



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE  
MÉXICO**

---

---



**FACULTAD DE ODONTOLOGÍA**

**CEFALOMETRÍA TRIDIMENSIONAL:  
ALTERNATIVA PARA EL DIAGNÓSTICO  
Y PLAN DE TRATAMIENTO.**

**T E S I N A**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**C I R U J A N A   D E N T I S T A**

P R E S E N T A:

NANCY VERDUGO ALVAREZ

TUTOR: C.D. FRANCISCO JAVIER LAMADRID CONTRERAS

ASESORA: C.D. VANIA PAMELA RAMÍREZ GUTIÉRREZ



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# AGRADECIMIENTOS

A todos mis amigos y compañeros con los que compartí grandes momentos que integraron una parte importante en mi persona.

A los profesores que compartieron sus conocimientos, experiencias y consejos que me motivaron a seguir adelante en esta hermosa profesión.

A la Dra. Fabiola Trujillo por su admirable dedicación para con sus alumnos y que contagió en mí su amor a la Ortodoncia.

A la Dra. Vania Ramírez y al Dr. Javier Lamadrid por su apoyo, orientación y consejos durante la elaboración de este trabajo.

A Tory, a quien le debo su afecto, dedicación y por siempre tener esperanza en mí. Gracias a ella me he convertido en la persona que ahora soy.

A mis tías Enriqueta, Mercedes y Guadalupe, pero especialmente a mi abuelita Ramona, por su apoyo y afecto incondicional a pesar de la distancia.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, la máxima casa de estudios que alberga este país, que me brindó la oportunidad de desarrollarme académicamente en el transcurso de mis estudios y que me llena de orgullo haber sido parte de ella.

# ÍNDICE

1. Introducción .....	4
2. Propósito .....	6
3. Objetivos .....	6
3.1 Objetivo General .....	6
3.2 Objetivos Específicos .....	6
4. Antecedentes Históricos .....	7
4.1 Visiones Tempranas .....	7
4.2 El Tubo de Geissler .....	8
4.3 El Descubrimiento de Röntgen .....	11
4.4 Pioneros de la Radiología Dental .....	12
4.5 Historia de la Cefalometría .....	15
5. Auxiliares de Diagnóstico en el Tratamiento Ortodóncico/Ortopédico --	15
5.1 Estudio Imagenológico .....	21
5.1.1 Estudios Radiográficos .....	21
5.1.1.1 Limitaciones de la Imagen Radiográfica	31
5.1.2 Técnicas Especiales .....	33
5.3 Análisis Fotográfico .....	37
5.4 Análisis de Modelos de Estudio .....	41
6. Bases y Evolución Actual del Estudio Cefalométrico Tridimensional ----	43
6.1 Tecnología Tridimensional .....	50
6.2 Desarrollo de la Cefalometría Tridimensional .....	54
6.3 Futuro de la Imagenología Tridimensional .....	63
7. Conclusiones .....	71
8. Fuentes de Información .....	73

# 1. INTRODUCCIÓN

La Ortodoncia es una rama de la Odontología que se ha distinguido por su compromiso con la precisión y exactitud debido a que se enfoca en estructuras tridimensionales. La llegada de los primeros aparatos de rayos X causó gran emoción entre la comunidad médica y pronto las cefalometrías se convirtieron en una herramienta clínica primordial para el tratamiento ortodóncico. Sin embargo, por más de 70 años, los profesionales de esta área se han ido acostumbrando al uso del método radiográfico para la exanimación de pacientes, principalmente utilizando un solo lado.

Cada vez existe menor interés en el análisis del rostro desde otras perspectivas a pesar de que la misma cefalometría está basada en el estudio directo del cráneo. Lentamente, se ha ido restringiendo la posibilidad de producir nuevas ideas al adoptar un método que presenta limitaciones significantes. Con frecuencia, los ortodoncistas basan su diagnóstico y plan de tratamiento a partir de fotografías y varias radiografías bidimensionales debido a que los dispositivos convencionales para la captura de estructuras anatómicas tridimensionalmente conllevaban un costo bastante elevado, así como de procedimientos complejos que sometían al paciente a radiaciones dañinas.

Los métodos existentes hoy en día para visualizar y registrar los cambios durante y después del tratamiento ortodóncico no ofrecen la exactitud deseada. La imagenología bidimensional presenta limitaciones al evaluar las estructuras



tridimensionales y sus respectivos cambios que indudablemente interfieren para la elaboración de un diagnóstico.

Los avances tecnológicos en los últimos 5 años han permitido rebasar estos impedimentos para la obtención segura de información tridimensional de forma precisa. Diversos métodos de 3D computarizados han sido desarrollados para auxiliar en el diagnóstico y plan de tratamiento, valoración durante el seguimiento y la predicción de resultados, abriendo nuevas posibilidades en la atención odontológica.

La aplicación de esta nueva tecnología ha ido incrementando con una rapidez considerable en el ámbito de la Odontología retomando métodos imagenológicos ya existentes como lo son la resonancia magnética y la tomografía computarizada. Con el comienzo de un nuevo milenio, la comunidad médica se encuentra de nuevo en una posición ideal para renovar los métodos de diagnóstico utilizando un punto de vista tridimensional, obtenido gracias a la tecnología actual.

## **2. PROPÓSITO**

Dar a conocer un nuevo método imagenológico tridimensional disponible como alternativa a la cefalometría radiográfica para la elaboración de un diagnóstico y plan de tratamiento Ortodóncico u Ortopédico.

## **3. OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Conocer una alternativa de auxiliar de diagnóstico actual capaz de reproducir tridimensionalmente el complejo craneofacial que resulta en una mayor precisión del trazado cefalométrico.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Comparar los auxiliares de diagnóstico actuales con los nuevos métodos de imagenología digital.
- Estudiar las técnicas empleadas para la obtención de la reproducción tridimensional del complejo craneofacial.
- Analizar las ventajas que aporta la cefalometría tridimensional en comparación con la cefalometría bidimensional.
- Evaluar las futuras aplicaciones de este método para otras áreas de la Odontología.

## **2. PROPÓSITO**

Dar a conocer un nuevo método imagenológico tridimensional disponible como alternativa a la cefalometría radiográfica para la elaboración de un diagnóstico y plan de tratamiento Ortodóncico u Ortopédico.

## **3. OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

- Conocer una alternativa de auxiliar de diagnóstico actual capaz de reproducir tridimensionalmente el complejo craneofacial que resulta en una mayor precisión del trazado cefalométrico.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Comparar los auxiliares de diagnóstico actuales con los nuevos métodos de imagenología digital.
- Estudiar las técnicas empleadas para la obtención de la reproducción tridimensional del complejo craneofacial.
- Analizar las ventajas que aporta la cefalometría tridimensional en comparación con la cefalometría bidimensional.
- Evaluar las futuras aplicaciones de este método para otras áreas de la Odontología.

## **4. ANTECEDENTES HISTÓRICOS**

En el campo de la Medicina, se requiere del uso de métodos más modernos para obtener imágenes que le permiten entender lo que sucede al interior del cuerpo humano: desde una fractura de huesos hasta la observación de microbios y células; las imágenes que se logran obtener son un claro ejemplo de la conjunción de los avances en ciencia básica y tecnología en favor de la ciencia médica. A partir del descubrimiento de hace más de un siglo de los rayos X, se estableció una fructífera relación entre la investigación en área de la Física y la aplicación de ese conocimiento en Medicina.

No obstante, para que fuera posible el descubrimiento de los rayos X por Wilhelm Conrad Röntgen, varios investigadores que lo precedieron, directa o indirectamente, colaboraron para que él pudiera realizar las respectivas conclusiones de sus investigaciones referentes a la nueva forma de energía que había descubierto.

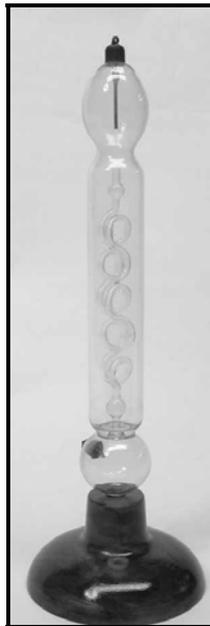
### **4.1 Visiones Tempranas**

En la segunda mitad del siglo XIX existía un gran interés por estudiar la electricidad. M. Faraday llegó a descubrir el fenómeno de electrólisis y establecer las leyes que gobiernan su comportamiento. De su trabajo se dedujo la existencia de una unidad fundamental de electricidad (ánodo y cátodo).

Utilizando tubos rellenos de gases enrarecidos y calentando el cátodo, J. Plucker y J. Hittorf lograron establecer que a partir de éste se emitía un tipo de radiación eléctrica –los rayos catódicos– que producía sombras de objetos sólidos colocados en su trayectoria, y que esta radiación era desviada al estar en presencia de un campo magnético.

#### **4.2 El Tubo de Geissler**

La utilización de tubos rellenos de gases enrarecidos que producían cierta luminiscencia como respuesta a la aplicación de diferencias de voltaje llevó al científico alemán Heinrich Geissler en 1857 a la producción de los tubos que llevan su nombre. (Figura 1)

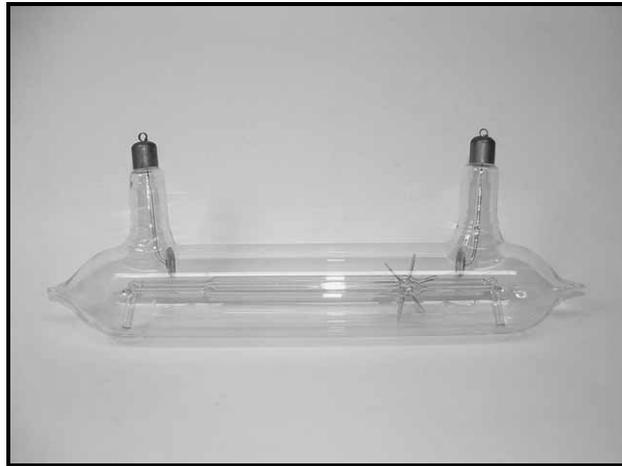


**Figura 1. Tubo de Geissler. (Fuente: Internet)**

Al encerrar en un tubo de Geissler un gas y conectar los electrodos a un generador eléctrico no se observa fenómeno alguno, aunque se aplique un alto voltaje. Esto es debido a que los gases son aislantes casi perfectos en condiciones habituales. Pero al realizar el vacío, manteniendo un voltaje elevado, se empieza a observar un haz luminoso de forma sinuosa que enlaza los electrodos y que implica el paso de una corriente eléctrica.

En el tubo de Geissler se fue aumentando la diferencia de potencial entre los electrodos. De esta forma, la reacción producida tras el arranque de partículas del electrodo negativo, que se propagaban en línea recta y que al chocar con el cristal del tubo en su parte posterior, producían la fluorescencia. Así mismo, se comprobó que un imán podía desplazar la mancha fluorescente producida.

Más de 15 años después del avance científico propuesto por Geissler, el científico inglés William Crookes mejoró el tubo de Geissler, el cual amplió al colocar un par de placas adicionales para crear un campo eléctrico externo. (Figura 2) Su tubo se conoce como tubo de rayos catódicos, ya que se admitió que los fenómenos observados eran debidos a la producción de unos rayos en la descarga del cátodo (electrodo negativo), al aplicar una diferencia de potencial muy elevada entre el cátodo y el ánodo (electrodo positivo). Los rayos son desviados por la acción del campo eléctrico externo hacia la placa positiva y, al final del trayecto, cuando chocan contra las paredes del tubo, producen una fluorescencia característica. Basado en la observación de la existencia de una presión debida a esta radiación y el calentamiento de cuerpos sólidos interpuestos en su trayectoria, pudo reconocer que estos rayos catódicos estaban compuestos, muy probablemente, por partículas.



**Figura 2. Tubo de Crookes. (Fuente: Internet)**

En 1894, Joseph John Thomson midió la velocidad del flujo catódico, y tres años después la desviación de los rayos catódicos hacia la placa positiva del campo eléctrico externo a que son sometidos dentro del tubo de Crookes. Con ello calculó el cociente de la carga entre la masa ( $q/m$ ) de las partículas de los rayos catódicos. Fue al utilizar este mismo tipo de tubos, que logró descubrir el electrón.

### 4.3 El Descubrimiento de Röntgen

En el afán de estudiar la naturaleza de la corriente eléctrica y encontrar su unidad elemental, diversos laboratorios en Estados Unidos y Europa trabajaban en la investigación de los rayos catódicos. En noviembre de 1895, el profesor de Física Wilhelm Conrad Röntgen (Figura 3), que enfocaba su trabajo en esta dirección, descubrió una radiación desconocida, producto de la operación de tales tubos de rayos catódicos desarrollados por Hittorf y Crookes. La llamó *radiación X*.<sup>1</sup>



Figura 3. Wilhelm Conrad Röntgen. (Fuente: Internet)

Tras este acontecimiento, el también rector de la Universidad de Würzburg profundizó con más estudios las propiedades de los rayos que aún permanecen de la misma forma como él las determinó. Los nuevos rayos son invisibles y producen fluorescencia en ciertas sustancias. Asimismo, tienen la capacidad de propagarse en

línea recta y de impresionar películas radiográficas. No pueden ser refractados o reflejados a través de métodos experimentales y difieren de los rayos catódicos por no sufrir desvíos bajo la influencia de un campo electromagnético.

Las condiciones eran propicias y para mediados de enero de 1896 se reportaba la reproducción de los resultados de Röntgen en diversos laboratorios. A partir de la primavera de ese año se podían encontrar anuncios de tubos de rayos X en venta. También en 1896 comienza su aplicación en diagnóstico médico; en Londres se publica lo que posteriormente se conocerá como *Archives of Röntgen Ray*, la primera revista especializada en rayos X.

#### **4.4 Pioneros de la Radiología Dental**

Posterior al descubrimiento de Röntgen, varios personajes colaboraron en el aporte que tendrían los rayos X en la Odontología. Muchos de estos pioneros, de los cuales destacaban múltiples científicos así como de odontólogos, murieron a causa de la sobreexposición a la radiación a falta de los conocimientos sobre los riesgos que conllevaba el empleo de estos rayos.

El odontólogo alemán Otto Walkhoff fue el primero en tomar una radiografía dental. Envolvió una placa fotográfica con papel negro que fijó con ligas de goma para colocarla dentro de su boca y se expuso a la radiación durante 25 minutos. En ese mismo año un médico de Nueva York, W. J. Morton, tomó la primera radiografía dental del continente americano a partir de un cráneo.<sup>2</sup> A partir de esto, se dedicó a realizar conferencias que consistían en compartir sus experiencias y de la utilidad de

los rayos X en la práctica odontológica. Morton también tomó la primera radiografía de cuerpo entero en una lámina de película que medía 0.9x1.80m.<sup>2</sup>

Sin embargo, no fue sino hasta un año después del novedoso descubrimiento, que alguien decidiera darle un uso práctico a las radiografías en el campo de la Odontología. El odontólogo C. Edmund Kells tomó la primera radiografía dental en una persona viva en el estado de Nueva Orleans. (Figura 4) Desafortunadamente, a causa de los numerosos experimentos que realizó durante varios años, sus manos fueron sobreexpuestas a la radiación y su dedicación le costó perder un brazo.



**Figura 4. Dr. C. Edmund Kells. (Fuente: Internet)**

William H. Rollins, un pionero más de la radiología dental, fabricó en Boston la primera unidad dental de rayos X. Durante uno de sus experimentos, sufrió una quemadura en la mano, lo cual despertó su interés en la protección contra la

energía radiante y publicó el primer informe sobre los peligros relacionados con los rayos X.

El ingeniero electricista William D. Coolidge, creó el primer tubo caliente de rayos X catódicos en el año de 1913.<sup>2</sup> Se trataba de un dispositivo de alto vacío que contenía un filamento de tungsteno. Este tubo se convirtió en el prototipo de todos los tubos modernos de rayos X y revolucionó la forma de generar dichas radiaciones.

En 1923, la empresa Victor X-Ray Corporation colocó una versión miniatura del tubo de rayos X dentro de la cabeza de un aparato sumergiéndola en aceite y tal dispositivo se convirtió en el precursor de todos los aparatos modernos de radiología dental. Años más tarde, General Electric introdujo un nuevo aparato con características mejoradas y, a partir de entonces, las variaciones en los aparatos fueron mínimas hasta que en 1957 se introdujo un prototipo con kilovoltaje variable. (Figura 5)



**Figura 5. Primeros aparatos de rayos X en la década de los 50s. (Fuente: Internet)**

#### **4.5 Historia de la Cefalometría**

La cefalometría es un método diagnóstico de gran importancia en Ortodoncia, cuyo arte y ciencia han sido aplicados ya por muchos años. Es sin duda, una de las contribuciones más importantes para el estudio del crecimiento y desarrollo de la ciencia ortodóncica en general. Es una piedra fundamental sobre la cual se basa el conocimiento actual de la Ortodoncia.

La necesidad de relacionar los arcos dentarios con las estructuras craneofaciales inquietó a los ortodoncistas desde los comienzos del siglo XX y puede afirmarse que desde la controversia de Angle y Case hasta nuestros días, han existido muchos intentos para buscar una técnica de diagnóstico que completara la armónica correlación de estas dos áreas estructurales.

A pesar de no haber empleado medidas, Hipócrates se convirtió en el pionero de la antropología física, dejando a las generaciones siguientes numerosas descripciones de las variaciones en la forma de los cráneos.

En el siglo XVI, Albert Dürer y Leonardo Da Vinci dibujaron rostros humanos en los cuales trazaban líneas rectas entre diferentes puntos, uniendo estructuras anatómicas homólogas.<sup>3</sup> Dentro de sus primeros diseños relacionados con estudios métricos de la cabeza, Leonardo Da Vinci, parece haber establecido proporciones entre líneas y segmentos. (Figura 6) Entre éstos destaca una línea que cruzaba por la sutura frontal de los huesos nasales y el dorso de la silla turca, muy similar a la línea S-N que es empleada en nuestros días.

Las variaciones en la dirección de las líneas trazadas denotaban las desviaciones en las estructuras faciales. Éste fue el primer indicio de evaluación de las alteraciones faciales o disimetrías.

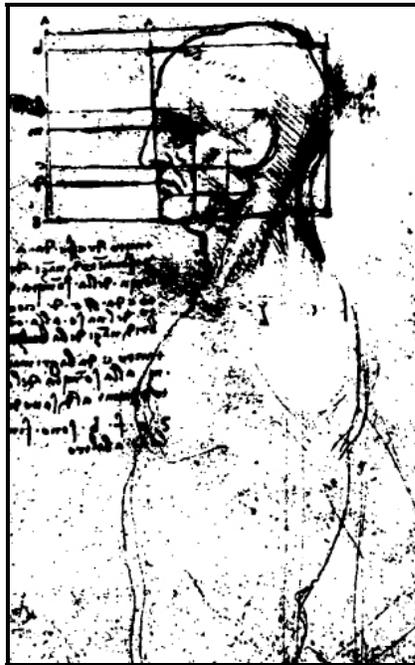


Figura 6. Estudio de la cabeza de un hombre realizado por Leonardo Da Vinci. (Fuente: Internet)

Posteriormente, sobresale el trabajo de Pieter Camper, que en 1780 describe el ángulo facial (Figura 7). Éste ángulo es formado por la intersección del plano de Camper (que se traza desde el conducto auditivo externo hasta la base de la nariz) con la línea facial (una tangente que cruza de la parte más prominente del hueso frontal y la convexidad anterior del incisivo central superior).<sup>4</sup>

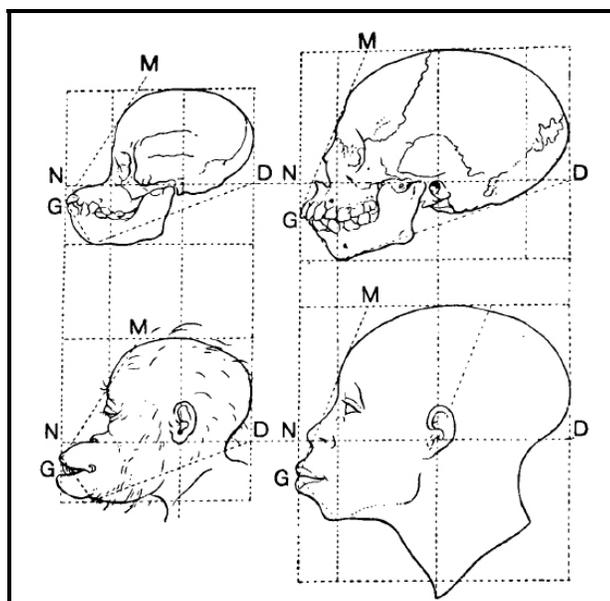


Figura 7. Dibujos de cara y cráneo comparativos determinando el ángulo facial de Camper. (Fuente: Internet)

Desde 1791, a partir de la investigación de Camper sobre el prognatismo craneológicamente, antropólogos se han interesado en la determinación etnográfica de la forma y patrón facial. Se han podido elaborar modelos de la cabeza humana a partir del estudio de los diferentes grupos étnicos, la edad, el sexo y las diversas formas de las estructuras faciales y craneales. A este estudio se le denominó como “Creaneometría” o “Cefalometría”, y es una rama de la Antropometría, dedicada a la medición del hombre.<sup>5</sup>

La craneometría se convirtió en la parte más importante de la osteología, ya que el cráneo es considerado una de las estructuras que mejor se conserva y ofrece la posibilidad de estudiar los rasgos más sobresalientes del proceso evolutivo biológico, así como los caracteres que diferencian a cada sexo y grupo étnico. A pesar de las limitaciones con las que se encontraron, los antropólogos hicieron

grandes contribuciones. Gran parte de lo que ahora se conoce sobre los tipos faciales y de los cambios durante el crecimiento y desarrollo, fueron descritos por primera vez en la literatura antropológica.

De acuerdo con Pitchard en el año de 1843, el componente facial se dividió en dos categorías en relación con la prominencia del perfil: Prognata y Retrónata.<sup>3</sup> En 1872, Von Ihering intentaría la orientación del cráneo según un plano horizontal que sería aceptado años más tarde y aprobado de forma universal en el XIII Congreso General de la Sociedad de Antropología Alemana realizado en Frankfurt-am-Maine. El plano tomó el nombre de plano de Frankfurt y puede ser determinado tanto en un cráneo como en la cabeza de un paciente clínicamente, así como en una imagen radiográfica (Figura 8).

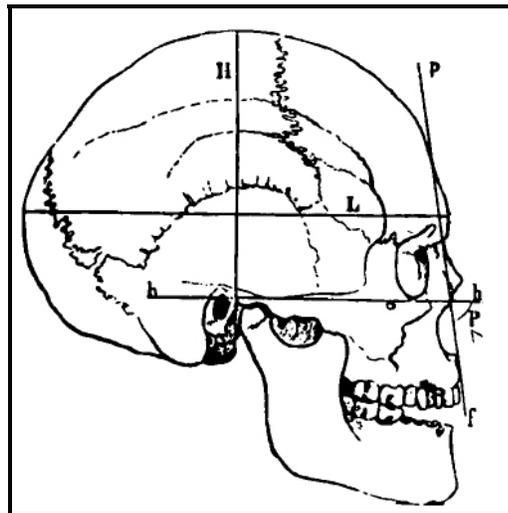
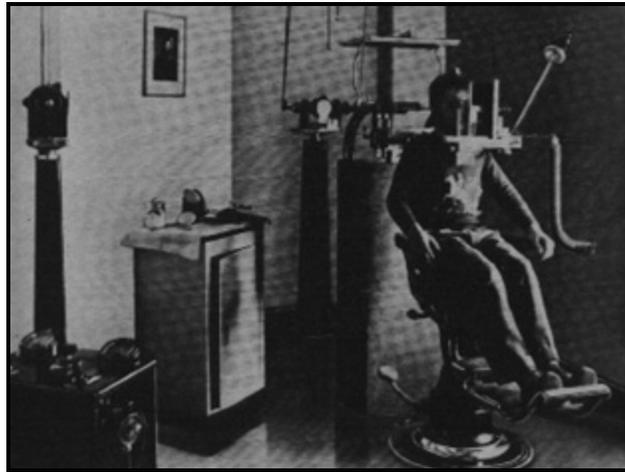


Figura 8. Medidas craneales mostrando el plano de Frankfurt. (Fuente: Internet)

La cefalometría radiográfica tiene su marco inicial inmediatamente después del descubrimiento de los rayos X por Wilhelm Conrad Röntgen en 1895. Asimismo, se debe tomar en cuenta un periodo anterior al del invento de la radiografía.

El primero en destacar la utilidad del estudio de perfil radiográficamente, fue Welcker en el año de 1896, tan sólo un año después del descubrimiento de los rayos X. No obstante, quien logró estandarizar las imágenes radiográficas y emplear el término cefalometría fue Paccini en 1922. En su trabajo *Antropometría Radiográfica del Cráneo* otorgó mayor valor jerárquico a la radiografía para el estudio del crecimiento humano, así como los estadios y las alteraciones. En la publicación observó que las mediciones sobre radiografías eran superiores a las obtenidas antropométricamente y determinó los siguientes puntos craneométricos: Nasió, Pogónion, Espina Nasal Anterior y Gónion.<sup>3</sup>

Como consecuencia de las inconveniencias del análisis transversal, Broadbent creó un cefalómetro en 1931; un instrumento que contenía un dispositivo radiográfico con el que se podían registrar los cambios longitudinales del desarrollo del mismo individuo (Figura 9).



**Figura 9. Cefalostato de Broadbent-Bolton. (Fuente: Internet)**

Broadbent, junto con otros investigadores, exploraron repetidas veces el proceso del patrón del desarrollo y la fuerte predeterminación genética. Elaboró los primeros informes sobre el crecimiento del complejo facial desde su emergencia por debajo del cráneo, un aspecto de gran importancia en la cefalometría.

## **5. AUXILIARES DE DIAGNÓSTICO EN EL TRATAMIENTO ORTODÓNCICO/ORTOPÉDICO**

Antes de iniciar un tratamiento ortodóncico u ortopédico, se deberá realizar un diagnóstico sobre la condición del paciente. Para conseguir un diagnóstico preciso, se hace uso de auxiliares los cuales proporcionarán una visión más clara sobre el problema que se presenta.

### **5.1 Estudio Imagenológico**

El estudio imagenológico comprende el uso de radiografías e imágenes obtenidas por medio de técnicas especiales, que han sido de gran importancia dentro del grupo de auxiliares de diagnóstico en un tratamiento ortodóncico o de ortopedia maxilar.

#### **5.1.1 Estudios Radiográficos**

Se pueden dividir en dos categorías:

- 1) Radiografías para la valoración del estado dental, periodonto y estructuras óseas
- 2) Radiografías para la valoración de anomalías de la dentición en relación con la anatomía craneofacial.

### Radiografía Dentoalveolar

Permite valorar principalmente el periodonto de ambos maxilares. Es utilizada como primera elección de estudio radiográfico del diente. Se emplea, de forma alternativa, cuando existe sospecha de procesos patológicos detectados en la radiografía panorámica. (Figura 10)

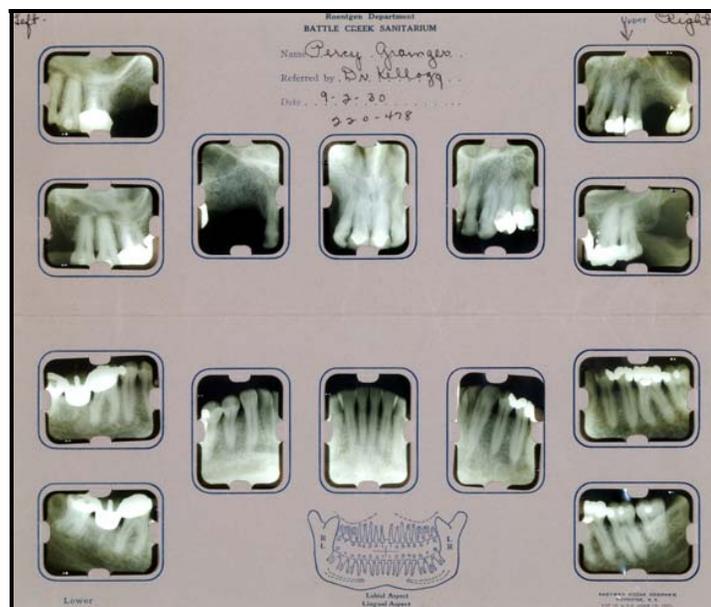


Figura 10. Serie Radiográfica. (Fuente: Internet)

En esta proyección, se distinguen dos técnicas distintas de su realización:

Técnica de Planos Paralelos:

La técnica de planos paralelos, también conocida como técnica de extensión de cono paralelo, técnica de ángulo recto o técnica de cono largo, es un método utilizado para la exposición de películas dentoalveolares. Fue presentada en 1947 por el Dr. Gordon Fitzgerald y por Edmund Kells en 1896.<sup>6</sup>

La técnica consiste en colocar la película dentoalveolar paralela al plano medio del diente, mientras que el haz incidente es perpendicular a ambos planos. Para conseguir el paralelismo entre diente y película, ésta debe colocarse separada del diente, hacia la parte media de la cavidad bucal.

#### Técnica de Bisectriz:

Este otro método para exponer películas dentoalveolares sigue siendo uno de los más difundidos, pese a lo impreciso de su imagen. También conocida como técnica de ángulo de bisectriz, técnica de bisección de ángulo y técnica de cono corto, fue propuesta en 1904 por el Dr. Weston A. Price.<sup>6</sup>

La película se coloca cercana o en contacto con el borde oclusal del diente objeto de estudio. El diente y la película forman un ángulo sobre cuya bisectriz debe incidir el haz perpendicularmente.

La principal desventaja de esta técnica es la gran distorsión obtenida en la imagen, e incluso aparecer incompleta.

### *Radiografía Oclusal*

Fue propuesta por Simpson en 1916 para la examinación de áreas grandes de los maxilares superior e inferior.<sup>6</sup> Se indica su uso como técnica complementaria para determinar de forma tridimensional la posición de dientes retenidos así como una alternativa para valorar el ancho de los dientes no erupcionados de las zonas de apoyo. (Figura 11)



**Figura 11. Radiografía Oclusal. (Fuente: Internet)**

La película se coloca entre las arcadas superior e inferior, mientras que el haz de rayos incide de manera perpendicular (proyección ortoclusal) u oblicua (disoclusal) sobre su cara radiosensible.<sup>7</sup>

### Ortopantomografía

También conocida como radiografía panorámica, de rotación o pantomografía, consiste en una técnica destinada a la obtención de una sola imagen de las estructuras faciales incluyendo las arcadas superior e inferior de la cavidad bucal, así como de los elementos de soporte. (Figura 12)



**Figura 12. Ortopantomografía. (Fuente: Internet)**

Nuumata en 1933 y Paatero en 1948, fueron los precursores de esta proyección. La imagen se obtiene a partir de la rotación de la fuente de rayos X y la película, a la misma velocidad pero en dirección opuesta, alrededor de la cabeza del paciente.<sup>7</sup> En esta técnica, el haz incidente pasa a través de los maxilares, desde lingual a vestibular, y continúa en angulación ascendente con respecto al plano oclusal. El paciente puede encontrarse de pie o sentado en una posición fija, lo que depende del tipo de rayos X panorámico que se emplee.

El movimiento de la película y el tubo genera una imagen mediante un proceso conocido como *tomografía*, la cual es una técnica radiográfica que permite obtener imágenes de una capa o corte del cuerpo, omitiendo las imágenes de estructuras en otros planos. La imagen se adapta a la forma de las arcadas dentales.

Esta proyección ofrece una revisión del estado dental y de las estructuras óseas limitantes de ambos maxilares, así como permitir la valoración de la articulación temporomandibular. La exposición a la radiación es mínima en comparación con otras técnicas empleadas. También puede realizarse como una alternativa para pacientes que no pueden abrir la boca.

Sin embargo, la ortopantomografía presenta desventajas. La principal de ellas es que la imagen resultante no resuelve el detalle anatómico fino, el cual es apreciable en radiografías dentoalveolares intraorales. Por esta razón, no es útil para la detección de pequeñas lesiones periapicales, así como de caries. Otros inconvenientes que pueden presentarse con esta proyección debido a la técnica de rotación, es la ampliación de la imagen, distorsión geométrica, superposición de las imágenes, por mencionar algunos.

El uso de la ortopantomografía está indicado para diversas evaluaciones:

- Presencia de traumatismos
- Valoración de terceros molares
- Enfermedad extensa
- Desarrollo dental (sobretudo en dentición mixta)
- Retención dentaria
- Anomalías del desarrollo

### *Radiografía Carpal*

A través de esta proyección se puede realizar un análisis del desarrollo y crecimiento, evaluando así la ausencia o presencia de los centros de osificación durante la infancia. La radiografía carpal es de gran utilidad para las especialidades de Ortodoncia y Ortopedia Craneofacial, así como la Ortopedia Médica. (Figura 13)



**Figura 13. Radiografía Carpal. (Fuente: Internet)**

### Proyección de Waters

Conocida también como proyección occipitomentoniana, representa una variación de la proyección posteroanterior. Su uso es empleado para la evaluación del área de senos maxilares, frontales y etmoidales, así como de las órbitas y las cavidades nasales. Así mismo, muestra también la posición de la coronoides entre el maxilar y el arco cigomático.<sup>8</sup> (Figura 14)



Figura 14. Proyección de Waters. (Fuente: Internet)

### Proyección Lateral de Cráneo

A pesar de su introducción en la década de 1930, su desarrollo clínico se ha producido en los últimos años. Actualmente, el análisis cefalométrico basado en la radiografía lateral ocupa un puesto de suma importancia entre los métodos diagnósticos en Ortodoncia. Este método de valoración es sólo una de las diversas técnicas existentes para la examinación del paciente y, por lo tanto, no debe ser utilizada como la única forma para el diagnóstico y plan de tratamiento.

La radiografía lateral de cráneo, también conocida como telerradiografía, ofrece un gran número de puntos y líneas de referencia, así como la posibilidad de realizar una variedad de mediciones. Esta proyección se emplea principalmente para la revisión de los huesos faciales y del mismo cráneo para recabar datos tales como anomalías, traumatismos o evidencia de alguna patología. En esta proyección, se pueden distinguir además otras estructuras tales como senos paranasales y el paladar duro. (Figura 15)



Figura 15. Proyección Lateral de Cráneo. (Fuente: Internet)

En Ortodoncia, una proyección lateral de cráneo es usada con frecuencia para la evaluación del crecimiento facial, mientras que en las áreas de Cirugía Bucal y Prótesis Dental, puede proporcionar registros de antes y después del tratamiento.

Esta técnica radiográfica fue introducida por Broadbent y para su ejecución se requiere de un equipo provisto de un cefalostato que tiene la finalidad de mantener al paciente en la posición correcta y deseada. El cefalostato también proporciona la obtención de otras radiografías con el paciente en la misma posición en distintas etapas del tratamiento.

La película se sitúa lateralmente a la cabeza del paciente, sujeta por el soporte del cefalostato, el cual asegura su correcta posición, paralela al plano sagital medio de la cabeza, mientras que el haz incide perpendicular, centrado en el conducto auditivo externo. El tubo se coloca alejado de la película alrededor de 1.80m y la angulación vertical de la proyección ha de ser nula. La correcta ejecución de esta proyección permitirá que las estructuras simétricas dispuestas a ambos lados del plano medio sagital se superpongan, apareciendo un solo perfil para las alas mayores del esfenoides.<sup>7</sup>

En el estudio ortodóncico, la radiografía debe ser capaz de representar bien estructuras de alta densidad, así como de baja densidad o de alta latitud.

A partir de la identificación y determinación de los puntos antropométricos y de medidas lineales y ángulos formados por la unión de estas líneas, puede realizarse un estudio cefalométrico, que constituyen los llamados cefalogramas.<sup>8</sup>

Sin embargo, a pesar de ser uno de los métodos con mayor valor en Ortodoncia, es absolutamente erróneo basar el diagnóstico y planificación de tratamiento con la proyección lateral de cráneo. Esto se debe a que únicamente se puede valorar la anatomía craneofacial en sentido sagital y vertical, más no aporta información sobre la dimensión vertical o la función.

#### **5.1.1.1 Limitaciones de la Imagen Radiográfica**

La imagen radiográfica es una representación limitada de la realidad.<sup>7</sup> Entre los factores limitantes destacan:

- Distorsión
- Resolución del Contorno
- Perspectiva Espacial

#### **Distorsión Radiográfica**

En muy raras ocasiones, el tamaño radiográfico representa al del objeto real. Esto se debe a una serie de factores propios de la proyección que condiciona las dimensiones de la imagen. El haz tiene una distribución cónica, por lo que el tamaño del campo de irradiación aumenta proporcionalmente con la distancia al foco. En una imagen radiográfica, el aumento de tamaño de los órganos es menor al incrementar la distancia del paciente al foco y al reducir la distancia paciente-película. Por esta razón, se emplean las técnicas *tele* en la que se aumenta considerablemente la distancia entre el foco y el paciente.

### Resolución de la Imagen

La geometría de proyección influye también en la nitidez o resolución de la imagen, tanto en los detalles internos como en su contorno periférico. Los extremos o el contorno de una determinada estructura representada radiográficamente no se conforman en una fina línea de contorno, sino en una banda denominada *zona de penumbra*. Cuanto mayor sea la zona de penumbra, menor será la resolución del contorno radiográfico obtenido. Las condiciones que más influyen en el tamaño de la zona de penumbra son las siguientes:

- La zona de penumbra será más pequeña cuanto más cerca esté el objeto que radiografiar de la película.
- A la misma distancia objeto-película, la zona de penumbra será más pequeña cuanto más alejado esté el foco del objeto.
- La zona de penumbra será menor cuanto más pequeño sea el tamaño del foco.

La inadecuada resolución de contornos se puede deber también al movimiento, conocida como *penumbra cinética*. Esto ocurre cuando la película, el paciente, o el tubo se mueven al momento de la exposición. La imagen presentará una gran zona de penumbra. La probabilidad de obtener este tipo de imágenes se disminuye al reducir el tiempo de disparo.

### Perspectiva Espacial

Uno de los problemas o inconvenientes que más se presenta es la que sucede en la comparación de una realidad anatómica de tres dimensiones con una imagen radiográfica que tan sólo cuenta con dos. En ocasiones, la localización de una determinada estructura puede obtenerse de un conocimiento anatómico previo, pero no es siempre tan sencillo. La capacidad de identificar el aspecto anatómico normal de determinada estructura depende mucho del aspecto observado en la proyección.

#### **5.1.2 Técnicas Especiales**

Además de los recursos radiográficos, se emplean también técnicas especiales de imagenología que complementan el grupo de auxiliares de diagnóstico. Entre estas técnicas especiales se encuentran la Resonancia Magnética y la Tomografía Computarizada.

#### Resonancia Magnética

La interpretación por resonancia magnética o RM puede compararse a la realizada con la tomografía computarizada y la ecografía, ya que en estas también se obtienen imágenes a partir de cortes o secciones. En base a la información obtenida de una RM puede realizarse una reconstrucción en 3D. A diferencia de una tomografía, esta técnica especializada no requiere radiaciones ionizantes. Sin embargo, reproduce ineficientemente los tejidos óseos del organismo y los pacientes portadores de objetos metálicos (prótesis, componentes quirúrgicos, marcapasos, etc.) no pueden ser sometidos a este método imagenológico (Figura 16).

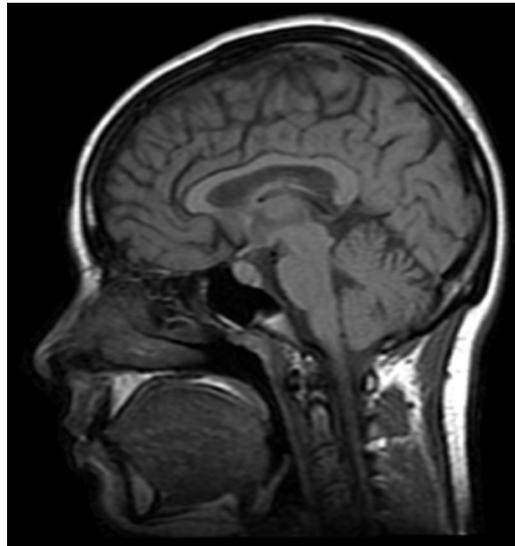


Figura 16. Resonancia Magnética. (Fuente: Internet)

Para esta técnica se realiza una combinación entre un campo magnético y una energía de radiofrecuencia para el estudio de los protones en los tejidos. Su uso se extiende con más frecuencia en el ámbito médico incluyendo al odontológico. Una de sus principales ventajas sobre los pacientes es que no produce radiación ionizante, por lo que puede utilizarse en mujeres embarazadas.<sup>7</sup> Se indica en el estudio de masas tumorales, quistes, adeopatías intraglandulares, entre otros, debido a que proporciona una adecuada información de las lesiones exploradas.

El uso de la RM en el campo de la odontología se indica para el estudio de los tejidos duros y blandos del área dentomaxilofacial, de la cual destacan el disco interarticular (menisco) de la articulación temporomandibular, las glándulas salivales mayores y algunas estructuras de interés estomatológico en el cuello.

### Tomografía Computarizada

En 1972, Godfrey Hounsfield anunció una nueva técnica de imagen a la que dio el nombre de barrido transversal axial computarizado (Figura 17). A partir de entonces, la tomografía computarizada ha recibido varios nombres y en la actualidad el nombre preferido es el de Tomografía Computarizada o TC.<sup>9</sup>

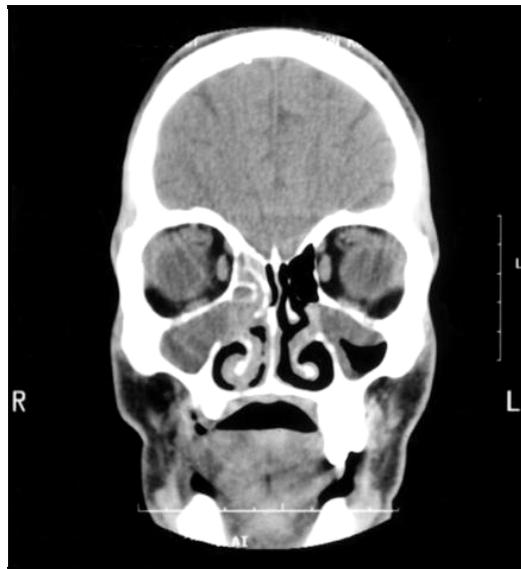


Figura 17. Tomografía Computarizada. (Fuente: Internet)

La TC necesita de un generador de rayos X que trabaje en el rango del alto kilovoltaje. Éste se soporta de una estructura anular sólida motorizada que le permite dar vueltas alrededor del paciente llamado *gantry*. Emite un estrecho haz que atraviesa el cuerpo del paciente precisamente por un plano o sección determinada y cuya radiación remanente es cuantificada por detectores de centelleo, dispuestos ortogonalmente a la fuente que consta de receptores electrónicos de radiación cientos de veces más sensibles que la película radiográfica. Así se determina la densidad de cada una de las unidades de volumen en que está

teóricamente constituida la imagen representativa de este corte, al cual se le denomina como *voxel*. Mediante un giro angular del gantry, tubo y detectores vuelven a estimar densidades de los voxels desde otro punto de vista, evitando estructuras superpuestas.

En un barrido completo de 360°, dentro del mismo plano de corte, la información generada y procesada matemáticamente corresponde a la densidad media real de cada uno de los voxels de esta sección, sin ninguna superposición. A partir de esta etapa, se produce la gráfica del corte correspondiente. La densidad de cada voxel queda numéricamente cuantificada en unidades Hounsfield (uH), donde el cero (número TC), por convención, se asigna al agua y el 1,000 al aire. Una región con número TC de 100uH posee un coeficiente de atenuación lineal que es un 1% más grande que el coeficiente de atenuación lineal de agua. El tejido adiposo ocupa el rango entre 100 y 60, los tejidos blandos entre 10 y 80 y los cuerpos muy densos como el hueso de 400 a 3,000uH. En total, la numeración TC se extiende de 1,000 a 3,095uH, 4,096 valores diferentes en la escala de grises.<sup>7</sup>

Un pequeño desplazamiento rectilíneo de la camilla que soporta al paciente basta para iniciar el estudio de un nuevo plano. La exploración se da por terminada cuando se han obtenido suficientes cortes capaces de dar la información necesaria de la zona objeto de estudio.

### 5.3 Análisis Fotográfico

La evaluación de la relación que mantienen las anomalías de la dentición con el contorno de los tejidos blandos que conforman el rostro del paciente, se realiza en condiciones estandarizadas con fotografías de frente y de perfil. Estas fotografías se toman con el paciente sentado en posición de oclusión habitual relajando los labios y los músculos de la cara.

#### Fotografía de Perfil

Para realizar la proyección de perfil, se deberá colocar la cámara paralela a la línea media del cuerpo. La cabeza del paciente se orienta de acuerdo al plano horizontal de Frankfurt. Los ojos deben mirar al frente y las orejas deberán encontrarse descubiertas. Mediante esta fotografía se podrá observar el tipo de perfil del paciente basándose con los tres planos de referencia que se obtienen: Plano de Frankfurt, perpendicular nasal de Dreyfuss y la perpendicular orbitaria de Simon (Figura 18).<sup>10</sup>



Figura 18. Fotografía de Perfil.<sup>11</sup>

El punto subnasal debe tocar la línea perpendicular al nasión en condiciones ideales. Así mismo, el punto mentoniano en tejidos blandos se encuentra en el centro del campo del perfil maxilar, mientras que el gnation cutáneo coincide con la perpendicular orbitaria.

El perfil puede presentar tres variantes de acuerdo a la posición del punto subnasal con relación a la perpendicular nasal (Figura 19):

- Cara Normal: El punto subnasal coincide con la perpendicular nasal
- Cara Prominente: El punto subnasal se sitúa por delante de la perpendicular nasal.
- Cara Hundida: El punto subnasal se sitúa por detrás de la perpendicular nasal.



Figura 19. Tipos de Perfiles.<sup>10</sup>

La desventaja de este método de análisis es que al existir una posición elevada o deprimida del conducto auditivo cartilaginoso se modifica el plano oculoauricular y, por lo tanto, el estudio del perfil. Sin embargo, la ventaja del análisis de perfil en la fotografía se debe en parte a la posibilidad de observar la modificación de los tejidos blandos durante el tratamiento.

En la fotografía de perfil, también se lleva a cabo el análisis de la curvatura de la cara. Para ello se analiza la relación entre dos líneas rectas: De la frente al borde del labio superior y de éste al pogónion cutáneo.

La disposición de estas dos líneas da origen a tres perfiles diferentes:<sup>10</sup>

- Perfil Recto: Las dos líneas se unen, formando casi una recta
- Perfil Convexo: Se produce una angulación entre las dos líneas de referencia por la retroposición relativa del punto mentoniano.
- Perfil Cóncavo: Se produce una angulación entre las dos líneas de referencia, debido al relativo desplazamiento anterior del punto mentoniano.

### Fotografía de Frente

La fotografía de frente tiene mucho valor debido a que es un gran auxiliar para la valoración de desproporciones y asimetrías faciales tanto en el plano vertical como en el transversal (Figura 20). No obstante, debe realizarse la proyección con suma precisión, ya que una pequeña rotación de la cabeza con relación al plano de la película podría producir grandes variaciones en la relación entre el contorno facial de ambos lados del rostro del paciente (Figura 21). Por lo tanto, debe tenerse en cuenta este punto a pesar de que es normal hasta cierto grado observar asimetría entre una mitad y otra.

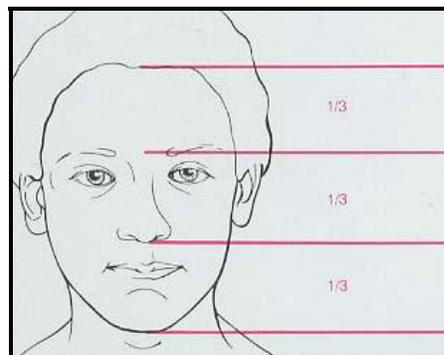


Figura 20. Proporciones Faciales.<sup>10</sup>



Figura 21. Fotografía de Frente.<sup>11</sup>

## 5.4 Análisis de Modelos

El análisis de modelos consiste en el estudio de los tres planos del espacio en las arcadas dentales del paciente, así como la relación intermaxilar, mediante modelos de yeso. (Figura 22)



Figura 22. Modelos de Estudio. (Fuente: Internet)

Hasta hace pocos años, era el único auxiliar tridimensional con el que contaba el ortodoncista (Figura 23). Los planos observados son los siguientes: <sup>10</sup>

- Plano Medial del Rafé
- Plano de la Tuberosidad
- Plano Masticatorio

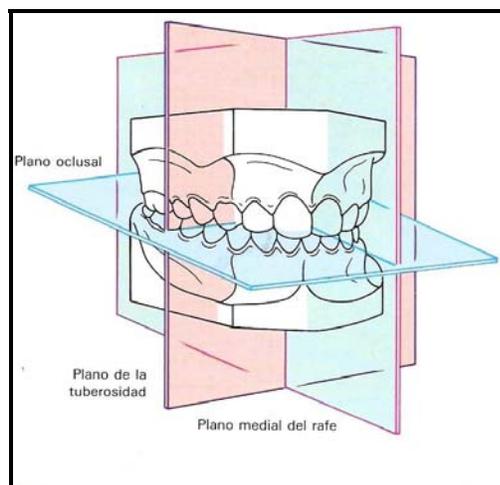


Figura 23. Planos de Referencia de los Modelos de Estudio.<sup>10</sup>

Este método de valoración para el diagnóstico forma parte en la elaboración del plan de tratamiento ortodóncico y ortopédico. En él se valora matemáticamente la anchura y la longitud de la arcada dental en función del tamaño de los dientes.

La relación dada entre la longitud de la arcada dentaria, su anchura y el material dental mesiodistal, es definida por diversos autores mediante *índices*. Entre los análisis de modelos más empleados destacan el de Pont, Moyers, Nance, Bolton y Korkhaus. Este tipo de análisis compara el valor real de cada caso con el valor teórico de la “dentición normal”.<sup>10</sup> Desafortunadamente, las medidas no son aplicables a todas las poblaciones.

No obstante, el análisis de modelos presenta un gran inconveniente a causa de que se compara el valor real de cada caso con el valor teórico de la “dentición normal”. Actualmente, con los conocimientos obtenidos en la rama de la Ortodoncia, este método de diagnóstico posee escasa utilidad diagnóstica. Sin embargo, continúa siendo un método utilizado ampliamente en la consulta.

## **6. BASES Y EVOLUCIÓN ACTUAL DEL ESTUDIO CEFALOMÉTRICO**

El patrón principal que los registros pretenden conseguir es la replicación precisa de la “verdad anatómica”.<sup>12</sup> Ésta es la anatomía tridimensional precisa, estática y funcional, tal como existe in vivo. Con el fin de delinear la verdad anatómica, se engloban muchas tecnologías tales como la toma de imágenes, uso de articuladores, trazado de movimientos mandibulares y análisis funcionales en los registros ortodóncicos.

El estudio de imágenes es una de las herramientas más comunes que se emplean en Ortodoncia para la medición y registro de tamaño y forma de las estructuras craneofaciales. Desde la introducción de la cefalometría bidimensional tradicional por Broadbent, ésta ha permanecido relativamente sin cambio alguno. A partir de entonces, la cefalometría se ha empleado ampliamente como herramienta clínica y de investigación para el estudio del crecimiento, desarrollo y el tratamiento craneofacial. Sin embargo, debido a las presunciones erróneas que son inherentes a la cefalometría bidimensional tradicional, se ha cuestionado el empleo de este método para inferir información clínica que sea el fundamento en la determinación de los planes de tratamiento.<sup>12, 13, 14</sup>

Desde sus inicios, la cefalometría ha sido parte integral de la Ortodoncia. El cefalograma lateral es un aspecto bidimensional de una estructura tridimensional y

de base para una descripción morfológica de la cara y la dentición, así como para la identificación de las anomalías dentales y esqueléticas.<sup>3, 13</sup> Para ello, se requiere que la radiografía empleada presente un buen contraste para la adecuada localización de los puntos cefalométricos.

Los cefalogramas se analizan a través de la identificación de los puntos cefalométricos ubicados en tejidos duros y blandos. El estudio se realiza a partir de mediciones de ángulos, distancias y proporciones entre estos puntos cefalométricos. Un punto cefalométrico es la estructura anatómica, o un punto estructurado, que se localiza sobre una radiografía de la cabeza orientada, a partir de la cual pueden construirse líneas, planos y ángulos para analizar la configuración y la relación de elementos del esqueleto craneofacial.<sup>3</sup> Algunos de estos puntos pueden ubicarse en el plano medio sagital, mientras que otros son encontrados lateralmente a este plano, creando generalmente una doble imagen sobre la radiografía.

Por consecuencia, los cefalogramas presentan limitaciones inherentes como resultado de la distorsión y la magnificación diferencial del complejo maxilofacial.<sup>13</sup> Es por ello, que existe una tendencia a presentar errores en la identificación y medición.

Los aspectos mencionados a continuación cuestionan la confiabilidad y validez de la cefalometría bidimensional para la obtención de datos clínicos empleados para la planificación del tratamiento:

1. Una radiografía convencional de cabeza es una representación bidimensional de un objeto tridimensional en dos dimensiones, las estructuras captadas por la imagen se desplazan en dirección vertical y horizontal. La cantidad de desplazamiento estructural es proporcional a la distancia de las estructuras desde la película o el plano de registro.<sup>13</sup>
2. Los análisis cefalométricos se basan en que se asume una superposición perfecta de los lados derecho e izquierdo sobre el plano sagital medio. Se observa una superposición perfecta con poca frecuencia, debido a que es rara la simetría facial y al desplazamiento relativo de los lados derecho e izquierdo de la imagen, tal como se ha descrito previamente. Estas limitaciones técnicas inherentes no permiten una evaluación precisa de las anomalías craneofaciales y de las asimetrías faciales.<sup>13</sup>
3. La geometría de proyección impide la posibilidad de adquirir una información dimensional precisa en la dirección del haz de rayos X.<sup>13</sup>
4. Se asocia un grado significativo de error externo conocido como error de proyección radiográfica, con la adquisición de la imagen. Estos errores engloban la magnificación de las dimensiones, los errores en la colocación del paciente y la distorsión proyectiva inherente a la relación geométrica entre la película, el paciente y el foco.<sup>13</sup> (Figura 24)

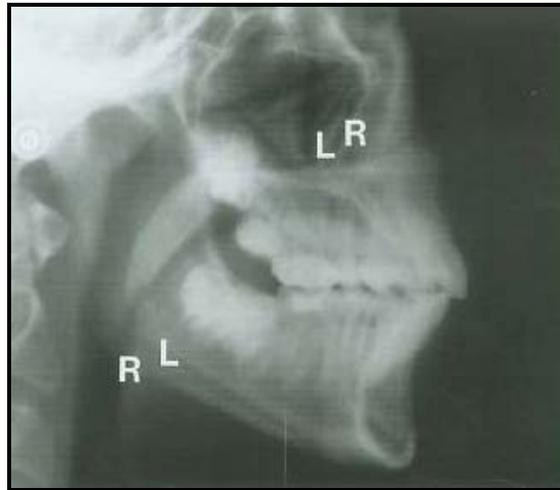


Figura 24. Radiografía Lateral de Cráneo que demuestra una magnificación irregular en estructuras de ambos lados. El lado izquierdo del paciente fue ubicado más cercano a la película radiográfica con el haz entrando desde su derecha. Por lo tanto, las estructuras del lado derecho (R) se encuentran con mayor magnificación y parecen estar más alejadas de las estructuras en el centro de la imagen orofacial que aquellas estructuras del lado izquierdo del paciente (L).<sup>15</sup>

5. Se ha demostrado que la recogida y procesamiento manual de datos en el análisis cefalométrico tienen escasa agudeza y precisión.<sup>13</sup>

6. Se asocia un error significativo con la ambigüedad en la localización de las referencias anatómicas, debido a la falta de características y límites anatómicos bien definidos, bordes y sombras importantes y la variación en la posición del paciente.<sup>13</sup> Dichos errores de identificación de referencias se consideran como una fuente importante de errores cefalométricos. A pesar de estas limitaciones de la cefalometría, se han desarrollado muchos análisis cefalométricos para ayudar a diagnosticar las maloclusiones esqueléticas y las deformidades dentofaciales. No obstante, varios investigadores han cuestionando la validez científica de dichos análisis.

En recientes años, el Dr. Hatcher revisó y clasificó las fuentes de error atribuidas a la cefalometría tradicional.<sup>16</sup> En su revisión engloba aquellos errores causados por la orientación interna y externa, y los concernientes a la geometría y la asociación descritos a continuación:

*Error de Orientación Interna.*- Referido a la relación tridimensional del paciente respecto al haz central de rayos X o al dispositivo de toma de imagen y asume que se produce un error mínimo de este tipo con una posición específica y constante de la cabeza.<sup>16</sup> Puesto que esto no siempre es verdad, se introduce un error de orientación interna. Por lo tanto, se debería conocer la distancia desde el plano medio del cefalostato hasta el plano de la película, y ser constante entre imágenes. Cualquier desviación de estas características introducirá errores en la imagen final.

*Error de Orientación Externa.*- Este error se refiere a la relación espacial o alineación tridimensional del dispositivo de imagen, el de estabilización del paciente y el de registro de la imagen. Se asume un error mínimo cuando la fuente de rayos X está a 1.5m del centro del cefalostato cuando el rayo central pasa a través de los vástagos auditivos y el haz es paralelo respecto a la horizontal y perpendicular al plano de la película.<sup>16</sup>

*Error Geométrico.*- Se refiere principalmente a la distinta amplificación originada por la distancia de proyección entre el dispositivo de imagen, el de registro y el objeto tridimensional.<sup>16</sup> Por ejemplo, las estructuras más alejadas de la película estarán más ampliadas que los objetos más cercanos a ella. Este error se relaciona con la divergencia del haz de rayos X en su trayectoria desde la fuente de rayos hasta el dispositivo de registro.

*Error de Asociación.*- Referido a la dificultad de identificar un punto en dos o más proyecciones obtenidas desde distintos puntos de vista. La dificultad en la identificación de un punto idéntico en dos o más imágenes es proporcional a la magnitud de la variación en el ángulo de divergencia entre las proyecciones.<sup>16</sup>

A partir de estas complicaciones, se innovó el empleo de sistemas digitalizados por medio de computadora como auxiliar para la reducción de errores de este origen. Sin embargo, de igual forma pueden encontrarse conflictos con la interpretación debido al tamaño de los pixeles, la pérdida de información sobre el color y contraste y una calibración incompleta. Fue entonces que, en un intento por eliminar estos errores aleatorios y sistemáticos, se han desarrollado métodos que proporcionan una representación tridimensional del complejo craneofacial. En la actualidad, los esfuerzos para reducir al mínimo los errores y conseguir una representación tridimensional precisa del complejo craneofacial han incluido a la tomografía computarizada (TC) y el software para diseño asistido por computadora.

El objetivo principal del diagnóstico y plan de tratamiento ortodóncico es el de poder determinar un camino terapéutico basado en la evaluación inicial de la condición del paciente. Tradicionalmente, las relaciones anatómicas han sido



evaluadas mediante recursos bidimensionales (2D) y tridimensionales (3D). Actualmente, la evaluación mediante diversas modalidades imagenológicas en 2D (fotografías, radiografías, trazados cefalométricos) que resultan en la obtención de poca información certera al compararse con la anatomía actual en 3D.<sup>15</sup>

Las técnicas imagenológicas tridimensionales, a través de los últimos años, se han convertido en métodos populares, al igual que han abierto nuevas posibilidades para el diagnóstico y plan de tratamiento ortodóncico.

## **6.1 Tecnología Tridimensional**

El estudio volumétrico de imágenes es sinónimo de imagen tridimensional, ya que la información tiene profundidad, longitud y anchura. Dentro de esta categoría están los rayos X (la TC y la tomografía computarizada de haz cónico) y las tecnologías de RM, de las cuales pueden se pueden producir imágenes tridimensionales del cuerpo humano.<sup>17, 18</sup>

### **Resonancia Magnética**

El detalle en alta resolución de las imágenes utilizando imagenología con resonancia magnética complementado con los escáners de superficie, producen modelos de la cara en 3D con alta precisión para análisis y mediciones. Debido a que la Resonancia Magnética no es invasiva, este método imagenológico ofrece una alternativa atractiva a la imagenología cefalométrica.

A pesar de que las imágenes obtenidas con los nuevos sistemas de tomografías de alta resolución, que proveen baja dosis de radiación y que han sido propuestos como primera elección para la evaluación de estructuras esqueléticas, se han desarrollado métodos de resonancia magnética que son útiles para la generación de modelos tridimensionales de los huesos.

La RM es una técnica no invasiva que al no emplear radiación ionizante, no producir efectos secundarios y proveer excelente contraste de tejidos, la convierte en una alternativa viable al uso de tomografía computarizada para la reconstrucción tridimensional.

Durante el escaneo, el paciente debe mantener los dientes en máxima intercuspidad. Las secuencias de dicho escaneo incluyen una adquisición de un gradiente de alta definición en 3D con una resolución de voxel de 1mm.<sup>19</sup> Por lo tanto, las imágenes resultan con una certeza geométrica aceptable, así como de un contraste tisular claro entre los tejidos blandos y óseos.<sup>19</sup>

Las visualizaciones de las secciones sagital, coronal y axial de la información volumétrica obtenida son procesadas por un programa interactivo de imagen por segmentación. (Figura 25)

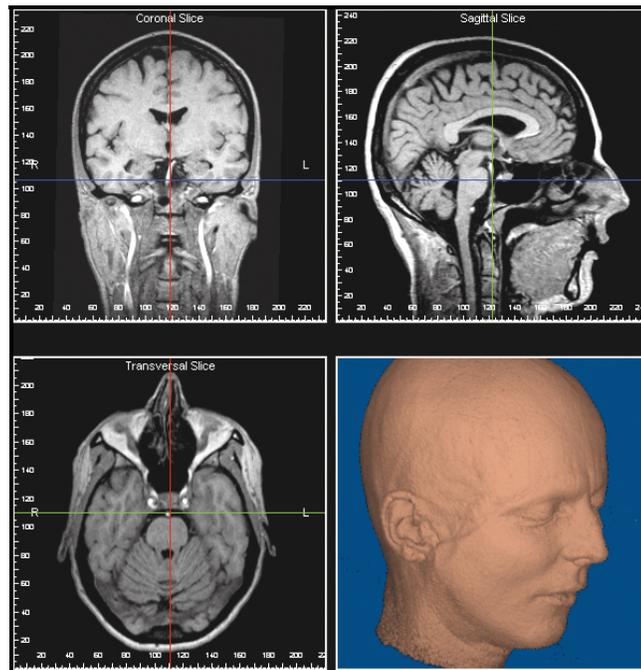


Figura 25. Visualización tridimensional obtenida del conjunto de datos de una RM. (Fuente: Internet)

### *Tomografía Computarizada de Haz Cónico*

En conjunto con un escáner de superficie, pueden obtenerse reproducciones tridimensionales con los cortes obtenidos de una tomografía computarizada de haz de cono. Con la información obtenida de esta tecnología tridimensional, el ortodoncista podrá realizar con precisión y rapidez modelos en 3D del paciente que podrán ser utilizados para el diagnóstico, plan y simulación de tratamiento y auxiliar.

La Tomografía Computarizada de Haz Cónico es una variante de la TC que ofrece una dosis menor de radiación debido al uso de un tubo anódico fijo de baja energía. Esta técnica, utiliza un barrido rotacional de 360° con un haz en forma de cono. El escaneo puede variar entre 10 y 40 segundos y la dosis de exposición es de alrededor de 50  $\mu$ Sv (aproximadamente 1/10 de un escaneo de una TC convencional). La dosis efectiva que se absorbe en la región maxilofacial con esta técnica, es equivalente a la de una serie radiográfica dentoalveolar.<sup>15</sup>

Las dos diferencias que distinguen la tomografía computarizada de haz cónico (TCHC), también conocida como tomografía volumétrica de haz cónico (TVHC), de la TC convencional, son el tipo de complejo detector-fuente de imagen y el método de adquisición de datos.<sup>13</sup> La fuente de rayos X para TC es un generador de ánodo giratorio, mientras que para la TCHC puede ser un tubo de ánodo fijo de baja energía, similar al que se utiliza en los aparatos panorámicos dentales. La tomografía computarizada utiliza un haz de rayos X con forma de abanico desde su fuente para adquirir las imágenes, y registra los datos en detectores de imagen en estado sólido dispuestos en una organización de 360° alrededor del paciente. (Figura 26)

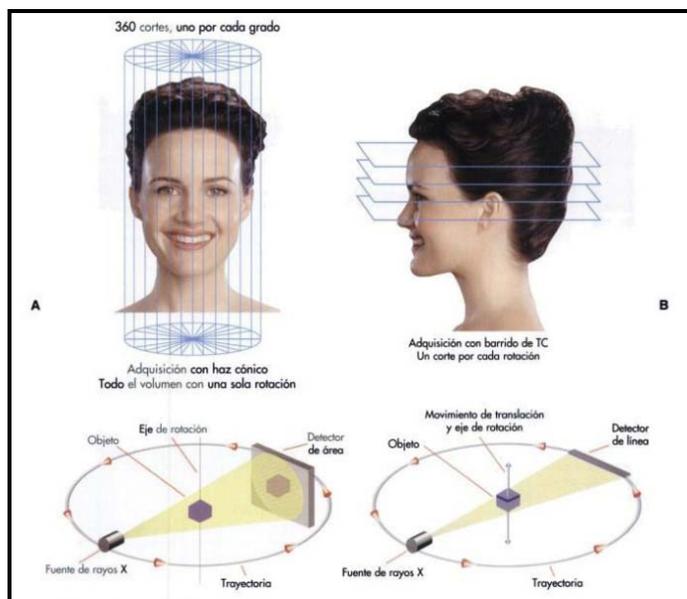


Figura 26. Las principales diferencias entre la tomografía computarizada de haz cónico (A) y la tomografía computarizada tradicional (B) son el tipo de complejo fuente de imagen-detector y el método de adquisición de datos.<sup>13</sup>

La tecnología TCHC utiliza un haz de rayos X en forma de cono, con un intensificador especial de la imagen y un sensor de estado sólido o una placa de silicón amorfa para captar la imagen.

Su uso en imagenología tridimensional parte del alto precio y exposición de radiación de una TC convencional, que es un inconveniente para propósitos del diagnóstico ortodóncico.

La introducción de la TCHC ha hecho más accesible la imagenología tridimensional en el ámbito odontológico. La información obtenida mediante esta técnica puede ser utilizada para simular radiografías panorámicas, laterales y posteroanteriores para poder realizar una comparación con las imágenes preexistentes.

## **6.2 Desarrollo de la Cefalometría Tridimensional**

En 1994, Jacobson y Gereb desarrollaron un análisis cefalomérico tridimensional. Al trabajar con el programa Dolphin Imaging, Engel y Jacobson utilizaron un graficador digital de 3D capaz de medir eficazmente los puntos en la superficie del rostro y de dividir la boca en tres dimensiones. Este programa definió las distancias entre los puntos anatómicos de interés así como los ángulos y planos en el espacio con las coordenadas X, Y, Z. Se generó un análisis cefalométrico 3D comprensivo en tan sólo 45 segundos, digitalizando 29 puntos en la boca y el rostro.<sup>15</sup>

El análisis tridimensional está diseñado para complementar una examinación clínica comprensiva realizada por dentistas, ortodoncistas y cirujanos, previo a la alteración permanente de los dientes o las estructuras del rostro.

En la obtención de la imagen tridimensional por medio de TCHC, los pacientes deben estar sentados cómodamente, con la mirada hacia el horizonte (plano de Frankfurt paralelo al suelo), los dientes deberán tener un contacto ligero, los labios deben encontrarse en reposo, mientras que los cóndilos mandibulares descansan en la fosa glenoidea en una posición fisiológica de relación céntrica.

Posteriormente, los cortes obtenidos del escaneo son traducidos con la ayuda de aplicaciones especializadas de imagenología volumétrica (Dolphin 3D, 3dMDvultus, Medicim, etc.) mediante algoritmos de reconstrucción.<sup>20</sup> Las imágenes resultantes son archivadas en formato DICOM, de forma similar a una TC. (Figura 27) Las imágenes pueden ser analizadas y estudiadas desde cualquier perspectiva.

Los puntos anatómicos pueden ser identificados con precisión en esta imagen tridimensional y de igual forma los ángulos, planos y volúmenes pueden ser medidos.

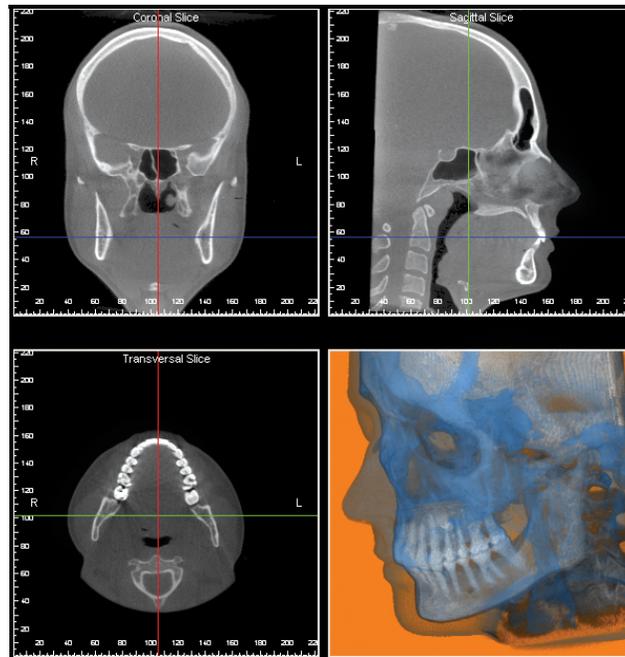


Figura 27. Visualización tridimensional obtenida del conjunto de datos de una TCHC. (Fuente: Internet)

Por lo tanto, la Cefalometría Tridimensional utilizando TCHC, representa ventajas interesantes para el futuro:

- Disminución en la exposición a la radiación
- Localización más precisa de puntos cefalométricos
- Menor riesgo a errores de imagen
- Planeación y simulación tridimensional de tratamiento en base a la anatomía morfológica del paciente
- Reducción de costos

De igual forma, las imágenes obtenidas por medio de una RM pueden ser reconstruidas con las aplicaciones ya mencionadas.

Entre los equipos compatibles con las aplicaciones existentes, se encuentran:

- Series Asahi/Belmont Alphard
- La mayoría de los equipos médicos de GE
- J. Morita Accuitomo
- Hitachi MercuRay
- Imaging Sciences International (ISI) i-CAT
- IMTEC Imaging ILUMA de Kodak
- My Ray SkyView
- NewTom 3G, VG y 9000
- Planmeca ProMax 3D
- Sirona GALILEOS

El análisis cefalométrico tridimensional utiliza cuatro planos de referencia principales:

- Plano Facial Anterior
- Plano Facial Anterior Inferior
- Plano Facial Superior
- Plano Medio-Sagital

### Plano Facial Anterior

Es un plano que cruza por el punto Nasion (N) y representa un vertical verdadera, perpendicular al plano orbital (Figura 28). Con este plano, puede evaluarse la posición anteroposterior del maxilar y la mandíbula en relación con la base craneal. El paciente debe encontrarse de pie o sentado, mirando al frente o viendo su reflejo en un espejo.



**Figura 28. Plano Facial Anterior.**<sup>15</sup>

### Plano Facial Anterior Inferior

Plano que atraviesa el punto A representando una vertical verdadera para la evaluación de la cara inferior (Figura 29). Permite la evaluación de la posición anteroposterior de la nariz, labios y mentón en relación con punto A del tejido blando.



Figura 29. Plano Facial Anterior Inferior.<sup>15</sup>

### Plano Facial Superior

Es el plano trazado a través de N paralelo al suelo, obtenido con el paciente de pie mirando hacia el horizonte (Figura 30).



Figura 30. Plano Facial Superior.<sup>15</sup>

### Plano Medio-Sagital

Es una línea media bisectando de la cabeza sagitalmente, viendo al paciente frontalmente.

Igualmente, otros cuatro planos geométricos pueden emplearse: (Figura 31)

### Plano Facial Inferior

Trazado paralelo al Plano Facial Superior atravesando el punto Gnation (Gn).

### Plano Facial Posterior

Trazado perpendicular al Plano Facial Superior atravesando el punto Porion (Po).

### Plano Facial Lateral

Plano que define los bordes laterales de la cara, izquierdo y derecho, trazado perpendicularmente al Plano Facial Superior atravesando los puntos cigomáticos de cada lado.

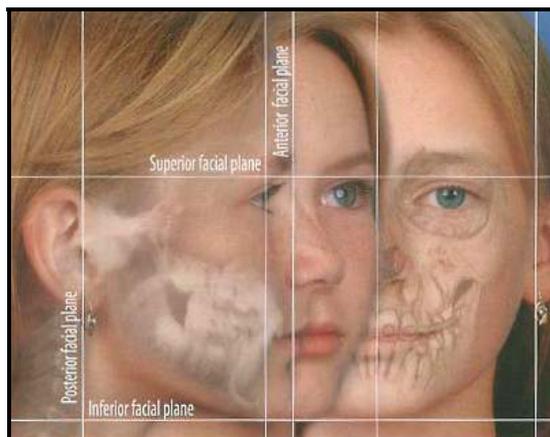


Figura 31. Planos de Referencia Principales.<sup>15</sup>

En el análisis cefalométrico tridimensional se emplean los siguientes puntos anatómicos:<sup>15</sup>

<b>V:</b> <i>Vertex</i>	<b>Gn':</b> <i>Gnation de Tejido Blando</i>
<b>N':</b> <i>Nasión de Tejido Blando</i>	<b>Or:</b> <i>Orbitale</i>
<b>Pn:</b> <i>Pronasale</i>	<b>Zp:</b> <i>Prominencia Zigomática</i>
<b>Sn:</b> <i>Subnasale</i>	<b>Zy:</b> <i>Zygion</i>
<b>A':</b> <i>Punto A de Tejido Blando</i>	<b>Co:</b> <i>Condylion</i>
<b>Ls:</b> <i>Labrale Superior</i>	<b>Go:</b> <i>Gonion</i>
<b>St:</b> <i>Stomion</i>	<b>Go':</b> <i>Gonion de Tejido Blando</i>
<b>Li:</b> <i>Labrale Infeior</i>	<b>Me:</b> <i>Menton</i>
<b>B':</b> <i>Punto B de Tejido Blando</i>	<b>Al:</b> <i>Alare</i>
<b>Pog':</b> <i>Pogonion de Tejido Blando</i>	

La información anatómica precisa requerida puede ser adquirida con una imagen 3D. Esta tecnología ofrece la oportunidad de evaluar algunos puntos del cráneo con mayor detalle y precisión que con métodos bidimensionales. (Figura 32) El cefalograma estándar representa un promedio de 2 lados del rostro y permite la evaluación de muchas de las áreas bien definidas.<sup>18</sup> Sin embargo, puede obtenerse mayor conocimiento del cráneo debido a que la imagenología 3D muestra cada lado del rostro de forma separada y los contornos, así como las superficies, son reproducidos detalladamente.

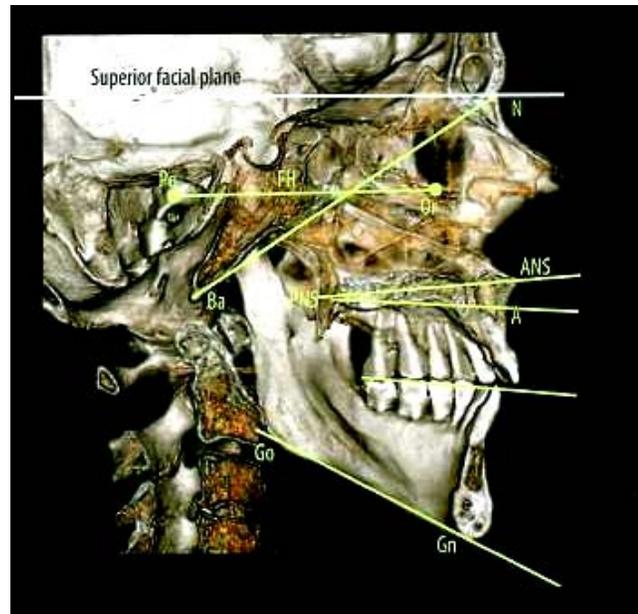


Figura 32. Planos cefalométricos de referencia.<sup>15</sup>

Los puntos anatómicos de interés pueden ser localizados en la reconstrucción en 3D y asignados en las coordenadas x,y, z (Figura 33).

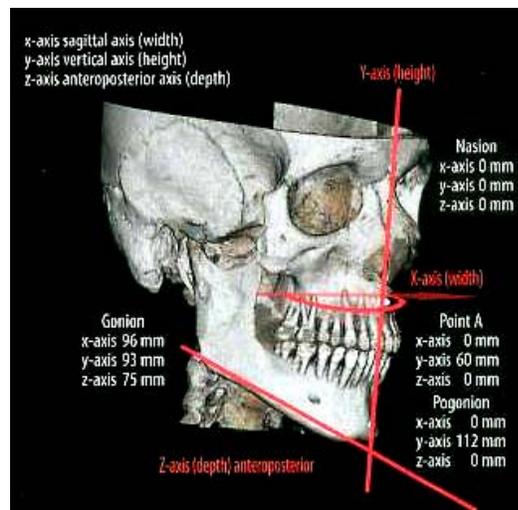


Figura 33. Las distancias entre puntos, ángulos, planos y formas pueden ser medidas.<sup>15</sup>

Otra característica útil de la cefalometría tridimensional es la habilidad de correlacionar puntos en tejidos blandos y duros directamente en la computadora. (Figura 34) Esto significa que pueden utilizarse puntos cefalométricos esqueléticos que son localizados en áreas específicas en el tejido blando del contorno de la cara.

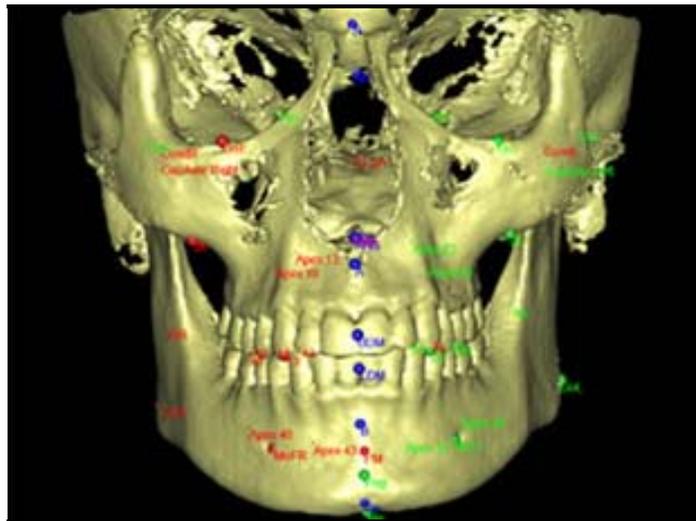


Figura 34. Puntos cefalométricos ubicados tridimensionalmente. (Fuente: Internet)

El empleo de la cefalometría tridimensional puede discernir nuevos puntos y planos en el rostro, siendo de gran ayuda en casos de pacientes que presenten asimetrías dentofaciales marcadas.

Debido a que se trata de un auxiliar de diagnóstico relativamente nuevo y a su capacidad de identificar nuevos puntos anatómicos, la cefalometría tridimensional está sujeta a nuevas propuestas de análisis cefalométricos que en un futuro proporcionarán nuevas opciones de tratamiento gracias a su posibilidad de cuantificar los cambios craneofaciales.

### 6.3 Futuro de la Imagenología Tridimensional

Algunos de los usos potenciales de esta tecnología son:

1. Valoración del Hueso Alveolar: El hueso alveolar puede ser estudiado desde todas las perspectivas y no sólo en su porción mesial o distal del diente. Se podrá valorar el espesor del hueso disponible para movimientos dentales bucolinguales (Ej: Expansión del arco o movimiento labial de incisivos), así como la evaluación de fenestraciones y dehiscencias en las superficies bucal y lingual.<sup>21</sup> De la misma forma, podrá tomarse en cuenta el espesor de los rebordes alveolares para la colocación de implantes (Figura 35).

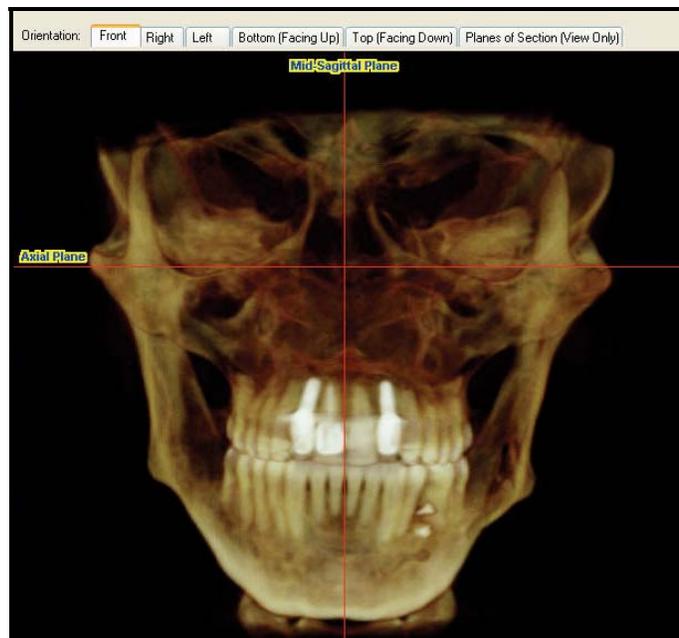


Figura 35. Visualización de estado óseo. (Fuente: Internet)

2. **Inclinación y Torque Dental:** La evaluación tridimensional de la inclinación axial de los dientes podrá proveer información complementaria a la obtenida de los modelos de estudio, así como los contactos dentarios que existen en la máxima intercuspidadación (Figura 36).<sup>21</sup>



**Figura 36. Translucidez de tejidos blandos. (Fuente: Internet)**

3. **Posición de Dientes Impactados:** Podrá comprenderse la posición exacta de los dientes impactados y su relación con las raíces dentales adyacentes, así como de otras estructuras anatómicas.<sup>21</sup> De esta forma, las maniobras quirúrgicas pueden planearse con anticipación (Figura 37).

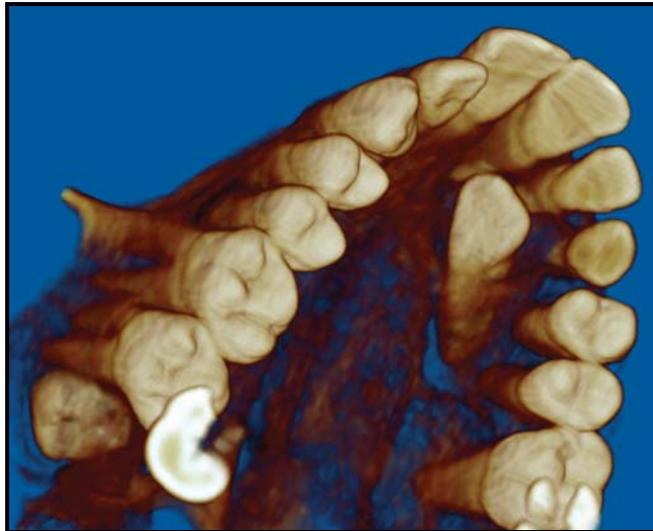


Figura 37. Visualización de diente impactado desde cualquier punto de vista. (Fuente: Internet)

4. Resorción Radicular: Los equipos actuales de TC presentan una resolución demasiado baja para poder detectar las etapas tempranas de la resorción radicular provocada por el movimiento ortodóncico, sin embargo, se cree que los avances tecnológicos en un futuro lo permitirán.<sup>21</sup>
  
5. Relaciones de Tejidos Blandos: La longitud del labio puede ser medida actualmente por medio de radiografías laterales, pero no es así con el ancho de la boca.<sup>21</sup> Con la información tridimensional obtenida de esta tecnología, se puede determinar la relación de las paredes bucales con la dentición presente (Figura 38). También se podrán estudiar variables de los tejidos blandos en relación con el ancho del arco dental, así como de la estética facial.



Figura 38. Visualización del rostro en conjunto con estructuras óseas. (Fuente: Internet)

6. Tamaño y Posición de la Lengua: Se podrá obtener una evaluación más objetiva del volumen de la lengua, auxiliando en el diagnóstico de mordidas abiertas y discrepancias de la conformación del arco dental.<sup>21</sup>
  
7. Evaluación de Vías Aéreas: Puede valorarse la permeabilidad de la vía aérea por medio de las medidas volumétricas conseguidas en la reproducción anatómica, especialmente en pacientes con sospecha de respiración bucal, hipertrofia de adenoides, o apnea del sueño (Figura 39).<sup>21</sup> A través del escaneo por TC pueden observarse claramente la morfología nasal y los cornetes.

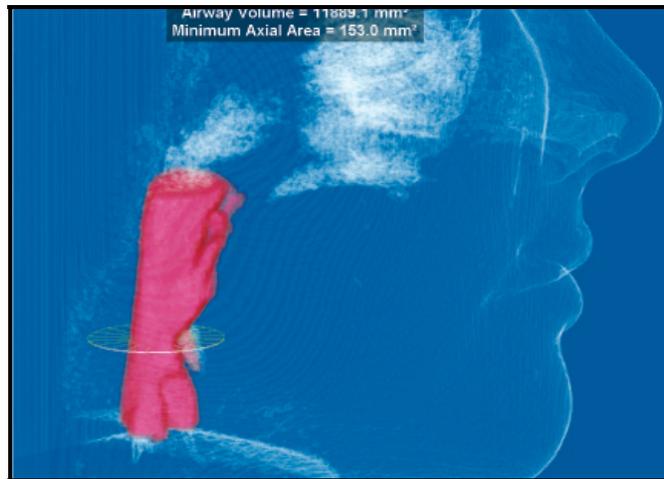


Figura 39. Visualización de vías aéreas y zonas de constricción. (Fuente: Internet)

8. Imágenes de RM y Tejidos Blandos: La información obtenida por RM puede proveer datos importantes de los tejidos blandos, tales como los músculos y los discos temporomandibulares (Figura 40).<sup>21</sup>

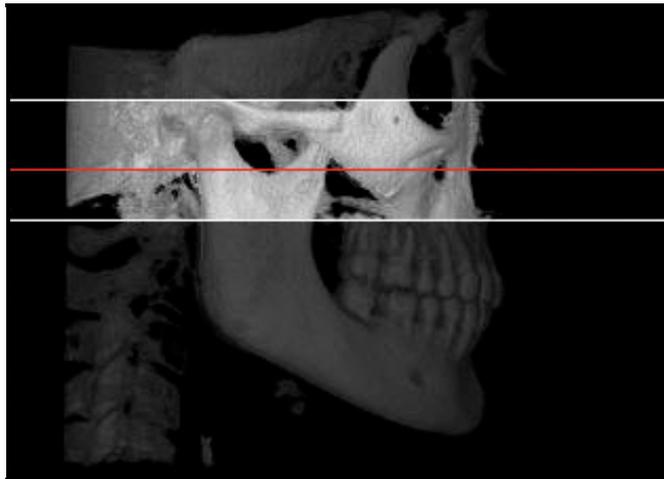


Figura 40. Estudio aislado de articulación temporomandibular. (Fuente: Internet)

9. Pacientes Quirúrgicos: Con la ayuda de la imagenología tridimensional, el plan de tratamiento para dichos pacientes tendrá grandes beneficios. Con la información tridimensional, podrán medirse las verdaderas dimensiones de un paciente con asimetría, sin problemas de magnificación o distorsión, del cual padecen las proyecciones bidimensionales. También pueden entenderse mejor los casos en pacientes con defectos óseos o de tejido blando, así como con paladar fisurado.<sup>21</sup>
10. Reproducción de Imágenes Bidimensionales: Por medio del conjunto de datos volumétricos obtenidos, se pueden crear radiografías bidimensionales tales como las proyecciones lateral (Figura 41), frontal (Figura 42) y panorámica (Figura 43).



Figura 41. Cefalometría lateral generada con Dolphin 3D. (Fuente: Internet)

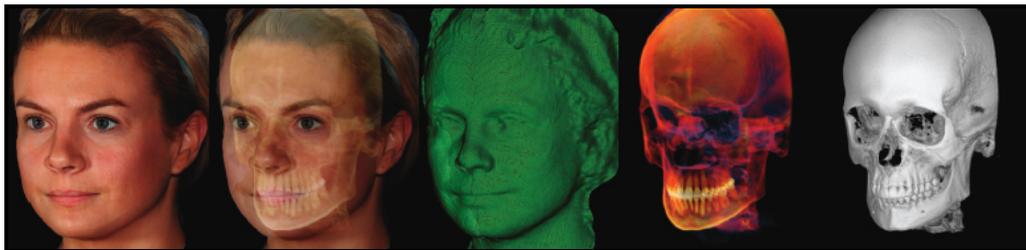


**Figura 42. Proyección frontal generada con Dolphin 3D. (Fuente: Internet)**



**Figura 43. Proyección panorámica creada con Dolphin 3D por medio de una TCHC. (Fuente: Internet)**

Los avances en el software permiten ahora combinar la imagenología tridimensional de las estructuras óseas, ya sea por medio de RM o TCHC, con un escaneo de superficie para tener una mejor perspectiva de los tejidos extraorales en relación con el cráneo (Figura 44).



**Figura 44.** Revisión de fotografía, tejidos blandos y esqueleto con la aplicación Dolphin 3D. (Fuente: Internet)

## **7. CONCLUSIONES**

A pesar de que los elementos de diagnóstico empleados en la actualidad para la elaboración de un diagnóstico y plan de tratamiento han mostrado ser adecuados, muchos de ellos, incluyendo la cefalometría, presentan limitaciones importantes. Una de las más críticas es la representación bidimensional de un objeto tridimensional. Sin embargo, es probable que las innovaciones tecnológicas en imagenología digital cambien la forma en que son usados los métodos actuales en el diagnóstico y plan de tratamiento.

La obtención de imagenología tridimensional comienza a ser altamente accesible, de bajo costo, y con reducción del tiempo de exposición. Con la ayuda de los métodos empleados para la cefalometría tridimensional, es posible guardar información precisa, confiable y de alta calidad en una computadora personal.

En un futuro no muy lejano, pueden agregarse usos adicionales de la imagenología en 3D dentro del campo de la Ortodoncia. Se irán descubriendo nuevas aplicaciones conforme se vaya desarrollando su uso. En lugar de observar cada auxiliar de diagnóstico por separado (Cefalograma, Radiografía Panorámica, Modelos de Estudio, etc), se tiene al alcance un elemento de diagnóstico que contiene toda la información.

Los estudios recientes han demostrado que la apariencia real y completa de una cara no puede ser establecida de modo fiable tras el análisis exclusivo de perfil.

Por ello, se ha necesitado de un análisis tridimensional para el diagnóstico y plan de tratamiento.

Los errores geométricos bidimensionales de la proyección, la magnificación, posicionamiento de la cabeza, etc, pueden ser evitados con el ambiente tridimensional. El valor de un modelo de imagen tridimensional corresponde directamente a la calidad de la información, los datos anatómicamente certeros, y a la colección de una base de datos anatómica tridimensional. La base de datos se convierte entonces en una “base de conocimientos” que ayuda a crear las imágenes tridimensionales y a diseñar modelos “inteligentes” específicamente del paciente. Esto permite al practicante obtener aún más información del caso. Pueden extrapolarse con facilidad medidas tales como longitud de arco, forma de arco y tamaño dental.

La aplicación de imagenología tridimensional mejorará el diagnóstico y plan tratamiento, así como la habilidad de monitoreo del mismo y la cuantificación de los resultados. En el futuro, el análisis cefalométrico dinámico y los modelos digitalizados se encontrarán disponibles como auxiliares en la comprensión del crecimiento facial y mandibular, así como de la erupción dental, agregando esencialmente una cuarta (tiempo) y quinta (función dinámica) dimensión en la imagenología diagnóstica. El propósito es comprender la morfogénesis normal y anormal junto con la funcionalidad para mejorar el diagnóstico y planeamiento del tratamiento.

## 8. FUENTES DE INFORMACIÓN

1. White, Stuart C.; Pharoah, Michael J., Radiología Oral: Principios e Interpretación, 4ª Edición, Madrid: Editorial Harcourt, 2002.
2. Haring, Joen Ianucci; Jansen, Laura; Radiología Dental: Principios y Técnicas, 2ª Edición, México: Editorial McGraw-Hill Interamericana, 2002.
3. Águila Ramos, F. Juan, Manual de Cefalometría, Caracas: Editorial Actualidades Médico Odontológicas Latinoamericanas, 1996.
4. Pereira, Cleber Bidegain; Mundstock, Carlos Alberto; Bandeira Berthold, Telmo, Introducción a la Cefalometría Radiográfica, Buenos Aires: Editorial Mundi, 1987.
5. Chaconas, Spiro J., Ortodoncia, México: Editorial Manual Moderno, 1982.
6. Gómez Mattaldi, Recaredo A., Radiología Odontológica: Fundamentos, 2ª Edición, Buenos Aires: Editorial Mundi, 1975.
7. White, Stuart C.; Pharoah, Michael J., Radiología Oral: Principios e Interpretación, 4ª Edición, Madrid: Editorial Harcourt, 2002.
8. Freitas, Aguinaldo de; Rosa, José Edu; Faria e Souza, Icleo, Radiología Odontológica, 5ª Edición, Sao Paulo: Editorial Artes Médicas, 2002.
9. Goaz, Paul W.; White, Stuart C., Radiología Oral: Principios e Interpretación, 3ª Edición, Madrid; Editorial Mosby/Doyma, 1995.
10. Rakosi, Thomas; Jonas, Irmtrud; Graber, Thomas J., Orthodontic Diagnosis, New York: Editorial Thieme Medical, 1993.
11. Arnett, G. William; McLaughlin, Richard P., Planificación facial y dental para ortodoncistas y cirujanos orales, Madrid; Editorial Elsevier, 2005.

12. Harrell, William E. Jr.; Hatcher, David C.; Bolt, Raymond L. In search of anatomic truth: 3-dimensional digital modeling and the future of orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2002 Sep; 122(3):325-30.
13. Graber, Thomas M.; Vanarsdall, Robert L. Jr.; Vig, Katherine W. L. Ortodoncia: Principios y Técnicas Actuales, 4ª Edición, Madrid: Editorial Elsevier, 2006.
14. Quintero, Juan Carlos; Trosien, Andrew; Hatcher, David; Sunil, Kapila. Craniofacial imaging in orthodontics: historical perspective, current status, and future developments. *Angle Orthod.* 1999 Dec; 69(6): 491-506. Review.
15. Jacobson, Alexander; Jacobson, Richard L., Radiographic Cephalometry: from basics to 3-D imaging, 2ª Edición, Chicago: Editorial Quintessence, 2006.
16. McNeill, Charles. Science and Practice of Occlusion, Chicago: Editorial Quintessence, 1997.
17. Park, Sun-Hyung; Yu, Hyung-Seog; Kim, Kee-Deog; Baik, Hyoung-Seon. A proposal for a new analysis of craniofacial morphology by 3-dimensional computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006 May; 129(5): 600. E23-34.
18. Adams, Gregory L.; Gansky, Stuart A.; Miller, Arthur J.; Harrell, William E. Jr; Hatcher, David C. Comparison between traditional 2-dimensional cephalometry and a 3-dimensional approach on human dry skulls. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2004 Oct; 126(4): 397-409.
19. Swennen, Gwen R. J.; Schutyser, Flip. Three-dimensional cephalometry: Spiral multi-slice vs cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006 Sep; 130(3): 410-6.
20. Cevadines, Lucia H. S.; Franco, Alexandre A.; Gerig, Guido; Proffit, William R.; Slice, Dennis E.; Enlow, Donald H.; Yamashita, Helio K.; Kim, Yong-Jik; Scanavini, Marco A.; Vigorito, Julio W. Assesment of mandibular growth and



response to orthopedic treatment with 3-dimensional magnetic resonance images. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005 Jul; 128(1): 16-26.

21. Halazonetis, Demetrios J. From 2-dimensional cephalograms to 3-dimensional computed tomography scans. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2005 May; 127(5): 627-37.