.⁴⁸ Uno de los primeros rastreadores volumétricos en 3D fue el reconstructor espacial dinámico (DSR, *dynamic spacial reconstructor*), concebido en 1975 y finalmente instalado en el Centro de Ciencias Médicas de la Clínica Mayo de Rochester en 1978.⁴⁶ El sistema era muy voluminoso, con un soporte de 4,57 m de diámetro y 6,24 de longitud. El aparato pesaba más de 15.200Kg.

Desde entonces, la tecnología TC médico ha vivido cuatro cambios generacionales. Los avances incluyen cambios en los detectores, en la fuente del haz de Rayos-X y en el patrón de movimiento de los detectores de rayos. Los TC médicos convencionales son sistemas de gran tamaño y con un elevado precio, por estas razones no son muy útiles para tomar imágenes maxilofaciales de la cabeza.^{47,48}

En 1998 se introdujo en Odontología el CBCT ^{15,18,49-53} en Europa y posteriormente fue aprobado para su uso en Estados Unidos en 2001.^{37,54,55} La

tecnología CBCT ya se había usado en radioterapia, en diagnóstico vascular y en micro-tomografía para aplicaciones biomédicas e industriales.²⁶ En 1995, se presentó en Italia una solicitud de patente para la primera THC maxilofacial comercialmente satisfactoria, cuyos coinventores fueron A. Tacconi y P. Mozzo.⁴⁹ El sistema se presentó en la *Società Italiana di Radiologia Medica* (SIRM) de Milán en junio de 1996, en el *European Congress of Radiology* (ECR) de Viena en marzo de 1997 y en el Congreso Internacional de radiología y cirugía asistida por ordenador (CARS, *computer assisted radiology and surgery*) y técnicas de imagen maxilofacial por ordenador (CMI, *computed maxillofacial imaging*) de París en junio de 1999. La primera máquina CBCT comercializada fue la NewTom-9000, Quantitative Radiology, Verona, Italy.^{49,56} Desde entonces, la tecnología CBCT ha tenido una rápida evolución en Odontología, por la demanda profesional de precisión, reproducibilidad, por la necesidad de imágenes en 3 dimensiones seguras,⁵⁷ por el precio más reducido y por la baja dosis de radiación.⁵⁸

El CBCT proporciona un contraste excelente entre tejidos, elimina el solapamiento de estructuras adyacentes, ofrece vistas ortogonales eliminando los efectos de la proyección, así mismo, un precio más reducido y una radiación mucho menor a la usada con el CT médico⁵⁹ ya que utiliza los Rayos-X de una forma más eficiente y requiere menos energía eléctrica.^{27,47} Desde entonces, el CBCT se ha ido expandiendo en la práctica diaria. Un beneficio obvio es para diagnosticar a pacientes con alteraciones del patrón de erupción tal como erupciones ectópicas, dientes impactados y transposiciones.⁶⁰

4.5.2. Funcionamiento de la tecnología del CBCT

El CBCT es una técnica de adquisición de imágenes médicas basadas en un haz de rayos-X en forma de cono dirigido a un detector en 2D. El sistema fuente-detector realiza una rotación de entre 180° y 360° alrededor del objeto produciendo una serie de imágenes en 2D.^{14,36,37,61} (Figura 4) El tiempo de rotación es entre 8-40 seg. Las imágenes son reconstruidas en información 3D

mediante una modificación del algoritmo original desarrollado por Feldkamp en 1984. Ésta técnica es ampliamente usada en diferentes aplicaciones industriales y biomédicas cómo el micro-CT. Entre las primeras aplicaciones clínicas estaba la tomografía computerizada por emisión de fotón simple (SPECT), la angiografía y la radioterapia guiada por imagen. Los escáneres CBCT dedicados a la región oral y maxilofacial (OMF) fueron introducidos a finales de los años 90.

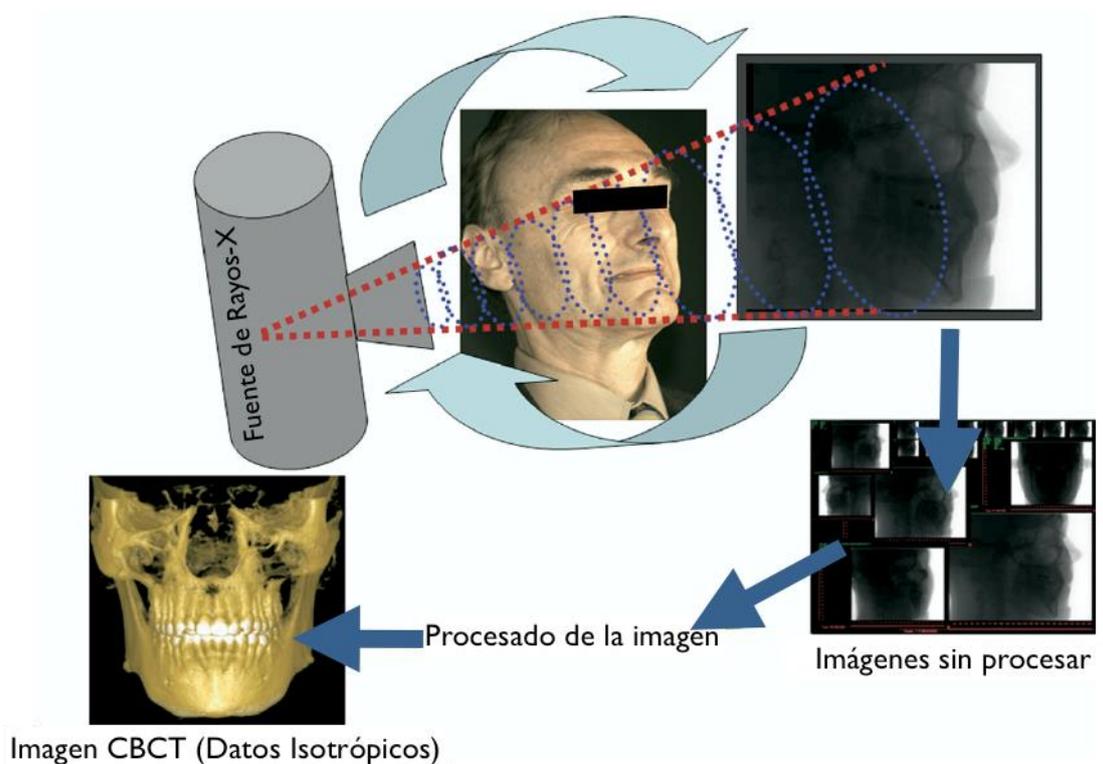


Figura 4. Esquema de la secuencia de la adquisición de la imagen con el CBCT^{37,72}

Los detectores del haz de cono de rayos-X, son detectores de panel plano de alta resolución.⁶² Constan de una matriz de píxeles de superficie amplia de transistores de película delgada de silicio amorfo hidrogenado (a-Si:H) o de una capa de selenio. Los rayos-X se detectan indirectamente mediante un centelleador como el oxisulfuro de gadolinio activado con terbio ($Gd_2O_2S:Tb$) o yoduro de cesio activado con talio ($CsI:Tl$), que convierte a los rayos-X en luz visible que posteriormente se registra en la matriz de fotodiodos.^{13,18,37,49,52} Los

detectores de panel plano, tienen mayor potencial espacial con una intensidad similar cuando se comparan con los detectores CCD (*charge-coupled device*) que fueron sus predecesores.^{52,63}

Gracias a la evolución de la capacidad de los ordenadores y las mejoras en la tecnología de los detectores, es posible tomar múltiples imágenes de baja dosis en un tiempo relativamente corto. Se integran las imágenes para obtener un volumen 3D en unos 30 segundos o varios minutos tras la adquisición de la imagen. Las imágenes en 3D, están compuestas por *voxels* en lugar de los *pixels* usados en imágenes digitales en 2D. El tamaño del *voxel* está determinado por su altura, grosor y profundidad, y se trata del elemento más pequeño de las imágenes volumétricas en 3 dimensiones. (Figura 5) El tamaño del *voxel* oscila desde 0.3-0.125 mm dependiendo del tiempo de radiación. Los *voxels* son la unidad más pequeña de un volumen digital, son isotrópicos y permiten que las mediciones sean precisas en las tres dimensiones del espacio (las dimensiones X, Y y Z son iguales).^{36,37,48} Un *voxel* isotrópico nos permite reorientar la imagen, sin distorsionarla y su calidad viene determinada por la intensidad de grises.^{13,37}

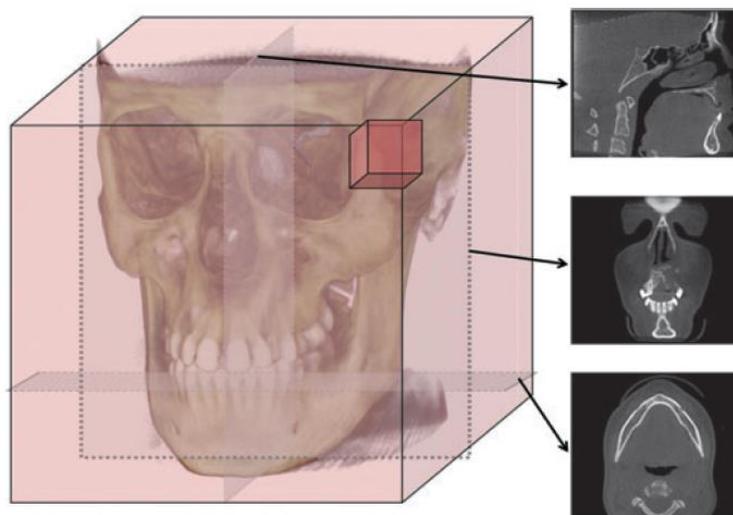


Figura 5. Conjunto de datos del CBCT. El voxel con las mismas dimensiones en los tres planos del espacio. A la derecha, reconstrucción en los tres planos.^{13,37}

La información del CBCT se puede importar como archivos *DICOM* (.dcm) (*Digital Imaging and Communication in Medicine*). Estos archivos son el estándar reconocido mundialmente para el intercambio de pruebas médicas, pensado para su manejo, visualización, almacenamiento, impresión y transmisión. Los archivos del CBCT se pueden almacenar y exportar a *software* que permiten la reconstrucción en 3 dimensiones del esqueleto craneofacial.⁶⁴ (Figura 6) El volumen obtenido, se puede formatear para conseguir múltiples imágenes reconstruidas con perspectiva sagital coronal y axial que serían similares a las imágenes de TC multidetector tradicionales.⁴⁰

La calidad de la imagen no sólo va a depender del tamaño del *voxel* (resolución) y de la intensidad de grises, sino sobre todo de la reducción del ruido o artefactos. Normalmente la boca contiene restauraciones metálicas (amalgamas, *brackets*) que producen destellos o artefactos que interfieren en la calidad de la imagen. La obtención de la imagen en el CBCT se produce mediante radiaciones ionizantes, pero a una menor dosis que el TC médico, lo que provoca menos artefactos y ruidos. A menor radiación, menos artefactos.

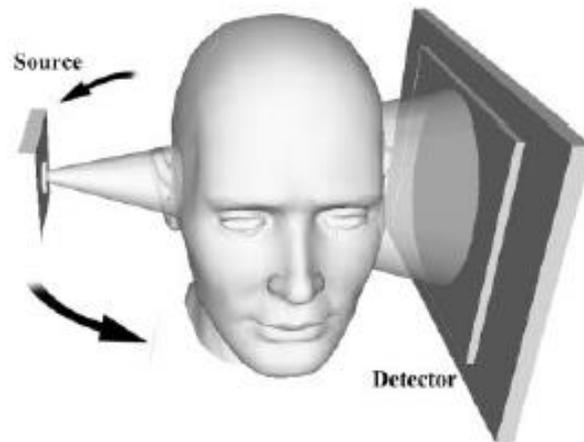


Figura 6. Geometría CBCT en un sistema con el paciente en posición vertical.⁴⁷

Hay varios parámetros que caracterizan la calidad de la imagen, el ruido cuántico, la resolución espacial, la resolución por contraste y la eficiencia del detector cuántico. El ruido cuántico está fundamentalmente relacionado a la calidad de la imagen y va en función de la dosis, la transmisividad del tejido y con el tamaño del *voxel*. El ruido es, en su medida, un determinante principal de la resolución del contraste y junto a los artefactos, constituyen los factores principales de la calidad conjunta de la imagen. En la Figura 7 podemos ver los métodos de reducción de los artefactos de la fuente de fotones hacia el detector. Incluye el filtro de la fuente, la filtración compensatoria, la colimación del haz del rayo, el filtro anti-artefacto y el procesado de la corrección de algoritmos.

Numerosos estudios han comprobado la fiabilidad de las mediciones con el CBCT, y se ha comprobado que las mediciones lineales tienen resolución submilimétrica.^{15,62}

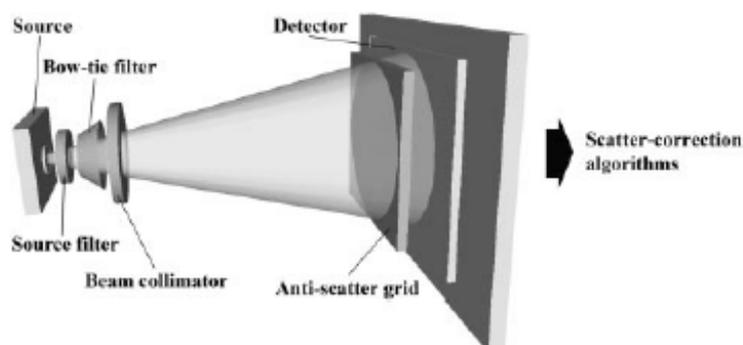


Figura 7. Descripción esquemática de los métodos de reducción de los artefactos de la fuente de fotones hacia el detector.⁴⁷

Hoy en día, muchos clínicos que se dedican a la ortodoncia, están sustituyendo las radiografías tradicionales en 2D por imágenes de CBCT, mientras otros clínicos, añaden éste tipo de imágenes sólo en casos específicos de caninos incluídos o casos que requieren cirugía ortognática.

En los próximos años, se espera un rápido aumento en el uso de CBCT en ortodoncia, así como en otras especialidades. Aparece así la pregunta sobre si la dosis de radiación emitida por éste tipo de imágenes está justificada o no. Durante muchos años, se ha observado que grupos de personas que estuvieron expuestos por diferentes razones a radiación, presentaban un mayor riesgo de desarrollar cáncer. Toda la información de la que se dispone está basada en estudios epidemiológicos de la población, analizando la radiación recibida y los efectos que se producen. Debido a que la información es incompleta para todos los niveles de dosis de radiación, hay incerteza en la forma exacta de la curva dosis-respuesta. Aún así, aunque el riesgo exacto no se conoce, no hay duda que la radiación tiene efectos en el cuerpo humano aunque sea a pequeñas dosis.

4.5.3. Radiación y CBCT

Para medir el riesgo de la radiación de varias técnicas, se debe medir la dosis de radiación. En la radiografía panorámica y en CBCT, el rayo-X rota alrededor de la cabeza del paciente, parcial o totalmente, dependiendo de la técnica, y diferentes zonas anatómicas reciben diferente dosis de radiación, dependiendo de su posición respecto al centro de rotación.

El riesgo también varía dependiendo de la sensibilidad de los tejidos expuestos a la radiación. La radiosensibilidad de los tejidos se tiene en cuenta usando una cuantificación de dosis especial llamada dosis efectiva. Ésta dosis se calcula tomando la dosis equivalente en los diferentes tejidos expuestos y multiplicando por el factor del peso del tejido, que se basa en las diferencias en la efectividad biológica de los diferentes tipos de radiación. Esto significa que la misma cantidad de energía depositada por diferentes tipos de radiación, no produce el mismo daño biológico. Hay numerosos artículos que han estudiado la radiación absorbida por los diferentes tejidos del área maxilofacial.⁶⁵ Para poder comparar las dosis de radiación, y así, el riesgo, la radiación expuesta se convierte frecuentemente en dosis efectiva, y se mide en Sieverts (Sv o milli- [mSv] o micro- [μ Sv]).¹⁸ Aún así, la radiación efectiva, va a depender de los parámetros de la máquina, el kilovoltage (kV) y el miliamperage (mA). La dosis absorbida por el paciente con una OPG o una TeleRx es de entre 10 a 15 μ Sv, en cambio, la dosis absorbida por el paciente si se trata de un CBCT es de entre 45 a 60 μ Sv.³

Cada vez son más los ortodoncistas y cirujanos maxilofaciales los que están realizando CBCT a sus pacientes, en Estados Unidos, en 2010, se realizaban más de 19.500 CT al día.⁶⁶ La introducción y crecimiento del CBCT se ha desarrollado más rápidamente que la adquisición de evidencia científica. Se han desarrollado numerosas guías clínicas para establecer un marco de trabajo y uso de una nueva tecnología o técnica. Hay tres puntos fundamentales en el desarrollo de una guía. Primero se debe creer en la

opinión de un experto considerado juez. Segundo, se debe establecer algún tipo de método de consenso. Y tercero, se debe usar metodologías basadas en la evidencia para desarrollar las guías.^{55,67}

En el contexto del CBCT en odontología, la dosis de radiación es mayor que en las técnicas de radiología convencional, y es particularmente importante contar con los principios de protección de radiación.

En la revisión de la literatura llevada a cabo por Horner,⁶⁷ se encontraron 26 publicaciones que fueron clasificadas en: basadas en opinión del experto, basadas en consenso o las basadas en la evidencia científica. La mayoría de las guías publicadas son de Estados Unidos, Inglaterra o de Instituciones o organizaciones europeas. Los estudios normalmente se encuentran publicados en revistas científicas, pero las guías se pueden encontrar en una gran variedad de sitios, tal como páginas web de sociedades o instituciones, en que el acceso puede estar restringido a sus miembros.

Recientemente, la *Cochrane Collaboration Oral Health Group*, ha establecido un depósito Internacional de guías para ayudar a la identificación y revisión de tópicos que pueden informar del desarrollo de guías, identificar áreas de duplicados, donde las tablas podrían ser compartidas entre grupos de estudio.

En Europa, los intereses en éste tópico están representados en el proyecto SEDENTEXCT de la Comunidad Europea de la Energía Atómica. Tiene el objetivo de recoger la información necesaria y científica para definir el uso clínico del CBCT.¹⁶ Ésta organización está estableciendo guías provisionales específicas para el uso del CBCT en odontología. La última actualización es de 2012, con la edición del Radiation Protection nº172.¹⁶ En estados Unidos, la publicación equivalente fue en 2013 y se trata de un consenso.⁶⁸

La gran cantidad de máquinas CBCT que hay en el mercado, tienen diferentes calidades de imagen y la capacidad diagnóstica de cada máquina varía en función del modo de funcionamiento. Por ello es tan difícil elaborar guías "definitivas" apoyadas en evidencia científica en CBCT. Este hecho puede ser verdad, pero no justifica pasividad entre los investigadores y las personas que desarrollan estas guías. El esfuerzo debería seguir concentrado en producir las mejores guías y la aproximación más transparente en los puntos en que falta evidencia científica.⁶⁷

Es importante seguir las guías de las instituciones oficiales y guiarse también por el principio ALARA.^{17,18,67,69} El término ALARA, acrónimo de *As Low As Reasonably Achievable* (tan bajo como sea posible),^{17,18} fue acuñado en 1977 por la ICRP, en su publicación 26 y desde entonces ha estado presente en multitud de recomendaciones y leyes sobre protección radiológica. La EADMFR (*European Academy of Dentomaxillofacial Radiology*), también propone como regla general, que el área de visión o *field of view* se limite al área de interés de estudio, para así, reducir al máximo la dosis de radiación. La minimización de la dosis se puede conseguir:

1. Siguiendo un correcto criterio de selección tras estudiar la historia clínica del paciente.
2. El manejo radiográfico por personal entrenado para ello.
3. La mayor distancia de la fuente radiactiva, menor dosis se recibe.
4. Un buen blindaje de las paredes o la colocación de cristales plomados.
5. El uso de factores técnicos correctos, incluyendo la geometría del rayo, su energía, la colimación y la filtración
6. El uso de un detector de Rayos-X rápido para obtener imágenes radiográficas de buena calidad diagnóstica.

Hay que tener cuidado con no malinterpretar el concepto ALARA, no significa simplemente disminuir la dosis absorbida sino de una optimización de la misma. Esta optimización resulta de una evaluación entre la dosis y los recursos disponibles para la protección. La mejor opción puede no ser la que nos lleva a una menor dosis pero si será la más optimizada.

5. Material y métodos

5. MATERIAL Y MÉTODOS

5.1. Material

El estudio fue aprobado por el Comité de Ética de Investigación Clínica de la Universitat Internacional de Catalunya con el código ORT-ELM-2013-03.

5.1.1. Selección de la muestra

Se obtuvieron ortopantomografías, teleradiografías laterales de cráneo y CBCT de 30 pacientes, que habían sido realizadas en un mismo tiempo para su diagnóstico de ortodoncia o de cirugía ortognática.

El manejo de los datos personales y de las radiografías de los pacientes se hizo de forma anónima, además, sus datos personales no tuvieron relación con el estudio. Para asegurar ésta disociación, a cada uno de los pacientes, se le adjudicó un número del 1 al 30 aleatoriamente y se listaron para realizar las mediciones de forma que no se pudiera conocer de qué paciente se trataba en cada momento. Para ello, la relación entre estos números y los datos del paciente se registraron en un archivo diferente. Éste, está disponible para posibles futuras auditorias, inspecciones o simplemente para verificar la autenticidad de los datos recogidos.

5.1.2. Criterios de Inclusión

Los criterios de inclusión fueron:

- Disponibilidad de registros en perfecto estado para poder ser estudiados
- Pacientes con ortopantomografía, teleradiografía lateral de cráneo y CBCT realizados en un mismo tiempo
- No alteraciones de la morfología dental

- No alteraciones del plano oclusal
- No más de una ausencia dental por cuadrante

5.1.3. Criterios de Exclusión

Los criterios de exclusión fueron:

- No disponibilidad de registros, mala visualización, errores en la toma que no permitiera el posterior estudio
- Pacientes con ortopantomografía, teleradiografía lateral de cráneo y CBCT no realizados en un mismo tiempo
- Pacientes con alteraciones de la morfología dental
- Pacientes con alteraciones del plano oclusal
- Pacientes con más de una ausencia dental por cuadrante, anterior al primer molar

5.1.4. Muestra estudiada y cálculo del tamaño muestral

Para determinar el tamaño muestra, se utilizó la Calculadora de tamaño muestral Granmo (versión 7.12. Abril 2012). Aceptando un riesgo alfa de 0.05 y una potencia del 95% con un test bilateral, se necesitó un tamaño muestral de 26 pacientes para determinar una diferencia igual o mayor a 5 grados, asumiendo una desviación estándar de 5 grados, tal cómo se determina en distintas publicaciones.^{2,5,8}

Se disponía de una muestra inicial de 35 pacientes que tenían los tres registros realizados en un mismo momento, sin embargo, tras aplicar los criterios de inclusión y de exclusión, la muestra final la constituyeron 30 pacientes con ortopantomografía, teleradiografía lateral de cráneo y CBCT. Un 70% fueron mujeres y el 30% restante fueron hombres.

5.2. Métodos

5.2.1. Toma de registros

Se procedió a recoger la muestra de 2 clínicas.

- Instituto Maxilofacial en el Centro Médico Teknon (Barcelona)
- Clínica Odontológica Universitaria (CUO) de la Universitat Internacional de Catalunya (UIC), Barcelona.

Todos los pacientes habían firmado un consentimiento informado en el Instituto Maxilofacial en el Centro Médico Teknon (Barcelona) y en la Clínica Odontológica Universitaria (CUO) de la Universitat Internacional de Catalunya (UIC), Barcelona.

El aprendizaje para el uso, definición de planos, manejo del software del CBCT y la calibración, se realizó con la especialista en planificación 3D del Instituto Maxilofacial en el Centro Médico Teknon (Barcelona).

5.2.2. Variables estudiadas

Las ortopantomografías y teleradiografías laterales de cráneo se guardaron en formato .jpeg y los CBCT se guardaron en formato .dcm para su posterior medición.

Las mediciones sobre las ortopantomografías y las teleradiografías laterales de cráneo se realizaron mediante el programa AUTOCAD® 2012. Las radiografías se introdujeron en formato .jpg como imágenes en el programa.

En las ortopantomografías, para definir el plano oclusal, se trazó una línea que pasaba por la cúspide mesio-vestibular del primer molar superior y por el

borde incisal de los incisivos centrales superiores de los dientes del primer y segundo cuadrante por separado. Se trazaron líneas en el eje longitudinal de los dientes maxilares y mandibulares. A nivel de molares se trazaba la línea que pasaba por el surco vestibular de los primeros molares y la zona más profunda de la furca a nivel vestibular. A nivel de los premolares se trazaba la línea por el eje axial de la cúspide vestibular y el extremo del ápice radicular (raíz vestibular en casos de premolares birradiculares). A nivel de los caninos se trazó la línea que pasaba por el eje axial de la corona en su cara vestibular y el extremo del ápice radicular. (Figura 8 y Figura 9) Las líneas llegaban a cruzar el plano oclusal, para así, mediante la opción mediciones angulares del programa, se obtuvieron los resultados de angulación distal para cada uno de los dientes medidos.

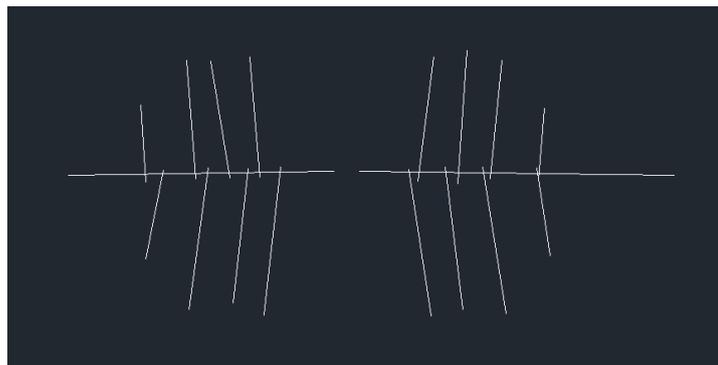


Figura 8. Imagen de los ejes axiales de caninos, premolares y molares y el plano oclusal del paciente #12

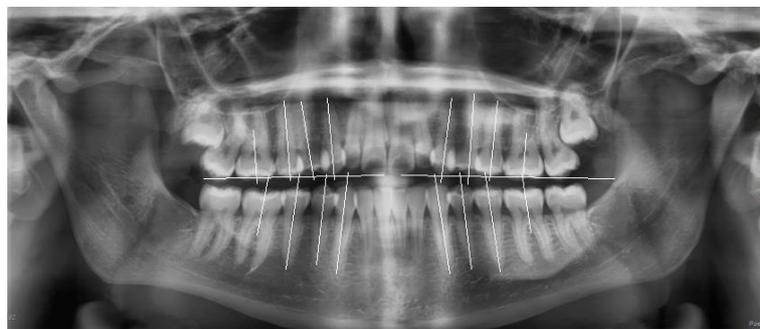


Figura 9. Imagen de los ejes axiales de caninos, premolares y molares y el plano oclusal sobre la OPG del paciente #12

En las teleradiografías laterales de cráneo, para definir el plano oclusal, se trazó una línea que pasaba por el borde incisal de los incisivos superiores y por la cúspide mesial del primer molar superior. A nivel de los incisivos superiores e inferiores se trazó una línea que pasaba por el extremo del ápice y por el borde incisal de cada incisivo. Las líneas llegaban a cruzar el plano oclusal, para así, mediante la opción mediciones angulares del programa, se obtuvieron los resultados de angulación para cada uno de los dientes medidos.

Los CBCT se obtuvieron en formato DICOM (*digital imaging and communications in medicine*) de la máquina iCAT. Se utilizó el programa SIMPLANT® O&O *Version 3.0 on Windows*, Materialise Dental para realizar las mediciones. Tras preparar la imagen para su visualización mediante el programa, se definió un plano oclusal verdadero, que pasaba por las cúspides mesio-vestibulares de los primeros molares superiores y el borde incisal de los incisivos centrales superiores.(Figura 10) Después se procedió a definir el eje longitudinal de cada diente. A nivel de molares se trataba de la línea que pasaba por la zona vestibular del surco vestibular de los primeros molares y la zona más profunda de la furca a nivel vestibular. A nivel de los premolares se trataba de la línea que pasaba por la cúspide vestibular y el extremo del ápice radicular (raíz vestibular en casos de premolares birradiculares). A nivel de los caninos se trataba de la línea que pasaba por la cúspide vestibular y el extremo del ápice radicular. A nivel de los incisivos, se trataba de la línea que pasaba por el ápice de los incisivos y el punto medio del borde incisal para cada diente. Se obtuvieron los valores el valor de angulación distal con el plano oclusal para cada uno de los dientes medidos.



Figura 10. Imagen del plano oclusal y de las puntas de las cúspides del paciente #12 sobre el CBCT.

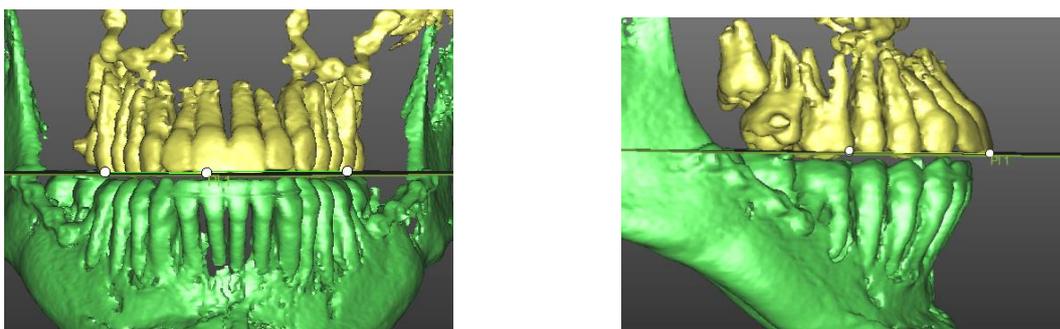


Figura 11. Vista frontal y vista lateral de plano oclusal del paciente #12 sobre CBCT

En las imágenes de las ortopantomografías y de CBCT (Figura 12 y Figura 13), se realizaron las siguientes mediciones:

- Inclinaciones mesio-distales de las raíces de los molares superiores e inferiores
- Inclinaciones mesio-distales de las raíces de los premolares superiores e inferiores
- Inclinaciones mesio-distales de las raíces de los caninos superiores e inferiores

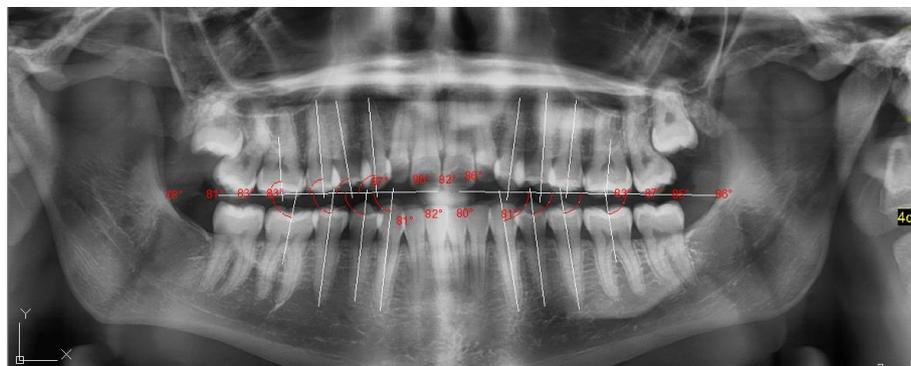


Figura 12. Ortopantomografía del paciente #12 con los ángulos medidos.

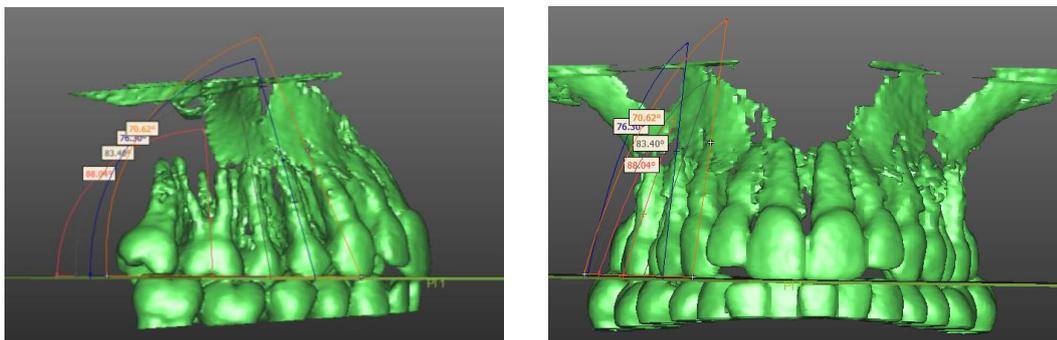


Figura 13. Imagen del CBCT con las angulaciones medidas en maxilar.

En las imágenes de las teleradiografías laterales de cráneo y del CBCT(Figura 14 y Figura 15), se realizaron las siguientes mediciones:

- Inclinaciones vestibulo-linguales de las raíces de los incisivos centrales superiores e inferiores



Figura 14. Imagen de la TeleRx del paciente #12 con los ejes y mediciones de inclinación vestibulo-lingual de los incisivos.

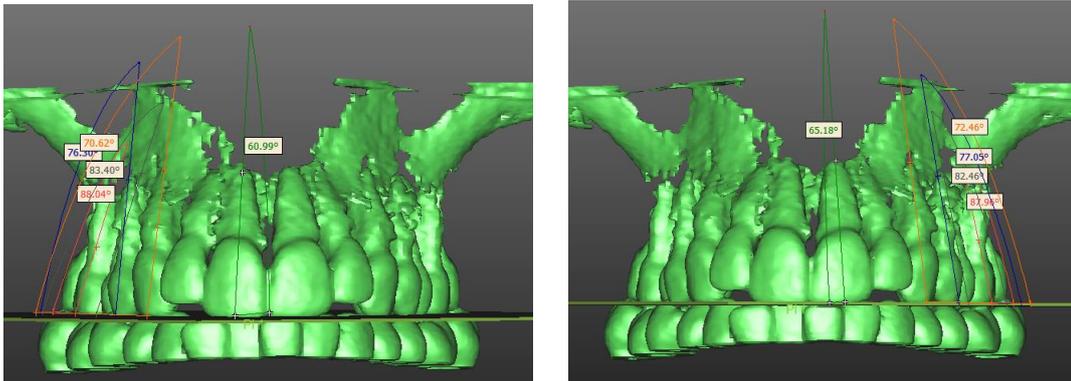


Figura 15. Imagen del CBCT del paciente #12 con los ejes y mediciones de inclinación vestibulo-lingual de los incisivos.

Se obtuvieron un total de 20 mediciones angulares para cada paciente con cada método.

5.2.3. Distribución de la muestra

Cada uno de los dientes fue medido con los diferentes métodos, OPG o Tele Rx y CBCT. A cada uno de los dientes se le adjudicó una codificación.(Tabla 1)

Tabla 1. Codificación de todas las variables y su numeración FDI

Variable	Grupo
1er Molar Superior Derecho (1.6)	1-MOL_SD
1er Molar Superior Izquierdo (2.6)	1-MOL_SI
1er Molar Inferior Derecho (4.6)	1-MOL_ID
1er Molar Inferior Izquierdo (3.6)	1-MOL_II
2º Premolar Superior Derecho (1.5)	2-PMOL_SD
2º Premolar Superior Izquierdo (2.5)	2-PMOL_SI
2º Premolar Inferior Derecho (4.5)	2-PMOL_ID
2º Premolar Inferior Izquierdo (3.5)	2-PMOL_II
1er Premolar Superior Derecho (1.4)	1-PMOL_SD
1er Premolar Superior Izquierdo (2.4)	1-PMOL_SI
1er Premolar Inferior Derecho (4.4)	1-PMOL_ID
1er Premolar Inferior Izquierdo (3.4)	1-PMOL_II
Canino Superior Derecho (1.3)	CAN_SD
Canino Superior Izquierdo (2.3)	CAN_SI
Canino Inferior Derecho (4.3)	CAN_ID
Canino Inferior Izquierdo (3.3)	CAN_II
Incisivo Central Superior Derecho (1.1)	INC-CE_SD
Incisivo Central Superior Izquierdo (2.1)	INC-CE_SI
Incisivo Central Inferior Derecho (4.1)	INC-CE_ID
Incisivo Central Inferior Izquierdo (3.1)	INC-CE_II

5.2.4. Análisis Estadístico

5.2.4.1 Análisis intraoperador.

Para valorar la fiabilidad de las mediciones, se escogieron 6 pacientes de la muestra, al azar. Se realizaron las mediciones y se repitieron a las dos

semanas, para cada una de las técnicas. Se realizó un Alfa de Cronbach con las mediciones para evaluar el grado de error intraoperador al hacer las mediciones.

El mismo investigador (NGT) realizó el total de las mediciones de la muestra de pacientes con cada técnica. No hubo conexión ni directa ni indirecta entre el nombre de los pacientes y sus datos personales.

Para tener un control de las mediciones que se realizaban con las distintas técnicas, se elaboró una base de datos en formato Excel® 2003 (Microsoft, Redmond, Wa, USA).

5.2.4.2 Validación de la muestra.

Para comprobar que la muestra tenía un comportamiento normal se realizó un test **ANOVA** factorial con un intervalo de confianza del **95%** y método comparativo **LSD**.

5.2.4.3 Mediciones.

Se trata de un estudio descriptivo y se han comparado todas las variables para cada una de las tres pruebas mediante una **T-Student** con un intervalo de confianza del **95%**.

Para valorar las diferencias de angulación entre los valores obtenidos en las ortopantomografías y los CBCT y entre los valores obtenidos en las teleradiografías laterales de cráneo y los CBCT, se utilizó una **ANOVA** IC 95% con método comparativo LSD de grupos homogéneos.

Para valorar las diferencias en cuánto a tiempo empleado para realizar todas las mediciones, se utilizó una **T-Student** con un intervalo de confianza 95%.

Se establecieron las diferencias estadísticamente significativas con un p-valor <0.05 . Se establecieron diferencias clínicamente significativas cuando la diferencia de las medidas entre un método y otro fue > 5 grados.

Para el análisis de los resultados, se utilizó el programa **Statgraphics Plus 5.1** *Statistical Graphics Corp. 2001*, Warrenton, Vi, EEUU y el Servicio de Estadística de la Universitat Internacional de Catalunya (UIC), Barcelona.

6. Resultados

6. RESULTADOS

6.1. Análisis Intraoperador

Con las mediciones iniciales y la repetición de éstas pasadas dos semanas por el mismo operador se obtuvo:

Para las mediciones sobre la Ortopantomografía, se obtuvo una Alfa de Cronbach de 0.931, que muestra un alto grado de exactitud y reproducibilidad de las mediciones realizadas.

Para las mediciones sobre la Teleradiografía Lateral, se obtuvo una Alfa de Cronbach de 0.987, que muestra un alto grado de exactitud y reproducibilidad de las mediciones realizadas.

Para las mediciones sobre la Tomografía de Haz de Cono, se obtuvo una Alfa de Cronbach de 0.928, que muestra un alto grado de exactitud y reproducibilidad de las mediciones realizadas.

6.2. Valores de las variables estudiadas

6.2.1. Mediciones en la angulación mesio-distal

En la Tabla 2 aparecen los valores obtenidos al comparar las inclinaciones mesiodistales radiculares realizadas en las ortopantomografías, en las teleradiografías laterales de cráneo y en el CBCT.

Tabla 2. Comparación de los angulaciones mesio-distales y vestibulo-linguales realizadas en la OPG, la TeleRx y el CBCT.

Variable	n	Grupo	Media	SD	P-valor
1-MOL_SD (1.6)	24	CBCT	83,51	5,80	0,602 ^{NS}
		OPG	84,37	5,59	
2-PMOL_SD (1.5)	26	CBCT	82,67	6,04	0,151 ^{NS}
		OPG	85,07	5,88	
1-PMOL_SD (1.4)	21	CBCT	80,14	4,70	0,015*
		OPG	83,71	4,36	
CAN_SD (1.3)	27	CBCT	73,39	4,69	<0,001***
		OPG	84,37	4,48	
INC-CE_SD (1.1)	27	CBCT	57,94	8,09	0,634 ^{NS}
		Tele Rx	56,92	7,49	
1-MOL_SI (2.6)	25	CBCT	86,75	4,55	0,967 ^{NS}
		OPG	86,80	4,00	
2-PMOL_SI (2.5)	27	CBCT	85,60	4,57	0,038*
		OPG	88,30	4,74	
1-PMOL_SI (2.4)	21	CBCT	82,44	5,82	0,047*
		OPG	85,71	4,50	
CAN_SI (2.3)	25	CBCT	76,00	4,29	<0,001***
		OPG	86,28	4,48	
INC-CE_SI (2.1)	27	CBCT	58,07	7,35	0,573 ^{NS}
		Tele Rx	56,93	7,48	
1-MOL_II (3.6)	23	CBCT	84,41	7,10	0,255 ^{NS}
		OPG	82,48	3,78	
2-PMOL_II (3.5)	26	CBCT	81,23	5,92	0,385 ^{NS}
		OPG	82,62	5,52	
1-PMOL_II (3.4)	23	CBCT	82,09	6,43	0,009**
		OPG	87,30	6,54	
CAN_II (3.3)	26	CBCT	79,30	6,07	<0,001***
		OPG	88,84	6,86	
INC-CE_II (3.1)	26	CBCT	75,12	7,93	0,365 ^{NS}
		Tele Rx	73,08	8,23	

1-MOL_ID (4.6)	22	CBCT	82,76	5,89	0,411 ^{NS}
		OPG	81,27	5,99	
2-PMOL_ID (4.5)	24	CBCT	81,97	7,05	0,205 ^{NS}
		OPG	84,63	7,24	
1-PMOL_ID (4.4)	22	CBCT	83,59	5,41	0,003**
		OPG	89,27	6,63	
CAN_ID (4.3)	26	CBCT	80,42	6,89	<0,001***
		OPG	92,23	7,30	
INC-CE_ID (4.1)	26	CBCT	73,99	8,84	0,702 ^{NS}
		Tele Rx	73,08	8,23	

.T-Student con un intervalo de confianza del 95% (^{NS} p>0,05; * p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001).

En la Tabla 3 y en la Figura 16 se muestran las diferencias en las angulaciones mesio-distales entre OPG-CBCT. Valores positivos indican mayor inclinación a mesial en la ortopantomografía que en el CBCT, y valores negativos indican mayor inclinación a distal en la ortopantomografía que en el CBCT.

Tabla 3. Diferencia en la angulación mesio-distal de cada diente entre la OPG y el CBCT.

Variable	n	Media(OPG-CBCT)	SD
1-MOL_SD (1.6)	24	0,86	4,94
2-PMOL_SD (1.5)	26	2,41	4,89
1-PMOL_SD (1.4)	21	3,57	6,92
CAN_SD (1.3)	27	10,98	4,94
INC-CE_SD (1.1)	27	-1,01	3,37
1-MOL_SI (2.6)	25	0,05	4,36
2-PMOL_SI (2.5)	27	2,69	3,99
1-PMOL_SI (2.4)	21	3,28	5,87
CAN_SI (2.3)	25	9,51	6,27
INC-CE_SI (2.1)	27	-1,14	2,63
1-MOL_II (3.6)	23	-1,93	6,38
2-PMOL_II (3.5)	26	1,39	4,05
1-PMOL_II (3.4)	23	5,21	6,23
CAN_II (3.3)	26	9,55	5,39
INC-CE_II (3.1)	26	-2,05	5,38
1-MOL_ID (4.6)	22	-1,48	7,04
2-PMOL_ID (4.5)	24	2,65	7,27
1-PMOL_ID (4.4)	22	5,92	5,93
CAN_ID (4.3)	26	11,80	8,01
INC-CE_ID (4.1)	26	-0,91	5,35

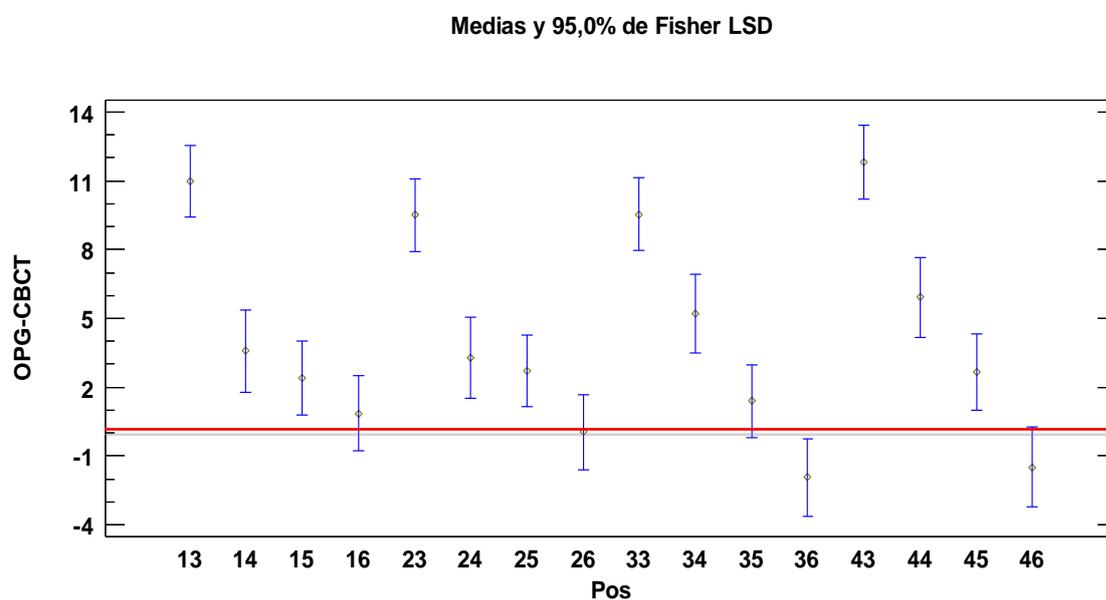


Figura 16. Diferencia de los valores de angulación mesio-distal entre OPG-CBCT.

En la Figura 17 podemos ver la diferencia de los valores de inclinación vestibulo-lingual en la teleradiografía lateral de cráneo y en el CBCT para cada uno de los incisivos centrales superiores e inferiores.

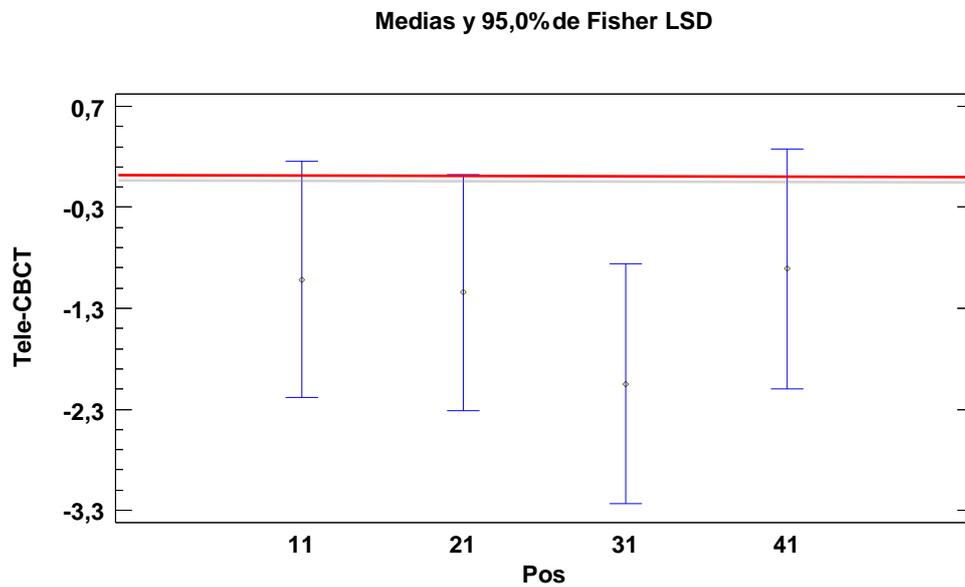


Figura 17. Diferencia de los valores de inclinación vestibule-lingual entre TeleRx-CBCT.

Se realizó la interacción entre la angulación de los dientes medidos en la ortopantomografía y en el CBCT (Figura 18).

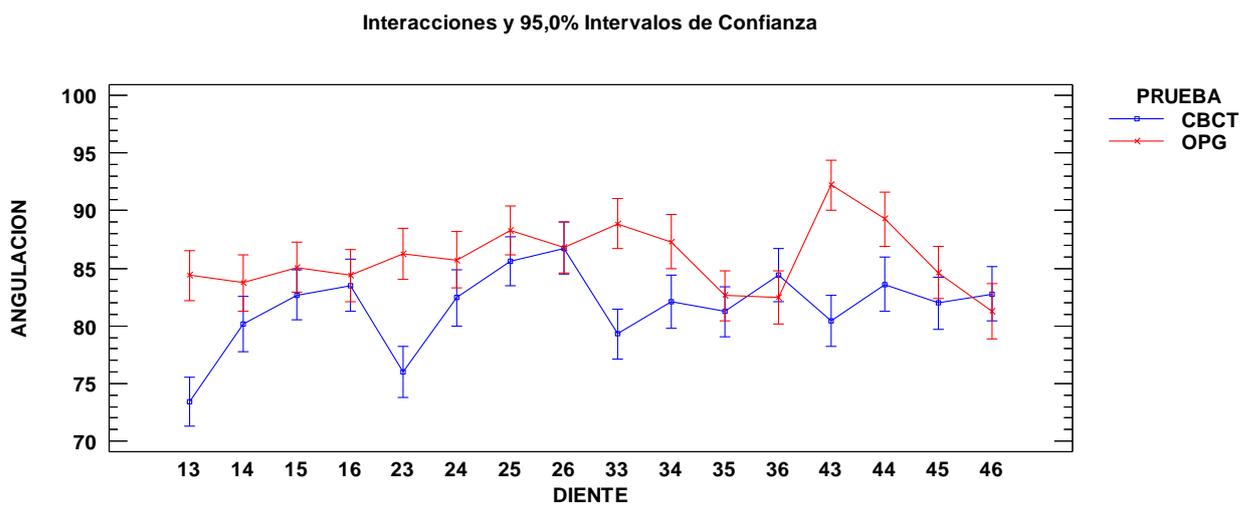


Figura 18. Interacción de la angulación OPG/CBCT

Se realizó la interacción entre la angulación de los dientes medidos en la teleradiografía lateral de cráneo y en el CBCT (Figura 19).

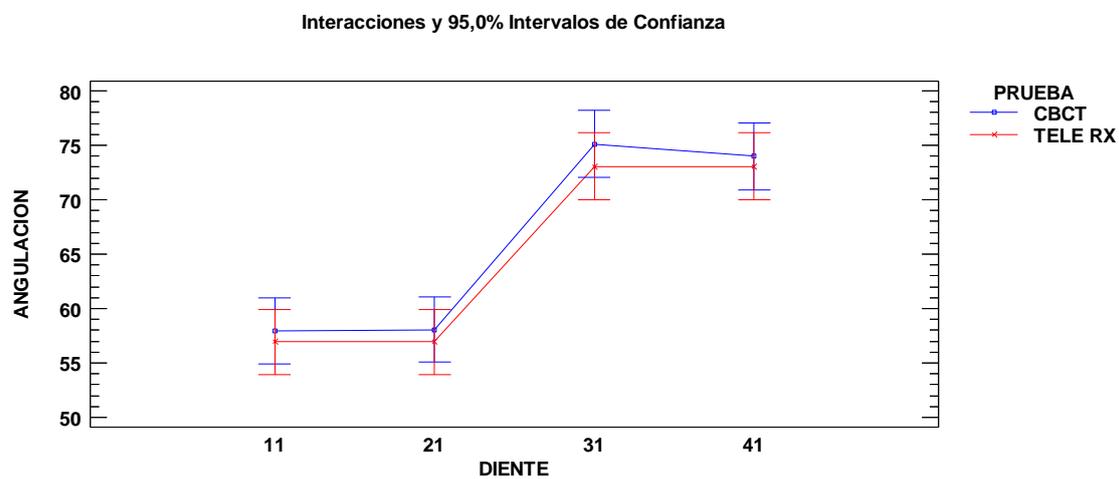


Figura 19. Interacción de la angulación TeleRx/CBCT.

En la Tabla 4 se puede ver el porcentaje de dientes en los que se halló una diferencia entre las inclinaciones medidas en la OPG y en el CBCT mayor de 5 grados.

Tabla 4. Porcentaje de diferencia mayor a 5° consideradas clínicamente significativas en la literatura.

Diente	n	casos (OPG-CBCT) >5°	% ≥ 5°
1-MOL_SD (1.6)	24	5	20,8 %
2-PMOL_SD (1.5)	26	9	34,6 %
1-PMOL_SD (1.4)	21	15	71,4 %
CAN_SD (1.3)	27	25	92,6 %
1-MOL_SI (2.6)	25	5	20 %
2-PMOL_SI (2.5)	27	10	37 %
1-PMOL_SI (2.4)	21	10	47,6 %
CAN_SI (2.3)	25	20	80 %
1-MOL_II (3.6)	23	15	65,2 %
2-PMOL_II (3.5)	26	6	23 %
1-PMOL_II (3.4)	23	11	47,8 %
CAN_II (3.3)	26	20	76,9 %
1-MOL_ID (4.6)	22	12	54,5 %
2-PMOL_ID (4.5)	24	12	50 %
1-PMOL_ID (4.4)	22	12	54,5 %
CAN_ID (4.3)	26	20	76,9 %

6.2.2. Tiempo empleado

En la Tabla 5 y Figura 20 se observa el tiempo empleado para hacer las mediciones angulares por diente mediante los distintos métodos, la OPG y TeleRx y en el CBCT.

Tabla 5. Tiempo empleado para la realización de las mediciones de inclinaciones radiculares en OPG+TeleRx y CBCT

	Media t/diente	Ds	p-valor
OPG + TeleRx	16,31	3,27	<0,001
CBCT	55,69	10,22	

·T-Student con un intervalo de confianza del 95%

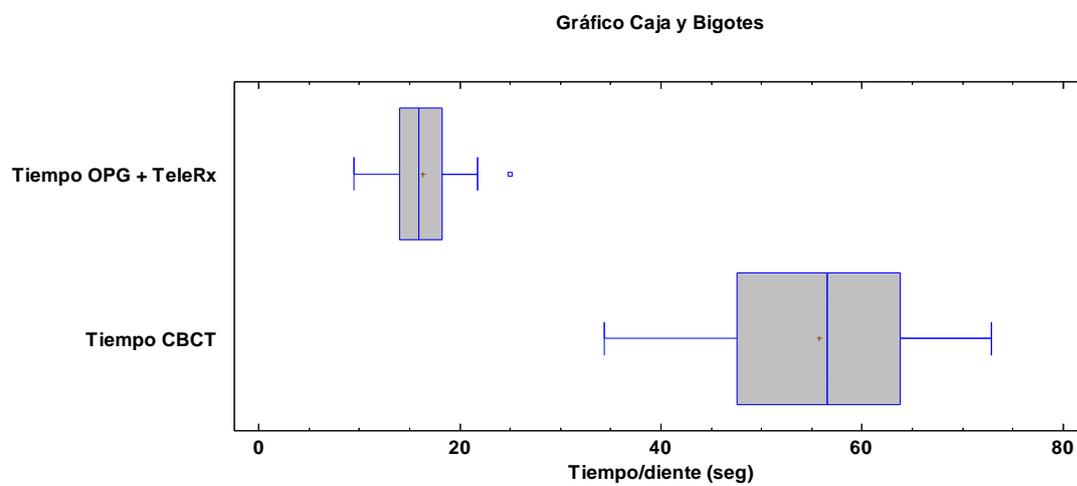


Figura 20. Tiempo, en segundos, de realización de mediciones en CBCT/OPG y TeleRx por cada diente.

7. Discusión

7. DISCUSIÓN

Este Proyecto de Tesis Doctoral ha pretendido comparar y cuantificar las diferencias que se producen al medir las inclinaciones de las raíces dentales mediante los métodos tradicionales (OPG y TeleRx) y los de implantación más reciente (CBCT). Para reforzar los resultados de este Proyecto de Tesis Doctoral, también se ha cuantificado el tiempo que toman las mediciones realizadas con uno y otro método.

7.1. Discusión de la metodología

El diseño del estudio es retrospectivo. Los estudios prospectivos y randomizados tienen una mayor importancia en la escala de validez científica, pero siguiendo el principio ALARA, no sería ético hacer las ortopantomografías, teleradiografías laterales de cráneo y los CBCT a un mismo paciente en un mismo tiempo para realizar un estudio, debido a la radiación que eso supondría, y por ésta razón se recogieron las radiografías, que por alguna razón ortodóncica o quirúrgica, ya se había tomado al paciente con anterioridad.

Al calcular el tamaño de muestra necesario, se utilizó el sistema de cálculo muestral Granmo. Aceptando un riesgo alfa de 0.05 y una potencia del 95% con un test bilateral, se necesitaba un tamaño muestral de 26 pacientes. Tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión a nuestra muestra inicial de 35 pacientes, la muestra final fue de 30 pacientes, siendo una muestra suficiente y superior a las muestras tomadas en otros estudios, que generalmente utilizan fantomas o muestras mucho menores.^{3,7,9,18,20,22} La dificultad a la hora de tomar la muestra fue la necesidad que los 3 registros fuesen realizados en un mismo momento y sin movimientos de ortodoncia realizados entre el momento de los 3 registros.

La muestra provenía de dos centros distintos, y se realizaron las OPG, las TeleRx y los CBCT con máquinas distintas, pero al tratarse de mediciones angulares, los valores no se ven influidos por posibles magnificaciones de las imágenes estudiadas. Además, el operador que ha realizado todas las mediciones ha sido el mismo, (NGT) y se ha validado estadísticamente el trabajo que ha realizado, por lo que las medidas utilizadas son correctas y comparables entre sí.

En ninguno de los casos de los registros tomados para éste estudio, se conoce el personal que realizó la prueba, ésta variabilidad en el personal y la falta de un protocolo para el uso de un aparato en concreto en un estudio, puede haber incrementado el error en el posicionamiento del paciente para la toma radiográfica. Estudios anteriores indican una gran variabilidad y diferencias significativas en las inclinaciones axiales de los dientes en las imágenes de la OPG cuando la posición del paciente varía. Cabe destacar que las dificultades en el posicionamiento del paciente asociadas a la OPG no están presentes en la toma del CBCT en cuánto a tejidos blandos se refiere. De todas formas, para la reproducción correcta de los tejidos blandos se recomienda la toma del CBCT en máquinas que permiten mantener el paciente erguido o sentado en lugar de tumbado.⁹

Respecto al plano de referencia para las mediciones, en la literatura se han tomado distintos planos de referencia cómo: los márgenes superiores o inferiores de la radiografía (es el caso del estudio realizado por Hardy¹⁰), el plano palatino, el plano oclusal, el plano del tipodonto (es el caso de Lucchesi,¹ que utiliza la base del plexiglas), el plano mandibular, el plano posterior de la rama, el plano infraorbitario o las eminencias articulares.^{1,4,11,12} Xie,¹² recomienda usar un plano de referencia próximo a los ángulos medidos y no uno distante. Por ello, es mejor usar el plano oclusal como referencia, como hemos usado en el presente estudio o como han usado Bouwens⁹ y Stramotas.³³ El problema que podría suponer usar un sólo plano oclusal para el maxilar y la mandíbula, podría aparecer en casos de mucha sobremordida o de

una curva de Spee aumentada.²² Sería necesario citar en los criterios de inclusión y exclusión el límite en cuánto a sobremordida presente o curva de Spee.

Se puede usar también como plano de referencia, el plano que describe el alambre de ortodoncia siempre que no contenga dobleces de primero o segundo orden y que se trate de un alambre grueso, como usan en los estudios McKee,^{4,11} García-Figueroa⁷⁰ y Owens.³² El problema aparecería cuando sea necesario realizar comparaciones una vez se haya retirado la aparatología del paciente, ya que los datos no serán comparables exactamente.

El presente estudio se ha realizado sobre pacientes, al igual que otros estudios en la literatura^{7,9,20,22,33,38} pero la mayoría de estudios sobre OPG, se han realizado sobre tipodontos sujetos en cráneos.^{1,3,4,10,11,29,31,70} El uso de un cráneo seco sin tejidos blandos de sustitución puede ser un inconveniente al realizar un estudio, ya que no permite simular la realidad apropiadamente. Excluir el efecto de los tejidos blandos en un estudio *in vitro* sobre un cráneo, se pueden obtener resultados más ideales al ser comparados con mediciones realizadas en la práctica clínica rutinaria.¹⁵

Debemos destacar, que muchos de los estudios utilizan el sistema de la *coordinate measuring machine (CMM)* para realizar las mediciones.^{3,4,11,32,70} Dicha máquina no puede ser usada en pacientes vivos, ya que no es posible tener un contacto directo con el ápice de las raíces de los pacientes. Se trata pues, de una limitación clara del sistema usado en muchos de los estudios que se encuentran en la literatura.

Estudios anteriores indicaron que variaciones de hasta 5° en la angulación mesiodistal de las raíces respecto a un plano de referencia establecido, no alteran las decisiones tomadas durante la planificación del tratamiento de ortodoncia, por lo tanto no tienen una significación clínica.⁹⁻¹¹ En el presente

estudio hemos tomado esta misma variación de hasta 5° para determinar la significación clínica de los valores encontrados.

Una de las limitaciones de la TeleRx, es que en la imagen sólo se puede tomar uno de los dos incisivos centrales para medir su inclinación vestibulo-lingual, ya que ambos incisivos se encuentran superpuestos. Ya se ha visto que el CBCT se trata de una tecnología mucho más precisa en muchos sentidos, pero también hay que destacar que al no superponerse estructuras, se pueden tomar los incisivos centrales superiores e inferiores, por ejemplo, por separado. Por ésta razón, se tomaron los valores de la TeleRx y se duplicaron los valores contando para los dos incisivos, a diferencia de los valores tomados en el CBCT que eran precisos para cada uno de los incisivos.

7.2. Discusión de los resultados

7.2.1. Mediciones de las angulaciones mesio-distales y vestibulo-linguales

En ortodoncia, la OPG y la TeleRx se usan rutinariamente para la evaluación de la inclinación mesiodistal de las raíces de los dientes.^{1,4,10,11,70} Varias prescripciones de brackets se han desarrollado para conseguir la inclinación dental correcta. Frecuentemente, a mitad de tratamiento, se usa la OPG para comprobar tales inclinaciones y proceder a reposicionar brackets o insertar dobleces en el alambre en los dientes que no presentan una inclinación correcta.^{9,10,70} Un aumento en la inclinación lingual de las raíces, frecuentemente aparece cómo una inclinación a mesial de la raíz en la OPG. el efecto de una angulación vestibulo lingual en la angulación mesiodistal ha sido estudiada en numerosos estudio.^{1,11,32,70}

El problema es que aunque la OPG y la TeleRx junto a las fotografías faciales, son los métodos de diagnóstico por la imagen más usados en el diagnóstico de problemas ortodóncicos,^{1,33} el uso de visión 2D en un análisis de

objetos en 3D puede llevar a la superposición de estructuras y errores en la identificación de puntos, esto ha hecho que se sigan buscando nuevas tecnologías para realizar este diagnóstico dental.⁴⁰ Además, la ortopantomografía es un método en el que se han demostrado que las dimensiones de las estructuras se pueden ver magnificadas,^{1,33} y no son válidas para valorar las inclinaciones radiculares en determinadas zonas de la arcada.⁹

Un tratamiento de ortodoncia de alta calidad, requiere que todos los dientes se posicionen en una oclusión estable y funcional y con una buena apariencia estética tras el tratamiento. El objetivo en la especialidad de ortodoncia ha sido mayoritariamente en la posición de las coronas dentales, y se ha prestado poca atención a la posición de las raíces.²⁰ Esto es debido a la posición de las raíces, que raramente suponen un problema funcional o estético, suelen estar situadas en zona no visible y alejadas de los contactos oclusales. De todas formas, el correcto posicionamiento de las raíces en el hueso basal, puede reducir la cantidad de recidiva. Las investigaciones indican que no se puede esperar una estabilidad a largo plazo aún con un buen acabado ortodóncico. Hasta una oclusión correcta natural puede que no se mantenga de por vida.²⁰

Tanto en el presente estudio cómo en el de Bouwens⁹, se han utilizado secciones y orientaciones personalizadas para medir la inclinación mesio-distal dental. Las reconstrucciones 3D del CBCT podrían proporcionar una herramienta más poderosa y simplificada para visualizar las angulaciones radiculares y su proximidad de una mejor forma que no usando cortes. Aun así, las reconstrucciones volumétricas en 3D no son una herramienta efectiva para medir las inclinaciones mesio-distales de los dientes por la dificultad de seleccionar los puntos exactamente en el volumen y para medirlos en un mismo plano.

En el presente estudio, se hallaron diferencias estadísticamente significativas (p -valor $< 0,05$) en el 45% de los dientes medidos, en el 50% de los dientes maxilares y en el 40% de los dientes mandibulares. Detallando, las diferencias estadísticamente significativas fueron en los primeros premolares y caninos superiores derechos e izquierdos, en los segundos premolares superiores izquierdos y en los primeros premolares y caninos inferiores derechos e izquierdos.

Cuando el valor medido es mayor, significa una inclinación más a mesial en dichos dientes, por lo tanto, en nuestro estudio se puede determinar que las mediciones sobre la ortopantomografía resultaron en una inclinación más a mesial en todos los dientes, sobretodo en los caninos maxilares y mandibulares excepto, cómo ya se ha comentado, en los primeros molares mandibulares derechos e izquierdos, en los que se encontró una inclinación más a distal en la ortopantomografía que en el CBCT.

Lucchesi,¹ encontró valores en las inclinaciones dentales más a mesial en todos los casos en los que se medía sobre la ortopantomografía, igual que la tendencia que ha mostrado nuestro estudio, en el que se han detectado valores de inclinación más a mesial en las mediciones sobre ortopantomografías en el 87,5% de los casos. Lucchesi, también encontró que estos valores aumentaban a medida que los pins que simulaban las raíces dentales en el plexiglas, eran angulados más a lingual. Mckee,^{4,11} Peck,⁷ Owens³² y Philipp³⁰ reportaron inclinaciones más a mesial en la zona maxilar de incisivos y caninos cuando medían sobre las ortopantomografías. Y las diferencias más marcadas en las inclinaciones dentales las encontraron en zona de caninos y premolares maxilares y en zona de incisivos laterales caninos mandibulares. Dichos resultados coinciden exactamente con los encontrados en el presente estudio, en el que se han registrado inclinaciones más a mesial en zona de caninos y premolares tanto en dientes maxilares como mandibulares derechos e izquierdos, cuando se medían sobre la ortopantomografía. Del mismo modo que en los estudios citados, las mayores diferencias las encontramos al medir

los caninos tanto maxilares como mandibulares derechos e izquierdos, coincidiendo con los resultados hallados en la literatura.

En el estudio de Peck,⁷ muy parecido al presente estudio, aunque con una muestra significativamente más reducida, se obtuvieron unos resultados similares. Se detectaron inclinaciones a mesial en las mediciones sobre OPG en dientes anteriores maxilares y una inclinación más a distal en dientes posteriores. Las mayores diferencias se encontraban en caninos maxilares y primeros premolares, en los que las diferencias angulares eran de unos 10 grados.

Sólo se ha encontrado un estudio que haya medido una muestra parecida a la nuestra sobre pacientes, comparando las mediciones en la ortopantomografía y en el CBCT, se trata del estudio de Bouwens.⁹ En su estudio, se tomaron 35 pacientes, y encontró diferencias estadísticamente significativas en la angulación radicular mesio-distal en el 75% de dientes maxilares y en el 67% de dientes mandibulares. En el caso de nuestro estudio, hubo diferencias estadísticamente significativas en el 50% de dientes maxilares y en el 40% de dientes mandibulares (p -valor < 0.05).

Una revisión más profunda de los valores encontrados en el presente estudio, permite ver desviaciones clínicamente significativas, es decir, desviaciones mayores a 5 grados en la angulación, en el 50,5% de los dientes maxilares y en el 56,2% de los dientes mandibulares, por el 34% en los dientes maxilares y un 38% de los dientes mandibulares en el estudio de Bouwens. Detallando los resultados encontrados en nuestro estudio, se encontraron diferencias clínicamente significativas (mayores a 5 grados) para el 71,4 % de los primeros premolares maxilares derechos, el 92,6 % de los caninos maxilares derechos, el 80 % de los caninos maxilares izquierdos, el 76,9 % de los caninos mandibulares izquierdos, el 54,5 % de los premolares mandibulares derechos y el 76,9 % de los caninos mandibulares derechos (tabla 8) Cabe destacar que las mayores diferencias se han encontrado al medir los caninos

tanto maxilares como mandibulares con unos valores siempre mayores a 8° de diferencia. Las diferencias encontradas en los premolares varían entre 0 a 5° en premolares maxilares y entre 0 y 8° en premolares mandibulares. Sólo se han hallado valores de inclinaciones inferiores en la ortopantomografía, en el caso de los molares inferiores derechos e izquierdos. En los molares superiores se han hallado diferencias más cercanas a 0, es decir, valores más similares al medirlos sobre la OPG y el CBCT.

Las mayores diferencias las encontramos en caninos tanto superiores como inferiores derechos e izquierdos, datos que coinciden con el estudio de Bouwens, y el de Peck, en que las diferencias entre las mediciones sobre la OPG y el CBCT se hallaron en los caninos superiores derecho e izquierdo. En sus estudios las mayores diferencias en arcada mandibular fueron en los primeros premolares derechos e izquierdos. Destacar que en el estudio de Peck, la diferencias fueron de 10° de inclinación más a mesial en caninos y premolares maxilares medidos sobre la OPG. Podemos ver un resumen de los artículos encontrados en la literatura.(Tabla 6 y Tabla 7)

Los resultados anteriormente citados, corroboran los cambios realizados en el *American Board of Orthodontics* de excluir la puntuación final de los caninos cuando hay que valorarlas sobre OPG,^{25,39} ya que las mayores diferencias en las angulaciones radiculares encontradas en nuestro estudio, se han encontrado en la zona de caninos tanto maxilares como mandibulares.

Tabla 6. Resumen estudios similares encontrados en la literatura con mediciones de inclinaciones mesio-distales radiculares sobre ortopantomografías.

AUTOR (año)	MUESTRA	PLANO DE REFERENCIA	MEDICIONES	MÁQUINA	RESULTADOS
Lucchesi (1988) ¹	Modelo mandibular Plexiglas	Base Plexiglas	Trazado manual	OPG	Valores mayores en la OPG cuando pin inclinado a mesial
McKee (2002) ¹¹	Tipodonto + Brackets en cráneo	Arco superior e inferior	CMM*	OP100 Cranex 3+ Orthophos Siemens PM 2002 EC Planmeca	Inclinaciones a mesial en incisivos y caninos maxilares Inclinaciones a distal en premolares y molares maxilares Inclinaciones a mesial en mandíbula
McKee (2001) ⁴	Tipodonto + Brackets en cráneo	Arco superior e inferior	Diseño personalizado de software	OP100	Calcula diferencias en distintas posiciones del cráneo. Cambios verticales $\pm 5^\circ$ > desviación maxilar Cambios horizontales $\pm 5^\circ$ > desviación mandibular
Hardy (2009) ¹⁰	Cráneo humano	Margen horizontal de la imagen	MIPAC**	Kodak 8000C	Cabeceo superior= inclinación a distal de dientes maxilares Cabeceo inferior=inclinación a mesial de dientes maxilares y a distal de dientes posteriores mandibulares
Owens (2008) ³²	Tipodonto + alambre en cráneo	Arco superior e inferior	CMM*	Siemens Orthopantomogram 10E	Inclinaciones a mesial en dientes anteriores maxilares y a distal en premolares y molares maxilares Inclinaciones a distal en dientes anteriores mandibulares y a mesial en dientes posteriores mandibulares Las mayores diferencias fueron en caninos y premolares maxilares y en incisivo lateral y caninos mandibulares
Rodriguez de Almeida (2006) ³⁵	40 pacientes		Trazado manual	OPG	Tratamiento vs. grupo control. Diferencias significativas en 21, 22, 23 con tratamiento
Stramotas (2002) ³³	Forma arco acrílico + alambre	Plano oclusal	Trazado manual	Siemens Orthophos Plus	Diferencias significativas < 3° entre ideal y con inclinación de plano oclusal
García-Figueroa (2008) ⁷⁰	Tipodonto + Brackets en cráneo	Arco superior e inferior	CMM*	PM 2002 EC Planmeca	Caninos y premolares a mesial cuando dientes inclinados más a lingual

*CMM Coordinate measuring machine. ** MIPAC DentalEye and LEAD Technologies, Inc., 2005.

Tabla 7. Resumen de estudios similares encontrados en la literatura que comparan mediciones de inclinaciones mesio-distales registradas en OPG y en CBCT.

AUTOR (año)	MUESTRA	PLANO DE REFERENCIA	SOFTWARE	MÁQUINA CBCT	RESULTADOS
Tong (2012) ²²	76 pacientes en oclusión normal	Planos paralelos al plano oclusal en maxilar y mandibula	Dolphin 3D	Newtom 3G	Compara lado derecho e izquierdo del paciente. No encontraron paralelismo entre raíces.
Van Eislande (2010) ³	Tipodonto en cráneo	Arco a la altura de la mitad de la raíz	CMM*	Newtom 3G	12 y 22 más a distal en el CBCT 33 más a mesial en el CBCT
Peck (2007) ⁷	5 pacientes	Sin especificar	Newtom 3D	Newtom 9000	Inclinaciones más a mesial en la OPG en dientes anteriores maxilares Inclinaciones más a distal en la OPG en dientes posteriores maxilares Diferencias >10° en caninos y premolares maxilares en la OPG
Tong (2012) ²⁰	Tipodonto en cráneo	Arco a la altura de la mitad de la raíz	Análisis de vector radicular personalizado	Newtom 3G	No encontraron diferencias
Bouwens (2011) ⁹	35 pacientes	Plano oclusal	In Vivo Dental 3D	Newtom 3G	13, 12, 22, 23 inclinados más a mesial en la OPG
Oz (2011) ⁴⁰	11 pacientes	No toman	3D Maxilim®	Newtom 3G	Realizan mediciones lineales. Hallan diferencias significativas en Go-Me y en Co-Gn

*CMM Coordinate measuring machine

No se tiene constancia de ningún artículo, excepto el presente trabajo, que haya medido la diferencia en inclinación vestíbulo-lingual en la TeleRx. En el presente estudio, se encontraron valores mayores en la inclinación vestibulo-lingual de los incisivos centrales superiores e inferiores en el CBCT que en las teleradiografías laterales de cráneo en el 100% de los incisivos, aunque con unos valores mucho más parecidos, sin encontrar diferencias estadísticamente significativas en ninguno de los casos. Valores mayores significa que los incisivos se encuentran más verticalizados, ya que el ángulo de referencia medido es el ángulo formado por el eje del incisivo y el plano oclusal, siempre por palatino o lingual de los incisivos.

Cabe destacar que las mediciones fueron muy similares al medir en la TeleRx y en el CBCT pero siempre se encontraron valores mayores en la medición sobre el CBCT. Significa que para todos los incisivos centrales tanto maxilares como mandibulares, el valor hallado en la teleradiografía lateral de cráneo es menor, por lo tanto, siempre que se medía en la teleradiografía lateral de cráneo se detectó una inclinación más horizontal de los incisivos. Aunque, cabe nombrar que tales diferencias no fueron estadísticamente significativas en ninguno de los casos.

7.2.2. Tiempo empleado

En la revisión de la literatura, no se han encontrado estudios que valoren ni que midan el tiempo empleado para realizar el conjunto de las mediciones que se analizan. En el presente estudio, se quiso medir el tiempo empleado para tener una referencia más a la hora de descubrir si un método es más efectivo que otro en su totalidad. Es importante que para comparar la efectividad y validez de los distintos métodos se tenga en cuenta la radiación, las diferencias en inclinación y el tiempo empleado para obtener las mismas mediciones realizadas con las distintas técnicas.

En la se puede comprobar que la desviación estándar en las mediciones de CBCT es mucho más amplia que en las mediciones en la OPG. Éste resultado nos indica que por la complejidad en la utilización del software al usar imágenes 3D, el tiempo empleado para realizar las mediciones puede variar mucho más.

7.3. Aplicaciones clínicas

Muchos estudios describen la falta de precisión de la ortopantomografía a la hora de interpretar radiológicamente las zonas anteriores de los maxilares.^{1,7,10} Hay que tener en cuenta que los dientes que más se extraen por motivos de discrepancia óseo-dentaria en ortodoncia son los premolares, tanto maxilares como mandibulares.⁷¹ Por ésta razón, el uso de la ortopantomografía para valorar las inclinaciones radiculares en la zona de caninos y premolares se puede considerar de valor discutible.^{4,11,29,30,32,33,70} Cabe comentar que inclinar las raíces hasta que aparecieran paralelas en la ortopantomografía crearía una convergencia excesiva entre las raíces de caninos y primeros premolares.⁷ Por lo tanto, hay que tener claras las limitaciones de la ortopantomografía y tenerlas presentes a la hora de valorar el paralelismo radicular sobretodo en casos de extracciones.

Del mismo modo, muchos profesionales toman ortopantomografías a mitad del tratamiento para evaluar la angulación mesio-distal de los dientes.^{3,7} El valor de OPG a mitad de tratamiento debe tener dos consideraciones básicas:

1. Se deben hacer teniendo en cuenta sus limitaciones (Figura 18)
2. Se debe valorar juntamente con el análisis de modelos

Cabe destacar también, la posibilidad de desarrollar estudios con modelos teóricos tipo fantomas. El objetivo es poder observar la radiación mínima con la que se pueda medir la inclinación de las raíces.

8. Conclusiones

8. CONCLUSIONES

1. Las mediciones de inclinación mesio-distal en la ortopantomografía y en el CBCT no son iguales y existen diferencias. Las ortopantomografías no son tan precisas.
2. Las mediciones de inclinación vestibulo-lingual en la teleradiografía lateral de cráneo y en el CBCT son aceptablemente parecidas.
3. Para valorar las mediciones en el CBCT es necesario más tiempo y una curva de aprendizaje en el manejo del software.
4. No se justifica la realización de un CBCT para valorar la inclinación radicular. Se debe asumir una mayor inclinación mesial en la ortopantomografía.

9. Bibliografía

9. BIBLIOGRAFÍA

1. Lucchesi M V., Wood RE, Nortjé CJ. Suitability of the panoramic radiograph for assessment of mesiodistal angulation of teeth in the buccal segments of the mandible. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 1988;94(4):303–10.
2. Guo H, Zhou J, Bai Y, Li S. A three-dimensional setup model with dental roots. *J Clin Orthod.* 2011;45(4):209-16-6.
3. Van Elslande D, Heo G, Flores-Mir C, Carey J, Major PW. Accuracy of mesiodistal root angulation projected by cone-beam computed tomographic panoramic-like images. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2010;137(4 SUPPL.):94–9.
4. Mckee IW, Glover KE, Williamson PC, Lam EW, Heo G, Major PW. The Effect of Vertical and Horizontal Head Positioning in Panoramic Radiography on Mesiodistal Tooth Angulations. *Angle Orthod.* 2001;71(6):442–51.
5. Andrews LF. The six keys to normal occlusion. *Am J Orthod.* 1972;62(3):296–309.
6. Kapila S, Conley RS, Harrell WE. The current status of cone beam computed tomography imaging in orthodontics. *Dentomaxillofac Radiol.* 2011;40(1):24–34.
7. Peck JL, Sameshima GT, Miller A, Worth P, Hatcher DC. and Cone Beam CT. Education.
8. Plooij JM, Maal TJJ, Haers P, Borstlap WA, Kuijpers-Jagtman AM, Bergé SJ. Digital three-dimensional image fusion processes for planning and evaluating orthodontics and orthognathic surgery. A systematic review. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2011;40(4):341–52.
9. Bouwens DG, Cevidanes L, Ludlow JB, Phillips C. Comparison of mesiodistal root angulation with posttreatment panoramic radiographs and cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2011;139(1):126–32.

10. Hardy TC, Suri L, Stark P. Influence of patient head positioning on measured axial tooth inclination in panoramic radiography. *J Orthod.* 2009;36(2):103–10.
11. Mckee IW, Williamson PC, Lam EW, Heo G, Glover KE, Major PW. The accuracy of 4 panoramic units in the projection of mesiodistal tooth angulations. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2002;121(2):166–75.
12. Xie Q, Soikkonen K, Wolf J, Mattila K, Gong M, Ainamo A. Effect of head positioning in panoramic radiography on vertical measurements: An in vitro study. *Dentomaxillofac Radiol.* 1996;25(2):61–6.
13. Scarfe WC, Nummikoski P, McDavid WD, Welander U, Tronje G. Radiographic interproximal angulations: Implications for rotational panoramic radiography. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol.* 1993;76(5):664–72.
14. De Vos W, Casselman J, Swennen GRJ. Cone-beam computerized tomography (CBCT) imaging of the oral and maxillofacial region: A systematic review of the literature. Vol. 38, *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery.* 2009. p. 609–25.
15. Mischkowski RA, Pulsfort R, Ritter L, Neugebauer J, Brochhagen HG, Keeve E, et al. Geometric accuracy of a newly developed cone-beam device for maxillofacial imaging. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology.* 2007;104(4):551–9.
16. Sedentext. Radiation Protection 172: Cone Beam CT for Dental and Maxillofacial Radiology - Evidence-based Guidelines. Office for Official Publication of the European Communities. 2012.
17. Farman AG. ALARA still applies. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology.* 2005;100(4):395–7.
18. Brooks SL. CBCT Dosimetry: Orthodontic Considerations. *Semin Orthod.* 2009;15(1):14–8.

19. Angle E. Classification of the teeth. 1899. 248-64 p.
20. Tong H, Enciso R, Van Elslande D, Major PW, Sameshima GT. A new method to measure mesiodistal angulation and faciolingual inclination of each whole tooth with volumetric cone-beam computed tomography images. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2012;142(1):133–43.
21. Andrews LF. The straight-wire appliance. Explained and compared. *J Clin Orthod.* 1976;10(3):174–95.
22. Tong H, Kwon D, Shi J, Sakai N, Enciso R, Sameshima GT. Mesiodistal angulation and faciolingual inclination of each whole tooth in 3-dimensional space in patients with near-normal occlusion. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2012;141(5):604–17.
23. Andrews LF. The Straight-Wire Appliance. *Br J Orthod.* 1979;6(3):125–43.
24. Dewel B. Clinical observations on axial inclination of teeth. *Am J Orthod.* 1949;35(2):98–115.
25. American Board of Orthodontics. Information for Candidates. St Louis, MO Am Board Orthod. 2001;13.
26. Hechler SL. Cone-Beam CT: Applications in Orthodontics. *Dent Clin North Am.* 2008;52(4):809–23.
27. Schiff T, D'Ambrosio J, Glass BJ, Langlais RP MW. Common positioning and technical errors in panoramic radiography. *JADA.* 1986;113:422–6.
28. YV P. A new tomographical on axial inclination of teeth. *Acta Radiol.* 1949;32:177–84.
29. GP R. A statistical correlation of individual tooth size distortions on the orthopantomographic radiograph. *Am J Orthod.* 1979;75(5):525–34.

30. Philipp RG, Hurst RV V. The cant of the occlusal plane and distortion in the panoramic radiograph. *Angle Orthod.* 1978;
31. Hernández Soler V. Tomografía de haz cónico (1ª parte) Artículo original. *Rev Esp Ortod.* 2008;38(4):277–88.
32. Owens AM, Johal A. Near-end of treatment panoramic radiograph in the assessment of mesiodistal root angulation. *Angle Orthod.* 2008;78(3):475–81.
33. Stramotas S, Geenty JP, Petocz P, Darendeliler MA. Accuracy of linear and angular measurements on panoramic radiographs taken at various positions in vitro. *Eur J Orthod.* 2002;24(1):43–52.
34. E. W. Fundamentos en radiología dental. Cuarta edición. Ed. Elsevier Maison. 2008.
35. Rodrigues de Almeida-Pedrin R, Pinzan A, Rodrigues de Almeida R, Ursi W, Rodrigues de Almeida Bauru M, José dos Campos S. Panoramic evaluation of mesiodistal axial inclinations of maxillary anterior teeth in orthodontically treated subjects.
36. Sämfors KA WU. Angle distortion in narrow beam rotation radiography. *Acta Radiol.* 1974;15:570–6.
37. Scarfe WC, Li Z, Aboelmaaty W, Scott SA, Farman AG. Maxillofacial cone beam computed tomography: essence, elements and steps to interpretation. *Aust Dent J.* 2012;57 Suppl 1:46–60.
38. Wyatt DL, Farman AG, Orbell GM, Silveira AM, Scarfe WC. Accuracy of dimensional and angular measurements from panoramic and lateral oblique radiographs. *Dentomaxillofacial Radiol.* 1995;24(4):225–31.
39. American Board of Orthodontics. The American Board of Orthodontics Grading System for Dental Casts and Panoramic Radiographs. 2012;(June):1–22.

40. Oz U, Orhan K, Abe N. Comparison of linear and angular measurements using two-dimensional conventional methods and three-dimensional cone beam CT images reconstructed from a volumetric rendering program in vivo. *Dentomaxillofac Radiol.* 2011;40:492–500.
41. Hans MG, Martin Palomo J, Valiathan Cleveland M. History of imaging in orthodontics from Broadbent to cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2015;148:914–21.
42. BH B. A new X-ray technique and its application in orthodontics. *Angle Orthod.* 1931;1:45–60.
43. Malkoc S, Sari Z, Usumez S, Koyuturk AE. The effect of head rotation on cephalometric radiographs. *Eur J Orthod.* 2005;27(3):315–21.
44. Chidiac JJ, Shofer FS, Al-Kutoub a, Laster LL, Ghafari J. Comparison of CT scanograms and cephalometric radiographs in craniofacial imaging. *Orthod Craniofac Res.* 2002;5(2):104–13.
45. Farman AG SW. Hitos en el desarrollo de la tomografía de haz cónico. Artículo original. *Rev Esp Ortod.* 2008;38(4):269–75.
46. Beckmann EC. CT scanning the early days. *Br J Radiol.* 2006 Jan;79(937):5–8.
47. Miracle a C, Mukherji SK. Conebeam CT of the head and neck, part 1: physical principles. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2009;30(6):1088–95.
48. Sukovic P. Cone beam computed tomography in craniofacial imaging. *Orthod Craniofac Res.* 2003;6 Suppl 1:31-36-182.
49. Mozzo P, Procacci C, Tacconi a, Martini PT, Andreis I a. A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *Eur Radiol.* 1998;8(9):1558–64.

50. Gray CF. Practice-based cone-beam computed tomography: a review. *Prim Dent Care*. 2010;17(4):161–7.
51. Kau CH, Richmond S, Palomo JM, Hans MG. Three-dimensional cone beam computerized tomography in orthodontics. *J Orthod*. 2005;32(4):282–93.
52. Carter JB, Stone JD, Clark RS, Mercer JE. Applications of Cone-Beam Computed Tomography in Oral and Maxillofacial Surgery: An Overview of Published Indications and Clinical Usage in United States Academic Centers and Oral and Maxillofacial Surgery Practices. *J Oral Maxillofac Surg*. 2016;74(4):668–79.
53. Pauwels R, Araki K, Siewerdsen JH, Thongvigitmanee SS. Technical aspects of dental CBCT: State of the art. *Dentomaxillofacial Radiol*. 2015;44(1):1–20.
54. Hatcher DC. Operational principles for cone-beam computed tomography. *J Am Dent Assoc*. 2010;141 Suppl(October):3S–6S.
55. Kapila SD, Nervina JM. CBCT in orthodontics: Assessment of treatment outcomes and indications for its use. *Dentomaxillofacial Radiol*. 2015;44(1).
56. Palomo JM, Rao PS, Hans MG. Influence of CBCT exposure conditions on radiation dose. *Oral Surgery, Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endodontology*. 2008;105(6):773–82.
57. Pittayapat P, Willems G, Alqerban A, Coucke W, Ribeiro-Rotta RF, Souza PC, et al. Agreement between cone beam computed tomography images and panoramic radiographs for initial orthodontic evaluation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*. 2014;117(1):111–9.
58. El-Beialy AR, Fayed MS, El-Bialy AM, Mostafa YA. Accuracy and reliability of cone-beam computed tomography measurements: Influence of head orientation. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2011;140(2):157–65.

-
59. Kwong JC, Palomo JM, Landers MA, Figueroa A, Hans MG. Image quality produced by different cone-beam computed tomography settings. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2008;133(2):317–27.
 60. Kokich VG. Cone-beam computed tomography: Have we identified the orthodontic benefits? *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2010;137(4 SUPPL.):16.
 61. Farman AG, Scarfe WC. Development of imaging selection criteria and procedures should precede cephalometric assessment with cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2006;130(2):257–65.
 62. Practice D, Scarfe WC, Farman AG. Clinical Applications of Cone-Beam Computed. 2006;72(1):75–80.
 63. Miracle AC, Mukherji SK. Conebeam CT of the head and neck, part 2: clinical applications. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2009;30(7):1285–92.
 64. Periago DR, Scarfe WC, Moshiri M, Scheetz JP, Silveira AM, Farman AG, et al. Linear Accuracy and Reliability of Cone Beam CT Derived 3-Dimensional Images Constructed Using an Orthodontic Volumetric Rendering Program. *Angle Orthod.* 2008;78(3).
 65. Tsiklakis K, Donta C, Gavala S, Karayianni K, Kamenopoulou V, Hourdakis CJ. Dose reduction in maxillofacial imaging using low dose Cone Beam CT. *Eur J Radiol.* 2005;56(3):413–7.
 66. DL. T. Clinical guidelines and the use of cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2010;138(1):57.
 67. Horner K, O'Malley L, Taylor K, Glenny AM. Guidelines for clinical use of CBCT: A review. *Dentomaxillofacial Radiol.* 2015;44(1).

68. American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology. Clinical recommendations regarding use of cone beam computed tomography in orthodontics. Position statement by the American Academy of Oral and Maxillofacial Radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2013;116(2):238–57.
69. Brown J, Jacobs R, Levring J, Ghagen E, Lindh C, Baksi G, Schulze D, et al. Basic training requirements for the use of dental CBCT by dentists: A position paper prepared by the European Academy of Dento Maxillo Facial Radiology. *Dentomaxillofacial Radiol.* 2014;43(1):1–7.
70. Garcia-Figueroa MA, Raboud DW, Lam EW, Heo G, Major PW. Effect of buccolingual root angulation on the mesiodistal angulation shown on panoramic radiographs. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2008;134(1):93–9.
71. Graber TM, VRIj. *Orthodontics. Current principles and techniques.* 3rd ed. St Louis: Mosby. 2000.
72. Farman AG, Scarfe WC. The Basics of Maxillofacial Cone Beam Computed Tomography. *Semin Orthod.* 2009;15(1):2–13.

Anexo I. Documentos

ANEXO I. DOCUMENTOS



Barcelona, 30 de abril de 2013

Sra. Neus Garriga i Turon
Av. Barcelona 8, Àtic
08380 Malgrat De Mar

Estimada Sra.

Por la presente, le comunico que la Comisión Académica del Doctorado en Ciencias de la Salud, en la su sesión del 26 de abril de 2013, y una vez estudiada su solicitud ha acordado:

Se acuerda admitir a la Sra. Neus Garriga i Turon al Periodo de Investigación del Doctorado de Odontología.

Se acuerda aprobar el Proyecto de Tesis titulado "Usefulness of the Cone Beam Tomography for dental measurements in Orthodontics. A comparative study of dental measurements in Plaster Models, Panoramic X-Ray and Cone Beam Tomography (CBCT)", y nombrar a los Dres. Andreu Puigdollers Pérez y Federico Hernández Alfaro como Directores de la Tesis.

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

Aprovecho la oportunidad para saludarla cordialmente,

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



REGISTRE GENERAL

Sortida

1	3	8	4	9
---	---	---	---	---

Data

09	05	13
----	----	----



CARTA APROVACIÓ DIRECTA PROJECTE PEL CER

Codi de l'estudi: ORT-ELM-2013-03

Versió del protocol:1.0

Data de la versió:21/05/13

Títol:"Usefulness of the Cone Beam Tomography for dental measurements in Orthodontics. A comparative study of dental measurments in Plaster Models, Panoramic X-Ray and Cone Beam Tomography (CBCT)"

Sant Cugat del Vallès, 21 de maig de 2013

Investigadora: Neus Garriga Turon

Títol de l'estudi: "Usefulness of the Cone Beam Tomography for dental measurements in Orthodontics. A comparative study of dental measurments in Plaster Models, Panoramic X-Ray and Cone Beam Tomography (CBCT)".

Benvolgut(da),

Valorat el projecte presentat, el CER de la Universitat Internacional de Catalunya, considera que, el contingut de la investigació, no implica cap inconvenient relacionat amb la dignitat humana, respecte als animals, ni atempta contra el medi ambient, ni té conflictes econòmics i d'interessos.

Per aquests motius, el Comitè d'Ètica de Recerca, **RESOLT FAVORABLEMENT**, emetre aquest **CERTIFICAT D'APROVACIÓ**, per que pugui ser presentat a les instàncies que així ho requereixin.

Em permeto recordar-li que si en el procés d'execució es produís algun canvi significatiu en els seus plantejaments, hauria de ser sotmès novament a la revisió i aprovació del CER.

Atentament,

Dr. Josep Argemí
President CER-UIC

