



Tesis doctoral

CORRELACIÓN DE LA VALORACIÓN DE LA MADUREZ ESQUELÉTICA EN BASE A DIVERSOS MÉTODOS DE DETERMINACIÓN EN POBLACIÓN ESPAÑOLA

*Departamento de Estomatología
Facultad de Odontología
Universidad de Sevilla, 2018*

Paula Camacho Basallo

DIRECTORES:

D. José Enrique Solano Reina

D. Alejandro Iglesias Linares



Facultad de Odontología
Dpto. de Estomatología
C/ Avicena s/n
41009 Sevilla

D. José Enrique Solano Reina, Doctor en Medicina y Cirugía y Catedrático de Ortodoncia de la Universidad de Sevilla y D. Alejandro Iglesias Linares, Doctor en Odontología y Profesor de Ortodoncia de la Universidad Complutense de Madrid,

CERTIFICAN:

Que el trabajo presentado por Dña. Paula Camacho Basallo bajo el título “CORRELACIÓN DE LA VALORACIÓN DE LA MADUREZ ESQUELÉTICA EN BASE A DIVERSOS MÉTODOS DE DETERMINACIÓN EN POBLACIÓN ESPAÑOLA”, ha sido realizado bajo nuestra dirección como Tesis Doctoral.

Que el citado trabajo es original y cumple todos los requisitos éticos y formales, se ajusta con exactitud al método científico y es coherente con la trayectoria investigadora de su autora y con su proyecto de investigación. Para que conste, a efectos académicos, firmamos el presente certificado en Sevilla el día.....de..... de 2018.

Fdo. D. José Enrique Solano Reina

Fdo. D. Alejandro Iglesias Linares

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento a aquellas personas que de una forma u otra han colaborado a lo largo de estos años en la realización de este proyecto.

Al Dr. Alejandro Iglesias Linares, sin cuyo estímulo y ayuda no hubiera sido posible la realización del mismo. Gracias por confiar en mí, por tus ideas, por tu paciencia, por tus ánimos y optimismo. Gracias por el tiempo dedicado, consejos y rigor a la hora de dirigir este trabajo.

Al Dr. Enrique Solano Reina, por permitirme formar parte de su grupo de investigación. Por dedicarme su tiempo y sus conocimientos, por enseñarme a ser exigente conmigo misma y con los trabajos de investigación y clínica que realizamos.

A todos mis profesores del Master de Ortodoncia y Ortopedia Dentofacial de la Universidad de Sevilla, por su trabajo incansable, por su paciencia, por hacerme amar la ortodoncia.

A mis compañeras de máster: Nuria, Blanca, Inma y Marta; por todo el tiempo que compartimos y seguimos compartiendo, porque con vosotras todo es fácil y divertido. Gracias por vuestro apoyo y vuestra amistad.

A mis familiares y amigos, por sus ánimos constantes y comprensión. Gracias a mi tío, salvador en forma de tablas y gráficas; gracias por tu tiempo dedicado y por tu paciencia para explicarme lo inexplicable.

Con especial cariño a mis padres, Paula y Rafael, y a mi hermana Jara; a ellos les debo todo mi recorrido personal y profesional. Gracias por apoyarme en todos mis proyectos, gracias por vuestro amor incondicional.

Finalmente a Rafa, por tus horas invertidas frente al ordenador, por tus ánimos y tu risa. Gracias por ser como eres y estar a mi lado.

A todos, GRACIAS.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	6
1.1 Maloclusión de Clase II	8
<i>1.1.1 Tratamiento ortopédico de la Clase II</i>	10
1.2 Indicadores y métodos de evaluación de la maduración esquelética	14
<i>1.2.1 Indicadores biológicos de maduración esquelética</i>	14
1.2.1.1 Maduración sexual	15
1.2.1.2 Altura y peso corporal	17
1.2.1.3 Edad cronológica	21
1.2.1.4 Indicadores séricos de la maduración ósea	24
<i>1.2.2 Indicadores de maduración esquelética detectados mediante evaluación radiográfica</i>	27
1.2.2.1 Métodos de evaluación de la maduración ósea mediante las vértebras cervicales	27
1.2.2.2 Métodos de evaluación de la maduración ósea mediante los huesos de la mano y la muñeca	44
1.2.2.3 Métodos de evaluación de la maduración ósea mediante el desarrollo dentario	61
1.2.2.4 Otros indicadores radiológicos	76
1.2.2.4.1. Evaluación del hioides	77
1.2.2.4.2 Evaluación del seno frontal	80
1.2.2.4.3 Evaluación mediante ultrasonidos	83
1.2.2.4.4 Evaluación de la clavícula, cresta ilíaca y rodilla	85
2. HIPÓTESIS DE TRABAJO	87
3. OBJETIVOS	90
3.1 Objetivos generales	91
3.2 Objetivos específicos	91
4. MATERIAL Y MÉTODOS	93
4.1 Búsqueda Bibliográfica	93
<i>4.1.1 Fuentes de información</i>	94
<i>4.1.2 Estrategia de búsqueda</i>	95
4.2 Diseño metodológico	95
4.3 Población de estudio y selección de la muestra	95

4.3.1	<i>Criterios de selección de la muestra</i>	96
4.4	Registros radiográficos y métodos de evaluación del estadio de maduración esquelética	96
4.4.1	<i>Evaluación radiográfica de las vértebras cervicales</i>	97
4.4.2	<i>Evaluación radiográfica de mano-muñeca</i>	98
4.4.3	<i>Evaluación radiográfica del estadio de maduración mediante radiografía panorámica</i>	99
4.5	Análisis estadístico	101
5.	RESULTADOS	102
5.1	Estimación de la precisión y error del método de evaluación intra e interobservador	103
5.2	Distribuciones y muestreo poblacional	104
5.3	Correlación de la edad cronológica, edad dental y edad esquelética	109
5.4	Análisis de asociación entre la estimación de maduración esquelética y calcificación dental según los distintos métodos	111
5.4.1	<i>Regresión multinomial ordinal para el método de Hassel y Farman en niños</i>	112
5.4.2	<i>Regresión multinomial ordinal para el método de Baccetti en niños</i>	114
5.4.3	<i>Regresión multinomial ordinal para el método de Grave y Brown en niños</i>	116
5.4.4	<i>Regresión multinomial ordinal para el método de Fishman en niños</i>	119
5.4.5	<i>Regresión multinomial ordinal para el método de Hassel y Farman en niñas</i>	121
5.4.6	<i>Regresión multinomial ordinal para el método de Baccetti en niñas</i>	123
5.4.7	<i>Regresión multinomial ordinal para el método de Grave y Brown en niñas</i>	125
5.4.8	<i>Regresión multinomial ordinal para el método de Fishman en niñas</i>	128
6.	DISCUSIÓN	132
7.	CONCLUSIONES	142
8.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	144

9. ANEXOS	165
9.1 Anexo I: Informe del comité ético de investigación clínica	166
9.2 Anexo II: Publicaciones	167

1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

El estudio del crecimiento y desarrollo orofacial es de gran importancia en el campo de la ortodoncia, y debemos tener en cuenta que, al ser un período de gran actividad en el cual cada niño y adolescente tiene su propio ritmo de crecimiento, no es un simple reflejo de su edad cronológica¹. Durante el crecimiento, cada hueso pasa a través de una serie de cambios que pueden identificarse radiológicamente, y el momento de estos cambios varía de forma individual ya que cada persona tiene su propio “reloj” biológico. En general, estos eventos son los suficientemente reproducibles como para proporcionar una base para la comparación entre las diferentes personas²⁻⁴.

El crecimiento y desarrollo de un individuo es un fenómeno continuo que se inicia en el momento de la concepción y culmina al final de la pubertad, periodo durante el cual alcanza la madurez en su aspecto físico, psico-social y reproductivo. Definimos “crecimiento” como el aumento de tamaño y masa corporal; y “desarrollo o maduración” como los cambios que se producen en la organización y diferenciación de tejidos y órganos. Los procesos de crecimiento y desarrollo son fenómenos simultáneos e interdependientes. Ambos procesos tienen características comunes a todos los individuos de la misma especie, lo que los hace predecibles; sin embargo, presentan una gran variabilidad individual, debido a factores genéticos y ambientales.

El primer estudio longitudinal sobre crecimiento fue el de Count Philbert Gueneau de Montbeillard. Fue un seguimiento a su hijo desde 1759 a 1777, y fue publicado en *Histoire Naturelle* por Buffon⁵. La curva de crecimiento realizada en este estudio mostraba que la velocidad de crecimiento disminuía desde el nacimiento en adelante, aunque la tendencia se veía alterada en dos ocasiones: entre los seis y los ocho años, donde había una nivelación de los incrementos del crecimiento, y entre los 13 y los 15, donde había una aceleración. Este periodo de aceleración del crecimiento es lo que ahora denominamos aceleración del crecimiento puberal o adolescente.

El conocimiento del desarrollo y crecimiento facial es fundamental para determinar el momento óptimo para los diferentes procedimientos de tratamiento en pacientes en crecimiento. Los estudios de Milo Hellman^{6,7}, en los que demuestra que el crecimiento facial experimenta periodos de aceleración y deceleración, fue un gran

avance en la comprensión del mismo. Hoy es generalmente aceptado que el tratamiento durante el llamado pico de crecimiento puberal incrementa la eficacia y efectividad del tratamiento ortodóncico, especialmente para la maloclusión de clase II⁸⁻¹⁰. La aceleración del crecimiento en la pubertad es considerada un periodo ventajoso para ciertos tipos de tratamientos ortodóncicos y debe ser tenido en cuenta para la planificación del tratamiento ortodóncico^{11,12}.

El diagnóstico correcto de un problema ortodóncico así como la selección del tratamiento específico es de vital importancia para obtener los mejores resultados. La elección del momento óptimo para un tratamiento ortopédico está ligada íntimamente a la identificación de los periodos de aceleración del crecimiento, lo que puede contribuir significativamente a la corrección de los desequilibrios esqueléticos en cada paciente. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la aceleración del crecimiento orofacial, y específicamente el crecimiento mandibular puberal se caracteriza por una amplia variación individual en cuanto a su comienzo, duración y grado¹³⁻¹⁶.

1.1 MALOCLUSIÓN DE CLASE II

Edward Angle¹⁷ introdujo su clasificación de las maloclusiones basada en la relación entre los primeros molares permanentes superior e inferior (posición mesial de la cúspide mesiovestibular del primer molar superior con respecto al surco mesiovestibular del primer molar inferior). Desde ese momento, se han introducido otras clasificaciones, algunas basadas en estructuras dentales, y otras basadas en estructuras esqueléticas¹⁷⁻²⁰. Estas clasificaciones han sido usadas como base para establecer tratamientos con aparatos fijos y removibles ortodóncicos/ortopédicos para la corrección de las maloclusión de clase II.

La relación de clase II es la más prevalente de las subclasificaciones de maloclusión²¹. Del 15 al 20% de los adolescentes tiene un resalte de 6mm o más²², y del 15% al 30% de los norteamericanos y del 20-30% de los pacientes ortodóncicos tienen este tipo maloclusión²³.

Generalmente las maloclusiones de clase II pueden ser separadas en componentes superiores e inferiores, y dentales y esqueléticas. Mientras hay casos de verdadera protrusión dental y/o esquelética superior, también se sabe que muchas clases II están asociadas con una retrognatia mandibular considerable cuando comparamos con el promedio de crecimiento longitudinal establecido²⁴. Se considera generalmente que todas estas clases II tienen un origen genético²⁵, sin embargo, también se considera que los factores funcionales y medioambientales pueden jugar un papel considerable en el desarrollo final del proceso²⁶.

Antes de que comience el tratamiento de la clase II, es necesario un diagnóstico y plan de tratamiento adecuados. En el pasado era generalmente aceptado que, si el principal problema de la clase II era debido a la protrusión del arco superior, el tratamiento debería estar enfocado a la retracción del arco superior con o sin extracciones^{27,28}. Si, por otro lado, este problema se debe a una retrusión mandibular, el tratamiento elegido es el incremento de la proyección de la mandíbula^{29,30}. En la primera opción, se han usado diferentes tipos de anclajes y/o extracciones superiores. En la segunda opción, sin embargo, se han propuesto un gran rango de aparatos funcionales removibles y fijos.

En clase II división 2 sin crecimiento, o aquellos asociados con una retrognatia mandibular considerable, un plan de tratamiento combinado ortodoncia-cirugía podría ser la mejor elección para incrementar la proyección mandibular de acuerdo con los deseos del paciente, o para evitar una retrusión significativa del labio superior. Cada decisión debe ser tomada según las bases individuales. El manejo de clase II división 1, también depende de la posición anteroposterior del mentón y del patrón facial. Aquellos con patrón vertical extremo y retrognatia mandibular podían ser mejor tratados con cirugía ortognática^{31,32}; sin embargo, en pacientes clase II división 1 meso o braquifaciales, el uso de aparatos funcionales o anclajes es lo ideal, y tras éste, un periodo de reevaluación, donde se decidirá el uso de aparatos fijos con o sin extracciones, o en el caso de que la cirugía ortognática sea la elección, preparar los arcos para hacer frente a las necesidades verticales y anteroposteriores del paciente. En todos estos pacientes, tanto cuando elegimos la aparatología funcional o como la cirugía, es necesario considerar las relaciones transversales, ya que cuando la mandíbula es proyectada hacia delante con aparatología funcional o cirugía, la parte más ancha de

la mandíbula va a ocluir con una parte más estrecha del maxilar, por lo que el maxilar debe ser expandido en la mayoría de los casos.

Las maloclusiones de clase II no se “autocorrigen” con el crecimiento, por lo que es necesaria una intervención temprana para corregir la discrepancia esquelética en caso de que la clase II se deba a una micrognatia mandibular³³. En pacientes con potencial de crecimiento siempre se prefiere el uso de aparatos funcionales, que pueden ser fijos o removibles, y que están diseñados para reposicionar la mandíbula sagital y verticalmente, dando lugar a cambios ortodóncico y ortopédicos.

Hay que tener en cuenta que el adelantamiento con aparatos funcionales en mandíbulas retrognáticas también ayuda a mejorar y permeabilizar las vías aéreas en el síndrome de apnea del sueño. Siang y col³⁴ en 2017 realizaron una revisión sistemática y meta-análisis con el objetivo de evaluar los efectos de los aparatos funcionales en las dimensiones de las vías aéreas superiores en pacientes en crecimiento con retrognatismo mandibular. Como resultado comprobaron que una pronta intervención con aparatos funcionales en pacientes en crecimiento ayuda a aumentar las vías aéreas, específicamente en la región orofaríngea, disminuyendo así el riesgo potencial del síndrome de apnea del sueño.

1.1.1. TRATAMIENTO ORTOPÉDICO DE LA CLASE II

El interés actual en tratamientos de “no extracciones” está en auge, por lo que también se incrementan los tratamientos basados en las modificaciones del crecimiento esquelético con aparatología funcional, que a su vez requiere toda la información posible sobre el potencial de crecimiento del paciente. Los aparatos ortodóncicos funcionales como por el ejemplo el activador, jasper jumper, herbst, Fränkel, bionator, twin block y otros más novedosos³⁵⁻³⁷ así como modificaciones de los anteriores; y otros ortopédicos como anclajes extraorales, mentoneras y máscaras de protracción, sólo tendrán efecto en pacientes con capacidad de crecimiento. El objetivo del hallar el momento óptimo para la ortopedia dentofacial está ligado a la identificación de periodos de aceleración o crecimiento intensivo que pueda contribuir significativamente a la corrección de desequilibrios esqueléticos en un paciente^{38,39}.

En el campo dental, el uso de ortopedia es el principal tratamiento en la corrección de problemas con el crecimiento mandibular. El mecanismo depende de la modificación del crecimiento de la mandíbula y el maxilar. Para valorar la respuesta esquelética se han realizado tanto estudio animales⁴⁰ como estudios clínicos⁴¹ que muestran que los aparatos funcionales pueden estimular el crecimiento del cóndilo mandibular⁴² y remodelar la fosa glenoidea⁴⁰. La eficacia de estas modificaciones del crecimiento depende de la maduración esquelética. En el estudio de Ruf y Pancherz⁴¹, usando aparatos ortopédicos (Herbst) para el crecimiento mandibular, el momento óptimo para la modificación del crecimiento se encontró alrededor del pico de crecimiento puberal (estadios 2 o 3 según el método de Fishman⁴³). Las respuestas esqueléticas eran menores en sujetos que se encontraban tanto antes como después del pico decrecimiento puberal⁴⁴.

Encontramos numerosos estudios en la literatura que confirman este hecho, es decir, que el tratamiento de la maloclusión de clase II con aparatos funcionales (herbst, Twin-block, bionator, regulador funcional-2, etc.) en el pico de crecimiento induce un mayor efecto esquelético mandibular que la terapia en estadios prepuberales o postpuberales según el estudio⁴⁵⁻⁵¹.

Candir y col⁴⁵ en 2017 compararon dos grupos de estudio, el grupo “pico” (inicio de tratamiento antes o durante el pico de crecimiento) y grupo “postpico”. En las telerradiografías finales observaron que el ángulo ANB y la proinclinación de los incisivos mandibulares eran significativamente menor en grupo “pico” que en el “postpico”. Así, en el grupo “pico” presentaban un 54% de corrección esquelética y un 46% de corrección dental, mientras que en el grupo “postpico” presentaban un 24% de corrección esquelética frente a un 76% de corrección dental

Baccetti y col⁵² realizaron un estudio cefalométrico para evaluar la importancia del “momento de tratamiento” en las clases II en relación con la edad esquelética, pero el tratamiento lo realizaron con anclaje extraoral y elásticos, no con aparatos funcionales. Hicieron tres grupos: pre, puberal y post puberal, y un grupo control de clase II no tratadas. Como resultado obtuvieron que las clases II tratadas antes o durante el pico puberal, inducían cambios esqueléticos significativos, concretamente, en los pacientes prepuberales la restricción del avance maxilar, y durante el pico de

crecimiento, la mejora del crecimiento mandibular. Observaron que los tratados tras el pico puberal sólo mostraron cambios dentoalveolares.

Sin embargo, en un estudio de 2003, Ruf y Pancherz⁴² se cuestionan cual es el periodo ideal para el tratamiento con Herbst para alcanzar un crecimiento mandibular máximo y una estabilidad a largo plazo, ya que es conocido que la adaptación esquelética es posible en sujetos que han finalizado el crecimiento.

Aunque existe una gran diferencia individual en cuanto a la edad esquelética, podemos identificar un patrón general en el que se observa un incremento del crecimiento sagital condilar entre las etapas prepico y pico de crecimiento, seguido de una disminución en el periodo postpico (Figura 1). Sin embargo, los sujetos tratados con Herbst en el pico o 1 o 2 años tras el pico mostraron el mayor crecimiento sagital condilar. Así, la mayor cantidad de crecimiento condilar se encontró en los sujetos tratados en los estadios cercanos al pico de crecimiento⁴². Este hecho ha sido descrito en la literatura ya que en adultos jóvenes el crecimiento de la fosa glenoidea puede remodelarse y se han obtenido resultados comparables entre pacientes tratados con Herbst y cirugía ortognática (siempre en adultos jóvenes)^{42,54}.

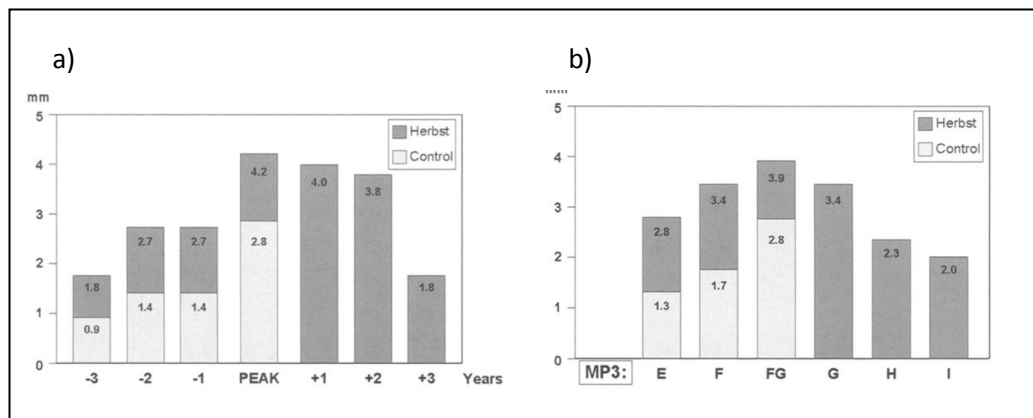


Figura 1. a) Cantidad de crecimiento mandibular en mm relativo al pico de crecimiento puberal en pacientes tratados con Herbst y controles. b) Cantidad de crecimiento mandibular en mm relativo al estadio de crecimiento según Hägg y Taranger⁴⁴. Tomado de Ruf y Pancherz⁴².

En cuanto a la estabilidad post-tratamiento, es la misma independientemente del momento de tratamiento, aunque la relación de tejidos blandos es mejor en pacientes tratados en etapa prepuberal, puesto que se normaliza la situación y los tejidos pueden crecer normalmente⁴².

Chhibber y col⁵⁵ también comprobaron las diferencias pre y post puberales con el aparato twin force bite corrector. Dividió a los niños en dos grupos, G1 (prepico) y G2 (pico y postpico). Se hicieron medidas cefalométricas antes y después del tratamiento funcional. Así, durante el tratamiento, observaron que G1 tuvo una corrección esquelética mayor y menos efectos dentoalveolares que G2, sin embargo, al final del tratamiento cuando el crecimiento ya ha terminado, no se encontraron diferencias en las mediciones. Sí se vio que el tiempo de tratamiento fue mayor en G1 ($3,67 \pm 1,45$ años) comparado con G2 ($2,75 \pm 1,07$ años), por lo que para este aparato en concreto se prefiere la intervención en la fase postpuberal (tratamiento tardío).

No sólo es importante el conocimiento del estado de crecimiento del individuo para los tratamientos de clase II, también para el tratamiento de clase III. El principal problema asociado en pacientes clase III es diagnosticar si el paciente puede ser tratado con ortodoncia o requiere cirugía, y esta decisión se toma en la infancia; por lo que es importante conocer el crecimiento y desarrollo para predecir un crecimiento anormal o excesivo. Así los diferentes métodos para la evaluación de la edad esquelética pueden ayudar en las clases III a predecir la cantidad de crecimiento esperado, la cantidad de crecimiento remanente para evitar las posibles recidivas y el momento en que ha finalizado el crecimiento en el caso de necesitar cirugía ortognática.

En cuanto al tratamiento temprano de las clases III, hay que tratarlas ortopédicamente tan pronto como sea posible, incluso en dentición decidua; así muchos estudios han demostrado que el tratamiento de clase III es más efectivo en la dentición temprana que en la mixta tardía^{56,57}. Esto se debe a que las suturas circunmaxilares son más abordables durante etapas tempranas^{58,59}.

Así, la previsión e identificación de los picos de crecimiento es de particular interés, no sólo nos ayuda al éxito en el tratamiento ortopédico, sino que también nos sirve para predecir cuánto crecimiento maxilo-mandibular nos queda, útil por ejemplo en la predicción de la recidiva postratamiento, en la planificación de cirugía ortognática y en la inserción de implantes dentales⁶⁰.

1.2. INDICADORES Y MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA MADURACIÓN ESQUELÉTICA

1.2.1 INDICADORES BIOLÓGICOS DE MADURACIÓN ESQUELÉTICA

La madurez esquelética individual puede ser evaluada por varios indicadores biológicos: edad cronológica, desarrollo dental y erupción, menarquia y cambios en la voz, incremento de la estatura corporal, maduración esquelética de la mano-muñeca y la madurez en las vértebras cervicales^{2,3,39}.

Los indicadores biológicos de la madurez esquelética hacen referencia principalmente a cambios somáticos ocurridos en la pubertad, haciendo énfasis en las interacciones entre el desarrollo de la región craneofacial y las modificaciones de otras regiones corporales.

La fiabilidad y eficiencia de los indicadores biológicos de la madurez esquelética pueden ser evaluadas con respecto a varios requisitos fundamentales. Un indicador biológico ideal debe presentar una serie de características, como la eficacia en la detección del pico de crecimiento mandibular, que no utilice exposición radiográfica adicional, que el error interexaminador sea lo más bajo posible y por tanto haya consistencia en la interpretación de los datos. El método utilizado debería presentar un estadio o fase definitiva que coincida con el pico de crecimiento mandibular y otro que ocurra antes del pico de crecimiento mandibular en la mayoría de los sujetos⁴⁹.

1.2.1.1. MADURACIÓN SEXUAL

La maduración sexual en las niñas y niños comienza con la activación de una compleja red neuroendocrina que controla la liberación de una secreción pulsátil de hormona liberadora de gonadotropinas (GnRH) desde las áreas del hipotálamo. A su vez, la secreción pituitaria de gonadotropinas estimula la producción de esteroides sexuales gonadales. Una variabilidad marcada en el momento del inicio de la pubertad, a pesar de las condiciones similares de vida, sugiere influencias multi-factoriales. Así, los factores genéticos, el estado nutricional y la raza parecen desempeñar un papel en el inicio y la progresión de la misma⁶¹. Además, el crecimiento secular parece influir en el rango fisiológico del inicio de la pubertad. Uno de los hechos más significativos en la cronología de la pubertad femenina es su progresivo adelantamiento desde hace más de 100 años⁶².

Hemos visto pues, una edad de inicio puberal variable que está influenciada por numerosos factores. En los años 60, se publicó el libro de Tanner “Growth at adolescence”⁶³ en el que aparecieron por primera vez los famosos “estadios puberales” y en el que se analizó la frecuencia de presentación de dichos estadios según la edad. En las niñas, la edad media de aparición del desarrollo mamario sería 10,9 años (un 10% presentaría el desarrollo puberal antes de los 10 años y otro 10% después de los 12 años y medio) y para los niños la edad media de inicio del desarrollo de los genitales externos sería 12,5 años (un 10% presentaría el desarrollo antes de los 11 años y medio y otro 10% después de los 13 y medio). En un intento de abarcar esta gran variabilidad en la edad de inicio puberal observada en una misma población, la edad normal del inicio puberal se ha definido durante mucho tiempo en base a la edad media de aparición del estadio dos de Tanner (desarrollo mamario en niñas y desarrollo de los genitales externos en niños) en un rango de dos desviaciones estándar.

Flory⁶⁴ y más tarde Buehl y Pyle⁶⁵ analizaron la asociación entre la edad de osificación del sesamoideo y la menarquia y encontraron una correlación de 0,75 y 0,71 respectivamente. Garn y Rohmann⁶⁶ encontraron un coeficiente de 0,65.

La relación de la edad de la menarquia con la edad del máximo crecimiento puberal en estatura está bien documentada⁶⁶⁻⁶⁸. En un estudio de Björk⁶⁹, la menarquia fue registrada en una media de 17 meses tras el máximo crecimiento puberal. Nunca apareció antes del máximo crecimiento puberal, así que su aparición es un indicador útil de que el pico de aceleración del crecimiento ha sido alcanzado o ya ha pasado.

La evaluación mediante el parámetro antropométrico del crecimiento y desarrollo de un individuo generalmente se hace de acuerdo a la edad y sexo del examinado, siendo el crecimiento en longitud uno de los más utilizados en clínica. La evaluación del grado de maduración sexual del adolescente es importante, para estimar los distintos tipos de variaciones fisiológicas, formular pronósticos de estatura y diagnosticar alteraciones patológicas⁷⁰.

Se ha descrito en adolescentes americanas que la estatura que presentan en el momento del inicio de la pubertad influye en la estatura final alcanzada. Firsch⁷¹ predice la estatura final de las niñas, considerando la estatura y la edad en el momento de la menarquia. Se conoce que el pronóstico de la estatura final se efectúa mejor con la edad ósea o el grado de desarrollo puberal, que con la edad cronológica del paciente examinado⁷²⁻⁷⁴.

Según Hägg y Taranger⁷⁵ la asociación entre los indicadores del desarrollo puberal (menarquia en chicas y cambio de voz en chicos) y el crecimiento puberal fue cercano en ambos sexos. De acuerdo a la media de edad, la menarquía ocurrió 1,1 años tras el pico de alta velocidad. La voz puberal en niños fue alcanzada 0,2 años antes del pico de crecimiento, y la voz varonil 0,9 años tras el pico. Todas las chicas habían experimentado la menarquia al final del crecimiento.

Los indicadores de madurez sexual son difíciles de determinar por parte del ortodoncista; los cambios de voz requieren una monitorización continua para determinar los cambios; y en cuanto a la menarquia, no presenta un gran valor predictivo si no está presente e incluso cuando lo está, la paciente puede no recordar exactamente cuándo ocurrió por primera vez.

1.2.1.2 ALTURA Y PESO CORPORAL

Otro de los indicadores biológicos más utilizados para la determinación de la edad esquelética y la evaluación del pico de crecimiento puberal son la altura y peso corporal.

El patrimonio hereditario le procura a cada individuo un patrón de crecimiento y desarrollo específico, el cual puede ser modificado por factores ambientales. La herencia genética no sólo influye en la talla final y proporciones corporales de un individuo, sino también en diversos procesos dinámicos madurativos, tales como la secuencia de maduración ósea y dentaria, edad de menarquia, velocidad de crecimiento y la velocidad de maduración. Tanner⁷⁶ y Frisch⁷⁷ concuerdan en que la estatura final depende de la edad de inicio del desarrollo puberal, es decir, el promedio estatural es mayor en los que inician los eventos puberales a mayor edad. Al analizar la estatura según la edad cronológica, ésta es mayor mientras más temprano se inician los eventos. Esto no se traduce en una mayor estatura final, ya que es sabido que mientras más temprano se inicia la pubertad, la estatura final alcanzada es menor, debido a un cierre más temprano de los cartílagos de crecimiento^{72,76}.

Encontramos también el estudio de Billewicz y col⁷⁸, en el que haya una relación entre la erupción y el peso y estatura de los niños. Los niños que están por debajo de la media de peso y estatura han mostrado una erupción más tardía que aquellos que están dentro del rango estándar.

La presentación de datos longitudinales en forma de curvas incrementales de crecimiento empezó en 1927 cuando Sacmmon⁵ trazó los datos semianuales de altura que Montbeillar había recolectado desde el nacimiento de su hijo en 1759 hasta su 18 cumpleaños. Desde entonces, muchos otros investigadores han trazado curvas incrementales de crecimiento en altura o crecimiento facial en ambos sexos^{13, 15, 69, 75}. Aunque las curvas para ambos sexos son generalmente similares, hay algunos dimorfismos sexuales aparentes. Como concluyeron algunos autores como Nanda¹³, Grave⁷⁹ y Tanner⁸⁰ en algunos de sus estudios, los niños crecieron más y durante más tiempo que las niñas. Gasser⁸¹ describió un crecimiento prepuberal o aceleración de “crecimiento medio” a los 7,5 años aproximadamente en ambos sexos. En el estudio de

Mellion en 2013⁸², esta aceleración prepuberal apareció en las curvas de crecimiento facial y mandibular de las niñas, pero no de los niños.

Autores clásicos como Bowden⁸³, Bambha⁸⁴ y Tanner⁸⁰, entre otros^{44,79} encontraron que la media de edad al inicio y pico de crecimiento en estatura están entre los 12 y 14 años en chicos, y los 10 y 12 años en chicas; y que el inicio de esta aceleración ocurre aproximadamente 2 años antes del pico. Según Björk, el máximo crecimiento en altura se daba 18 ± 3 meses antes en las chicas que en los chicos⁶⁹. Un estudio más actual de 2013⁸² coincidió en cuanto a estas edades en los niños, pero en niñas se adelantaba casi un año, siendo la media a los 9,3 y 10,9 años respectivamente. Estas variaciones pueden deberse a las variaciones seculares entre muestras de diferentes poblaciones.

Hay desacuerdos en la literatura en lo que concierne a la relación entre el momento de la aceleración en la estatura y en el tamaño facial. Nanda¹³ y Bambha⁸⁴ señalan que la estructura facial muestra su máximo circumpuberal más tarde que la estatura; mientras que Hunter¹⁵ y Grave⁷⁹ argumentan que el pico en la estatura y en la cara ocurren de modo sincronizado; aunque Hunter¹⁵ especifica que, en cuanto a la finalización del crecimiento facial con respecto a la estatura, parece estar más cercano en niñas que en el caso de los niños. El crecimiento facial continúa en la tercera década en la mayoría de los hombres mientras que el cese más tardío en mujeres aparece en la segunda década. En el 50% de los hombres el crecimiento facial se completa después que la estatura, lo que ocurre sólo en el 17% de las mujeres. Bambha⁸⁴ también anotó que la estatura y la cara muestran duraciones similares de crecimiento durante la aceleración puberal. El estudio de Mellion⁸² nos dice que el inicio de la aceleración en la estatura ocurre más o menos al mismo tiempo que el inicio del crecimiento de la cara y la mandíbula en niños y quizás un poco antes en niñas. En ambos sexos el pico en la estatura tiene una duración más corta y tiende a ocurrir algunos meses antes que el crecimiento de la cara y la mandíbula. Por lo tanto, los eventos en cuanto a la estatura podrían tener una significación predictiva para planificar el momento del tratamiento.

Son muchos los autores que proponen la estatura o altura corporal como índice o método para la evaluación de la aceleración del crecimiento puberal al encontrar una fuerte asociación entre la estatura y la edad esquelética^{15,69,82}. Por ejemplo Mellion⁸²

sugiere que la estatura podría ser incluso más útil clínicamente que la edad esquelética debido a que puede ser medida repetidamente sin efectos colaterales.

Sin embargo, otros autores afirman que la estatura no es un indicador de madurez⁷⁵. Patcas y col⁸⁵ en 2016 intentan buscar un factor de correlación entre la altura corporal y el crecimiento mandibular. Encuentra que el crecimiento mandibular no coincide con el crecimiento somático de forma precisa, y que el pico máximo de crecimiento condilar precede al pico de estatura en niños y en niñas se retrasa ligeramente del pico de estatura.

En un contexto clínico, los datos sobre el crecimiento longitudinal en altura están raramente disponibles. Incluso con datos adecuados, podría ser difícil localizar el pico de crecimiento puberal antes de que éste pase, ya que el incremento en la ratio de crecimiento es con frecuencia demasiado pequeño, especialmente en niñas, para ser clínicamente discernible. La mayoría de las veces el clínico debe basar su juicio en un simple examen, y así determinar el estatus del individuo sólo mediante una evaluación cross-seccional. Así, se necesita información adicional para estimar el nivel de madurez del individuo. Esta información puede ser obtenida del desarrollo dental, esquelético y puberal. Comparándolos con los estándares para edad y sexo, es posible evaluar si el desarrollo del individuo es normal (o dentro de la media), acelerado o bien retrasado. En ortodoncia es muy importante evaluar la maduración individual en relación a su propia aceleración puberal, lo que presupone un conocimiento de la relación en “tiempo” entre los indicadores de maduración y los eventos puberales.

En cuanto al peso corporal, la puntuación del índice de masa corporal (BMI), calculados entre la altura y el peso, carece de sentido en pacientes en crecimiento debido a que su patrón de crecimiento está relacionado con la edad y el sexo. Los percentiles del BMI específicos para la edad y el sexo ofrecen un método rápido, fácil y no invasivo para evaluar el estatus en cuanto al peso del niño. Los niños que están sobre el percentil 95 son descritos como obesos, entre el 85 y 95 presentarán sobrepeso, entre el 50-85 tienen un peso normal, y por debajo del 50 tienen bajo peso^{86,87}. Las secuelas a largo plazo de la obesidad infantil han sido bien documentadas en la literatura médica (aumento de la presión sanguínea, niveles de insulina, entre otros). También se han

evaluado secuelas dentales por obesidad que incluyen tendencia a prognatismo mandibular y una ratio incrementado de caries dental^{88,89}.

Hay pocos estudios en la literatura que relacionen el índice de masa corporal y la edad biológica; entre ellos destacamos los estudios de Hilgers en 2006⁹⁰ y de Mack en 2013⁹¹. En su estudio, Hilgers⁹⁰ comparó el BMI y la edad del desarrollo dental según el método de Demirjian concluyendo que aquellos niños que presentan sobrepeso y obesidad tenían un desarrollo dental acelerado. En el estudio de Mack⁹¹, el estadio cervical y la edad dental estaban más avanzados en sujetos con el BMI incrementado. En cuanto a los métodos de evaluación del pico puberal mediante radiografías de mano muñeca, también se vió la diferencia en los paciente obesos; así para niños en extremos de BMI, los niños con 95 de percentil presentan casi 3 veces más posibilidades de estar en un estadio 4, 5, o 6 en mano-muñeca versus estadio 1 a 3 en niños con un percentil de 50. Esto es un hallazgo significativo, porque hay una probabilidad aumentada de que un niño obeso de 13 años haya pasado el pico de crecimiento, y un niño de bajo peso de la misma edad tenga todavía un crecimiento remanente significativo.

Así, los ortodoncistas deben considerar el estatus de peso corporal cuando evalúan el crecimiento de los niños y adolescentes ya que puede afectar el desarrollo esquelético y dental. No hay una definición estándar para clínica, pero si un periodo de seguimiento en pacientes en crecimiento es de 6 meses, en los niños obesos se requerirá una observación más frecuente que los niños que tienen bajo peso antes de empezar el tratamiento.

Ambos indicadores de madurez, altura y peso corporal (madurez somática), suponen que el paciente debe ser monitorizado de una manera constante para así determinar cuando sucede ese máximo incremento, pero esto no es siempre posible para el ortodoncista, además de tener poco valor predictivo para el crecimiento futuro o remanente⁹².

1.2.1.3. EDAD CRONOLÓGICA

Como hemos visto anteriormente, la edad esquelética es importante para el ortodoncista puesto que la mayoría de sus pacientes son pacientes en crecimiento, y el clínico debe considerar el estatus de crecimiento craneofacial de cada paciente para planificar el tratamiento. Para evitar radiación extra como supone la radiografía de mano muñeca, lo ideal sería encontrar una concordancia entre la edad esquelética y la edad cronológica.

La edad cronológica que presenta una persona en comienzo de su pubertad varía según el sexo, generación, población y medio ambiente, y difiere enormemente de una persona a otra. Algunos estudios muestran que el pico de velocidad del crecimiento mandibular ocurre durante el periodo circumpuberal. Según diferentes estudios, la media de edad cronológica en la cual ocurre este pico sería de 13,6-14,5 años en niños y entre 10-12 años en niñas^{84,93}; aunque varía de unos estudios a otros como veremos a continuación, probablemente por la diferencia poblacional.

La mayor parte de las investigaciones previas muestran que las edades esquelética y cronológica no coinciden y que hay una variabilidad significativa en la maduración esquelética entre los pacientes^{94,95}. Existe mucha controversia entre los diferentes autores; mientras que algunos como Sierra⁹⁶ encontraron que las relaciones entre la edad cronológica y la edad esquelética presentaban una alta correlación, con coeficientes de 0,58 a 0,71; otros como Fishman^{94,97} afirman que todos los niños no maduran exactamente al mismo tiempo y la edad esquelética del niño puede adelantarse o retrasarse en comparación con su edad cronológica, y que por lo tanto, la edad esquelética es más fiable que la edad cronológica para estimar el pico de crecimiento puberal.

Estudios recientes siguen buscando esta relación entre la edad esquelética y cronológica, y aún así, sigue habiendo controversia entre los diferentes autores, posiblemente por las diferencias en las poblaciones estudiadas como veremos a continuación.

Uysal y col³⁸ buscan en su estudio una correlación entre la edad cronológica y la edad esquelética mediante la maduración en vértebras cervicales y mano muñeca en población turca. La correlación fue de 0,72 ($p < 0,01$) entre la edad cronológica y la maduración vertebral, y de 0,79 ($p < 0,01$) entre edad cronológica y maduración según mano muñeca. Así demostró la existencia de una alta correlación entre edad cronológica y maduración esquelética a través del método de las vértebras cervicales según Hassel y Farman² para ambos sexos, aunque significativamente mayor en niñas. La correlación también fue alta entre la edad cronológica y la maduración a través del método de mano- muñeca según de Grave y Brown⁹⁸ para ambos sexos por igual.

El mismo objetivo persigue Alkhal y col⁹⁵ en su estudio en 2008, es decir, correlacionar la edad cronológica con los dos métodos de maduración esquelética, pero en población del sur de China. Usó el método de maduración vertebral de Baccetti⁴⁹ y la maduración en mano-muñeca de Fishman⁴³; obteniendo unos resultados similares con respecto a Uysal y col en población turca³⁸. Alkal y col⁹⁵ encontraron una buena correlación entre el método de vértebras cervicales y edad cronológica niños $r = 0,75$; niñas $r = 0,78$) y entre método de mano muñeca y edad cronológica (niños $r = 0,74$; niñas $r = 0,77$).

Suri y col en 2013⁹⁹ tuvo como objetivo en su estudio encontrar la concordancia entre la edad esquelética y cronológica usando el método de Greulich y Pyle³ a diferentes edades, con el fin de determinar las diferencias relacionadas con la edad y el sexo en esta concordancia. Encontró que la mayor proporción de sujetos que tenía una diferencia dentro de los 0.5 años entre edad esquelética y cronológica fueron el grupo de los 10 años en niñas y de los 13 años en niños. La mayor diferencia entre edad cronológica y esquelética se encuentra en niñas de 13-16 años y en niños de 16-17 años. Lo que indica al clínico que las niñas de 13-16 y los niños de 16 y 17 años están madurando esqueléticamente más rápido de lo que sus edades cronológicas pueden indicar. Este estudio, para niños y niñas de 9-12 años, es de gran importancia para el ortodoncista puesto que es la media de edad cuando se suele colocar los tratamientos tempranos de ortodoncia. El autor encontró que, para ambos sexos, la edad esquelética estaba muy cercana a la edad cronológica, con diferencias estadísticamente no significativas. Sin embargo, los propios autores admiten que, aunque las diferencias son

pequeñas en algunos grupos, las desviaciones estándar son demasiado amplias, llegando hasta el año.

También destacamos el trabajo de Mellion y col⁸², que anualmente compararon el crecimiento de estatura, cara y mandíbula con la edad cronológica, estableciendo las edades cronológicas del inicio y pico de crecimiento en estatura y en las diferentes estructuras faciales. También se estudiaron las edades esqueléticas según el método de maduración de vértebras cervicales^{39,100} y de mano muñeca^{43,94,97}.

Como resultado encontraron:

- Niñas:
 - Inicio del crecimiento puberal:
 - Altura corporal: 9,3 años
 - Tamaño facial: 9,8 años
 - Longitud mandibular: 9,5 años
 - Pico de crecimiento:
 - Altura corporal: 10,9 años
 - Tamaño facial: 11,5 años
 - Longitud mandibular: 11,5 años

La diferencia entre altura corporal y tamaño facial en el inicio del crecimiento puberal, así como el pico en la altura corporal con las otras dos edades es estadísticamente significativa.

- Niños:
 - Inicio del crecimiento puberal:
 - Altura corporal: 11,9 años
 - Tamaño facial: 12 años
 - Longitud mandibular: 11,9 años
 - Pico de crecimiento puberal:
 - Altura corporal: 14 años
 - Tamaño facial: 14,4 años
 - Longitud mandibular: 14,3 años

El inicio del crecimiento fue más o menos simultáneo, sin embargo, en el pico de crecimiento, el pico en altura ocurrió ligeramente más temprano, pero fue estadísticamente significativo.

Como vemos en todos los estudios anteriores, hay controversia en cuanto a la validez de la edad cronológica como herramienta para evaluar el pico de crecimiento esquelético. Estas variaciones pueden deberse probablemente a la variabilidad poblacional, por lo que uno de nuestros objetivos será evaluar su validez en población española.

1.2.1.4. INDICADORES SÉRICOS DE LA MADURACIÓN ÓSEA

La maduración sexual se caracteriza por un incremento en la velocidad de crecimiento lineal, pasado de una ratio prepuberal de 4-5cm/año a un pico de 10cm/año¹⁰¹. Esta aceleración depende de las hormonas sexuales y de la hormona de crecimiento (GH), o más bien, de la familia de hormonas insulino-dependientes o somatomedinas que regula la acción de la hormona de crecimiento.

- IGF-1

El factor de crecimiento insulino dependiente tipo 1 (IGF-1) es un polipéptido sintetizado hormonalmente. El principal órgano sintetizador del IGF-1 es el hígado, aunque también se produce a nivel local en la placenta, el corazón, el pulmón, el riñón, el páncreas, el bazo, el intestino delgado, los testículos, los ovarios, el intestino grueso, el cerebro, la médula ósea y la hipófisis. La producción es estimulada por la hormona del crecimiento (GH) y puede ser retardada por la desnutrición, falta de sensibilidad a la hormona del crecimiento, falta de receptores de hormona del crecimiento, o fallos en la ruta de señalización post-receptores. Juega un papel importante en el crecimiento postnatal y de los huesos largos^{102,103}. Tanto IGF-1 como IGF-2 se presentan en niveles bajos cuando existe una deficiencia de GH y ambos aumentan en respuesta al tratamiento con GH^{104,105}.

La IGF-1 fue descubierta por Salmon y Daughaday¹⁰⁶ como un mediador de la función de la hormona de crecimiento y desde entonces se ha estudiado extensamente y se ha demostrado que juega un papel importante en la regulación sistémica y local del crecimiento óseo longitudinal tanto prenatal como postnatal¹⁰⁷. Ya en los 80s se confirmó que los niveles de IGF-1 aumentan durante la adolescencia¹⁰⁸, excepto en el trabajo de Furlanetto y col¹⁰⁹, que determinó los niveles de IGF-1 en niños entre 6-16 años y no encontró diferencias en los niveles durante la adolescencia.

Luna y col en 1983¹¹⁰ publicaron un trabajo en el que exploran los niveles de IGF-1 e IGF-2 durante la pubertad en 110 adolescentes sanos, y lo comparan con los estadios puberales de Tanner⁷⁰ y con la edad cronológica. Los sujetos tenían entre 10 y 18 años; aunque también se tomaron muestras en adultos para establecer los niveles normales sin crecimiento. Tanto en niñas como en niños, los niveles de IGF-1 se elevaron hasta tres veces más que la media en el adulto, y tenían más correlación con los estadios de Tanner que con la edad cronológica. Sin embargo, no observaron ningún cambio en los niveles de IGF-2.

Otros estudios posteriores también han relacionado los niveles séricos de IGF-1 con la curva del crecimiento puberal en diferentes poblaciones, encontrándose niveles bajos en los estadios prepuberales, incrementándose en la pubertad y cesando tras el crecimiento puberal retornando a niveles básicos bajos¹¹¹. Como ejemplo tenemos el trabajo de Masoud y col¹¹², que estudiaron los niveles de IGF-1 en sangre y los correlacionó con los estadios de crecimiento esquelético concluyendo que el nivel del suero de GF-1 podría ser usado como un indicador de la madurez esquelética. Juul y col¹¹³ encontraron que estos niveles séricos de IGF-1 incrementaban lentamente en niños prepuberales de 80 a 200µg por litro, con un gran incremento puberal de hasta 500µg por litro. Tras la pubertad, estos niveles caen de forma continua hasta 250µg por litro a la edad de 25 años. Sin embargo, hay todavía un debate sobre los efectos del IGF-1 e IGF-2 y la hormona de crecimiento en la regulación del crecimiento óseo longitudinal¹¹⁴. Daughaday y col¹¹⁵ que compara los niveles séricos con la maduración en mano-muñeca, confirma su potencial como indicador de crecimiento. Ishaq y col¹¹⁶ en 2012 evalúa la aplicabilidad del IGF-1 como indicador de maduración correlacionándolo con el índice de maduración de las vértebras cervicales. Así como resultado obtuvieron que el valor de IGF-1 en cada estadio cervical era estadísticamente

diferente de los demás estadios, encontrándose el valor más alto en el estadio 4 (pico puberal), seguido del estadio 5 (justo después del pico) en hombres y 3 (justo antes del pico) en mujeres, confirmando así que es un indicador útil en la determinación del pico puberal.

Es interesante el estudio de Nayak y col¹¹⁷ puesto que realiza una correlación de los estadios de crecimiento cervicales y la secreción salival de IGF-I. Los resultados son similares a los estudios realizados en sangre, es decir, aparecen más bajos justo antes y después del pico, y la secreción se incrementa significativamente en el pico de crecimiento. Sin embargo, según los propios autores, son necesarios estudios longitudinales y con mayor muestra.

- Proteína relacionada con la hormona paratiroidea (PTHrP)

La morfogénesis de la placa de crecimiento (estructura cartilaginosa altamente organizada), es el resultado de la proliferación de condrocitos, diferenciación y osificación endocondral¹¹⁴. Está regulada por factores genéticos, hormonales, y factores de crecimiento, así como por la nutrición y el medio ambiente¹¹⁸. La influencia de factores locales y sistémicos en la regulación del crecimiento craneofacial, refleja una fuerte asociación entre factores de crecimiento y crecimiento craneofacial¹¹⁹. Los factores sistémicos serían la hormona de crecimiento, el factor de crecimiento insulínico IGF-1, hormonas tiroideas, glucocorticoides, estrógeno y andrógenos como la testosterona.

En diferentes estudios se ha visto que la hormona PTHrP regula el desarrollo de la placa de crecimiento y del cartílago secundario en la cabeza del cóndilo durante la morfogénesis esquelética^{120,121}. Mientras que Kindblom y col¹²⁰ mostraron que los niveles de expresión de la PTHrP incrementaban en las etapas tempranas de la pubertad, un estudio más reciente de Hussain y col en 2013¹¹⁴ correlaciona los niveles de esta hormona PTHrP con los estadios de maduración de las vértebras cervicales encontrando que no hay correlación con los estadios puberales y por tanto cuestiona la validez de esta hormona como indicador de maduración esquelética.

1.2.2 INDICADORES DE MADURACIÓN ESQUELÉTICA DETECTADOS MEDIANTE EVALUACIÓN RADIOGRÁFICA

En la adolescencia hay muchas diferencias fisiológicas en el desarrollo de los individuos de la misma edad cronológica. Por esta razón se usa comúnmente una medida de la madurez fisiológica en preferencia a la edad cronológica para la evaluación del desarrollo. Como hemos visto, la aceleración de crecimiento en altura y peso corporal, la menarquia y caracteres sexuales y la edad cronológica no son los indicadores biológicos adecuados para determinar el pico de crecimiento de un individuo por parte del ortodoncista; ya sea por la poca validez predictiva, por la necesidad de una monitorización que en nuestra especialidad no puede llevarse a cabo o por su escasa correlación con la edad esquelética.

Sin embargo, a pesar de que se ha demostrado la eficacia de los métodos de mano-muñeca y vértebras cervicales para la evaluación de la edad esquelética, la exposición extra de radiación que supone la realización de determinadas radiografías, sugiere la investigación del uso de la edad dental como método alternativo mediante ortopantomografías, consideradas radiografías de rutina en la práctica odontológica.

También hay que tener en cuenta el uso de estos métodos radiográficos para la detección de la edad esquelética, no sólo en el ámbito ortodóncico, sino también en el ámbito forense.

1.2.2.1. MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA MADURACIÓN ÓSEA MEDIANTE LAS VÉRTEBRAS CERVICALES.

La tendencia actual es reducir el número de radiografías a las mínimas necesarias. Por ello, varios investigadores como Lamparski¹²² y O'Reilly¹²³ entre otros, intentan desarrollar unos índices de maduración esquelética con los perfiles de los cuerpos de las vértebras cervicales que suelen aparecer en las radiografías laterales de cráneo, normalmente utilizadas para el diagnóstico en ortodoncia.

La columna vertebral cervical consta de siete vértebras que son las más pequeñas en tamaño de la columna, y la espina cervical forma la principal conexión entre el cuello, el tronco y las extremidades^{2,124}. Las primeras dos, el atlas y el axis, están levemente unidas, y desde la tercera a la séptima presentan grades similitudes. Los cambios maduracionales se pueden observar desde el nacimiento hasta la madurez completa^{124,125}. El crecimiento vertebral parte de la capa cartilaginosa sobre las superficies superior e inferior de cada vértebra¹²⁶, y los núcleos de osificación secundaria en las puntas de las apófisis espinosas bífidas y de las apófisis transversales aparecen durante la pubertad¹²⁷. Los núcleos de osificación secundaria se unen con las apófisis espinosas cuando el crecimiento vertebral es completo.

El Atlas o primera vértebra cervical presenta ausencia del cuerpo vertebral y de la apófisis espinosa, presenta un arco anterior, uno posterior y dos masas laterales que en conjunto se disponen en forma de anillos; también presenta una apófisis transversa¹²⁹ (Figura 2 y 3). El Axis es la segunda vértebra cervical y es el mayor y más fuerte de los segmentos cervicales (Figura 4). Su característica diferencial es la apófisis odontoide, propia y única de esta vértebra, y su función principal es la de servir de pivote de rotación del Atlas. Las restantes vértebras cervicales presentan una anatomía similar entre sí¹²⁹.

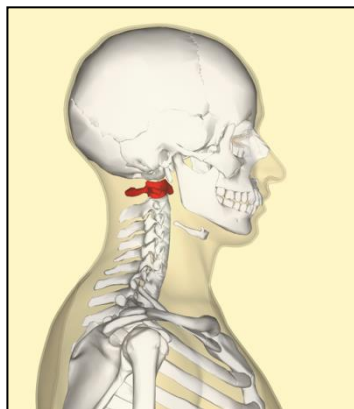


Figura 2. Situación del Atlas en la espina cervical. Tomada de BodyParts3D/Anatomography website

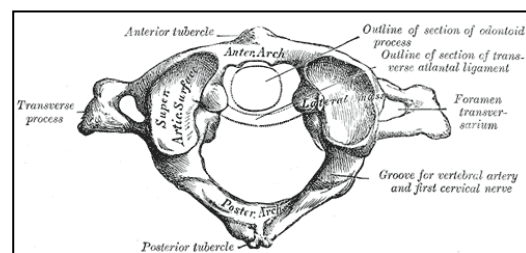


Figura 3. Partes del Atlas. Tomada de Gray's Anatomy of the Human Body

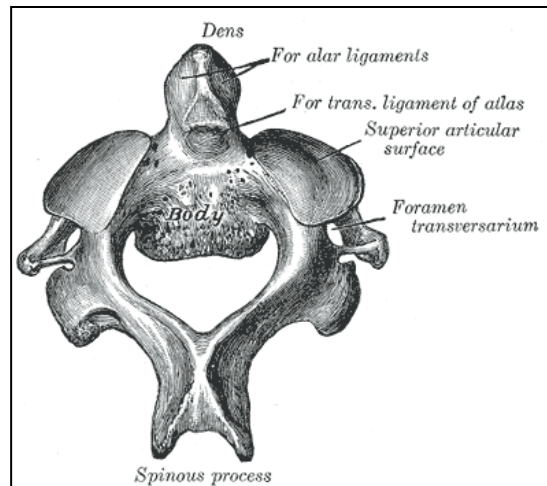


Figura 4. Partes del Axis. Tomada de Gray's Anatomy of the human body

Las dos primeras vértebras cervicales, Atlas y Axis, anatómicamente presentan rasgos propios y particulares. Cave¹²⁸ en 1937 propone que la tercera vértebra cervical se denomine "vértebra crítica", ya que está en un lugar especial y es la unión entre el cráneo y sus dos vértebras cervicales más próximas, cuya función está unida a éste y el resto de la columna vertebral, mucho más estable. Cattel y Filtzer¹³⁰ encontraron en su estudio variaciones normales que pueden presentar los niños en la espina cervical, y las dividen en tres tipos: variaciones debido al desplazamiento de las vertebrae que podrían parecer subluxación, variaciones de la curvatura que podrían parecer daños ligamentosos, y variaciones relacionadas con los centros de crecimiento esquelético que podrían parecer fracturas. También existen anomalías reales que deben ser identificadas en los niños o adolescentes como son las fracturas, infecciones, poliartritis, anquilosis, defectos congénitos, etc^{2,127}.

Las vértebras cervicales, como cualquier otra parte del organismo sufren una serie de cambios a medida que el individuo se desarrolla. Knutsson¹²⁶ en 1961 describió el crecimiento que tiene lugar en las vértebras del ser humano después del nacimiento, tanto en sentido vertical como horizontal. Las vértebras cervicales presentan unos patrones de desarrollo y unos núcleos de osificación comparables a los huesos de la muñeca y de la mano, por lo tanto, se pueden utilizar de forma fiable para valorar la edad ósea del individuo, estudiando la modificación de las vértebras en cuanto a forma y tamaño¹³¹. En 1963 Bench¹³² publicó un estudio en el que observa la relación entre el crecimiento de la mandíbula y las vértebras cervicales, además de la relación entre el

crecimiento de la tercera vértebra y el descenso del hueso hioides. Hellsing en 1991¹³³ demostró que durante la edad adulta hay una correlación significativa entre la longitud y altura de los cuerpos vertebrales y la estatura del individuo.

La edad vertebral se basa en la evaluación de diversos eventos de maduración y desarrollo que aparecen de forma secuencial durante la madurez ósea específicamente en las vértebras cervicales¹²². El uso de las vértebras cervicales como método para valorar la maduración ósea en radiografías cefálicas laterales fue empleado inicialmente en 1972 por Lamparski¹²². En su estudio desarrollado en la Escuela de Medicina Dental de la Universidad de Pittsburg estableció una clasificación basada en los cambios que se dan en las vértebras cervicales. Su método fue tomado de autores como Lanier¹³⁴ y Bick y Copel¹²⁴. La muestra empleada fue de un total de 141 pacientes, 72 niñas y 69 niños entre 10-15 años de edad, caucásicos, con una oclusión de Clase I mesomórficos y sin patología previa. El autor estudió los cambios en el tamaño y forma de las vértebras cervicales para crear estándares de maduración para las mismas. Por otro lado, realizó radiografías de mano-muñeca asignando la edad ósea a cada paciente mediante el método de Grewlich y Pyle³. Reconoció 6 estadios que podemos resumir como:

- Estadio 1: todos los bordes inferiores de las 6 primeras vértebras cervicales son planos. Los bordes superiores son trapezoidales.
- Estadio 2: Puede observarse concavidad en el borde inferior de C2. Va aumentando la pared vertical de las vértebras.
- Estadio 3: aparece concavidad en el borde inferior de C3. El resto de las vértebras cervicales, excepto C2, presentan bordes inferiores planos.
- Estadio 4: todos los cuerpos vertebrales son ahora rectangulares. Empieza a desarrollarse la concavidad en el borde inferior de C4 (también empieza a formarse en C5 y C6).
- Estadio 5: Las 6 primeras vértebras cervicales presentan concavidad en su borde inferior. En cuanto a la forma, se acercan a ser cuadradas y los espacios entre las vértebras son menores.
- Estadio 6: Se caracterizan por presentar una forma rectangular vertical, es decir, son más altas que anchas.

Entre las conclusiones del trabajo destacamos que la valoración de la edad vertebral en las radiografías es estadísticamente fiable, válida y es clínicamente tan útil como la valoración esquelética mediante la radiografía de la muñeca. Otro hallazgo fue que los indicadores de maduración vertebral de niños y niñas son los mismos, la diferencia es que en las niñas cada estado de desarrollo se observa más temprano. La edad esquelética determinada por este método está un año adelantada con respecto a la obtenida en la radiografía de la mano y muñeca, lo cual debe ser considerado en el momento de su determinación. Una desventaja de este estudio es la necesidad de observar hasta la sexta vértebra en la radiografía cefálica lateral, requerimiento difícil de cumplir ya que por lo general se visualiza solo hasta la quinta. Además, no puede calcularse la edad ósea con tanta precisión como ocurre con el método de Grewlich y Pyle, ya que lo expresa en años completos sin considerar los meses.

En 1988, O'Reilly y Yanniello¹²³ establecieron una relación entre la maduración de las vértebras cervicales y los cambios en el crecimiento mandibular. Realizaron un estudio en 13 niñas caucásicas entre 9 y 15 años, evaluando anualmente cefalometrías laterales y utilizando el método de Lamparski¹²². Encontraron que los incrementos estadísticamente significativos en la longitud mandibular, longitud del cuerpo mandibular y altura de rama estaban asociados con estadios específicos de maduración en las vértebras cervicales. Su estudio reveló que existían incrementos significativos entre los estadios 1-2 y 2-3 de Lamparski¹²² para la longitud mandibular, y entre 1-2 para la altura de la rama. Afirmaron que los estadios del 1 al 3 ocurrían antes del pico máximo de velocidad del crecimiento puberal.

Existe una gran correlación entre los cambios en la longitud de los huesos de la mano y la osificación del sesamoideo con los cambios de las vértebras cervicales y la aparición de la placa epifisiaria en la apófisis odontoide, lo que sugiere que la aparición de dicha placa podría utilizarse como indicador del máximo brote de crecimiento puberal, así como se utiliza el sesamoideo en la muñeca^{135,136}.

Hassel y Farman en 1995² usaron una muestra de 220 sujetos (110 hombres y 110 mujeres de 8-18 años) de descendencia nórdica. Estableciendo una relación significativa entre el método de Fishman⁴³ para la valoración de la madurez en radiografía de mano-muñeca y la evaluación de la madurez en cefalometría lateral usando sólo la segunda, tercera y cuarta vértebra cervicales, a diferencia de

Lamparski¹²² (Figura 5). La razón por la que seleccionaron C2, C3 y C4 fué porque podían ser visualizadas incluso cuando se lleva el collar protector para el tiroides durante la exposición radiográfica.

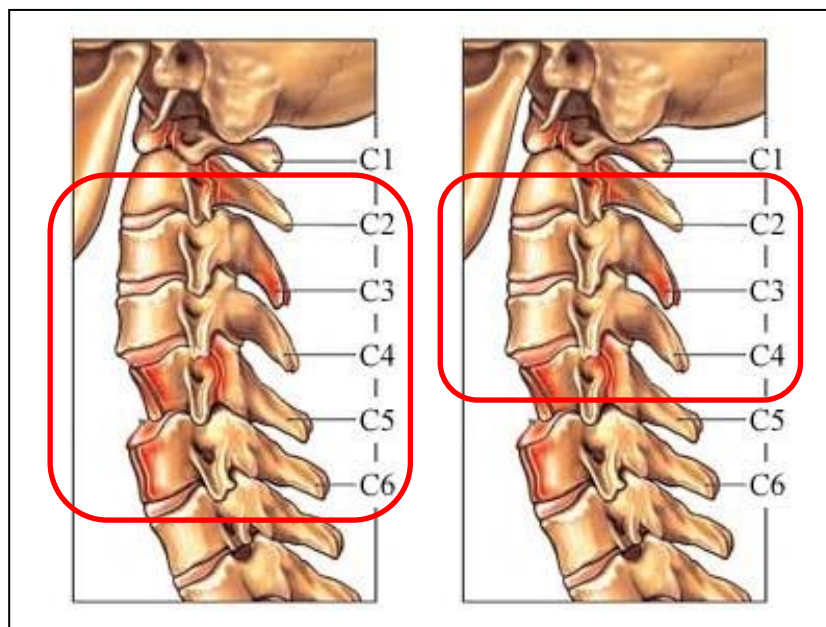


Figura 5. En la primera figura observamos las vértebras estudiadas en el método de Lamparski¹²² y en la segunda las empleadas en el método de Hassel y Farman².

Hassel y Farman² evaluaron la presencia y ausencia de curvatura de C3-C4 y la forma general de sus cuerpos, además de los espacios intervertebrales. Establecieron seis categorías que indican la maduración de las vértebras cervicales y su relación con la maduración del individuo y las describimos a continuación (Figura 6):

- Categoría 1 o iniciación: corresponde a la combinación de los estadios 1 y 2 de Fishman. Los bordes inferiores de C2, C3 y C4 son planos. Las vértebras tienen forma de cuña y se inclinan desde posterior a anterior. En esta etapa el niño presenta 80-100% de crecimiento remanente.
- Categoría 2 o aceleración: corresponde a la combinación de los estadios 3 y 4 de Fishman. Aparecen concavidades en bordes inferiores de C2 y C3, pero el borde inferior de C4 todavía está plano. Los cuerpos de C3 y C4 son rectangulares. En esta etapa comienza la aceleración del crecimiento, el niño presenta el 65-85% de crecimiento remanente.

- Categoría 3 o transición: representa una combinación de los estadios 5 y 6 de Fishman. Se observan concavidades en los bordes inferiores de C2 y C3 e inicio de C4. Los cuerpos vertebrales son de forma rectangular. En esta fase la aceleración del crecimiento todavía está activa, cerca del pico máximo, sólo falta por completarse el crecimiento en un 25-65%.
- Categoría 4 o desaceleración: corresponde a una combinación de los estadios 7 y 8 de Fishman. Todas las vértebras presentan ya sus bordes inferiores cóncavos y C3 y C4 comienzan a presentar una forma más cuadrada. En esta fase falta por completarse el crecimiento en un 10-25%.
- Categoría 5 o maduración: corresponde a una combinación de los estadios 9 y 10 de Fishman. Las concavidades están más acentuadas y los cuerpos de C3 y C4 son cuadrados en forma. En esta etapa finaliza la maduración vertebral, con un crecimiento puberal remanente del 5-10%.
- Categoría 6 o completación: corresponde al estadio 11 de Fishman. Se considera que el crecimiento es completo en esta etapa y no se espera ningún tipo de crecimiento. C2, C3 y C4 presenta concavidades muy profundas en sus bordes inferiores y presentan una forma cuadrada, aunque mayor en su dimensión vertical que en su dimensión horizontal.

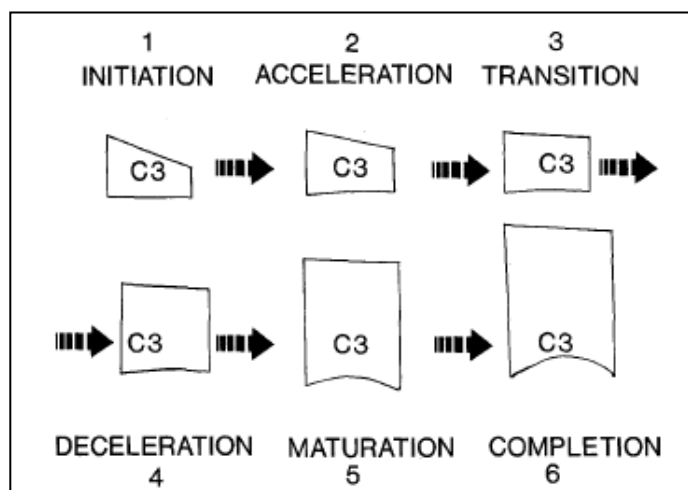


Figura 6. Esquema del método de Hassel y Farman.
Tomada de Hassel y Farman².

Hassel y Farman² confirmaron así las observaciones de Lamparski¹²² exceptuando la falta de un estrechamiento del espacio intervertebral con el aumento de la edad.

San Román 2002 y cols¹⁰⁰ realizaron un estudio para determinar la validez de la valoración radiográfica de la maduración mediante las vértebras cervicales. Para este estudio se utilizaron una radiografía de la mano izquierda clasificada según Grave y Brown⁹⁸ y una lateral del cráneo analizadas según los estadios descritos por Lamparski¹²² y Hassel y Farman². Así en una muestra de 958 niños españoles (428 niños y 530 niñas), observaron los cambios anatómicos que presentaban la concavidad del borde inferior, la altura y forma del cuerpo vertebral desarrollando así un nuevo método para la evaluación de la maduración esquelética. Como resultados obtuvieron que existe correlación entre el método de mano-muñeca y el método de maduración de las vértebras cervicales, siendo la correlación más alta con el método de Hassel y Farman², y que, de los tres parámetros estudiados, es la concavidad del cuerpo vertebral la que presenta la mayor correlación con el método de maduración de mano-muñeca. El hallazgo de que la altura tenga una menor correlación con mano-muñeca que la profundidad se debe a factores como la presión¹²⁵, la posición corporal¹³⁸, enfermedades^{124,138} y patrón facial¹³².

Baccetti y cols^{39,49,137,139} proponen una versión “mejorada” del índice o método de maduración de las vértebras cervicales (CVM) como método de detección del pico de crecimiento mandibular basándose en el análisis de la segunda, tercera y cuarta vértebra en una simple cefalometría. La muestra consistió en 30 sujetos (18 niños y 12 niñas) que presentaban al menos 6 cefalometrías consecutivas. Para definir el pico de crecimiento mandibular en la pubertad usaron el máximo incremento en Co-Cg entre dos cefalometrías consecutivas, e incluyeron en el estudio las dos radiografías anteriores y las dos posteriores a las utilizadas para definir el pico de crecimiento. El análisis consistió en una evaluación tanto visual como cefalométrica de las características morfológicas de las 3 vértebras cervicales. En el análisis visual se observó la presencia o ausencia de concavidad en el borde inferior de C2, C3 y C4; así como la forma del cuerpo de C3 y C4 (trapezoidal, rectangular horizontal, cuadrado y rectangular vertical). En cuanto al análisis cefalométrico, trazaron una serie de líneas y puntos para intentar obtener la forma de la vértebra de una manera más precisa y objetiva (Figura 7).

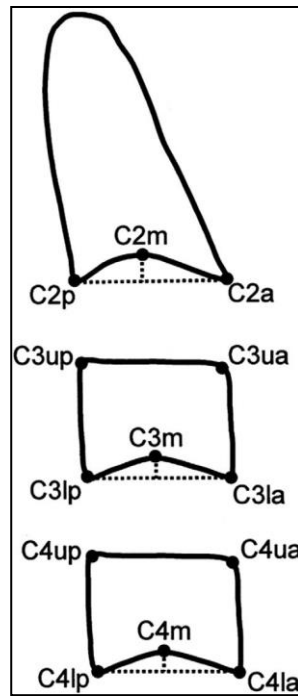


Figura 7. Esquema de las medidas realizadas para obtener la forma vertebral. Tomada de Baccetti y col⁴⁹.

En definitiva, Baccetti y col^{39,49,137,139} distinguen 6 estadios (Figura 8):

- Estadio cervical 1 (CVM1): Los bordes inferiores de todas las 3 vértebras son planos. Los cuerpos de C3 y C4 son trapezoidales en forma (el borde superior del cuerpo vertebral está inclinado de posterior a anterior). El pico en el crecimiento mandibular ocurrirá sobre 2 años tras este estadio.
- Estadio cervical 2 (CVM2): En el borde inferior de C2 encontramos una concavidad. Los cuerpos de C3 y C4 tienen forma trapezoidal. El pico de crecimiento mandibular ocurrirá sobre 1 año tras este estadio.
- Estadio cervical 3 (CVM3): Aparecen concavidades en los bordes inferior de C2 y C3. Los cuerpos de C3 y C4 pueden ser o trapezoidales o rectangulares horizontales. El pico de crecimiento mandibular ocurrirá durante el mismo año tras esta etapa.
- Estadio cervical 4 (CVM4): Aparecen concavidades en los bordes inferiores de C2, C3 y C4. Los cuerpos de C3 y C4 son rectangulares horizontales. El pico de crecimiento ha ocurrido entre 1-2 años antes de esta etapa

- Estadio cervical 5 (CVM5): Las concavidades en C2, C3 y C4 todavía están presentes. Al menos uno de los cuerpos de C3 y C4 son cuadrados. Si no son los 2 cuadrados, la otra tendrá una forma todavía rectangular horizontal. El pico de crecimiento mandibular ha finalizado al menos 1 año antes de esta etapa.
- Estadio 6 (CVM6): Las concavidades de C2, C3 y C4 todavía son evidentes. Al menos uno de los cuerpos de C3 o C4 son rectangulares verticales. Si no son los 2, la otra tiene forma cuadrada. El pico de crecimiento mandibular ha terminado al menos 2 años antes de esta etapa.

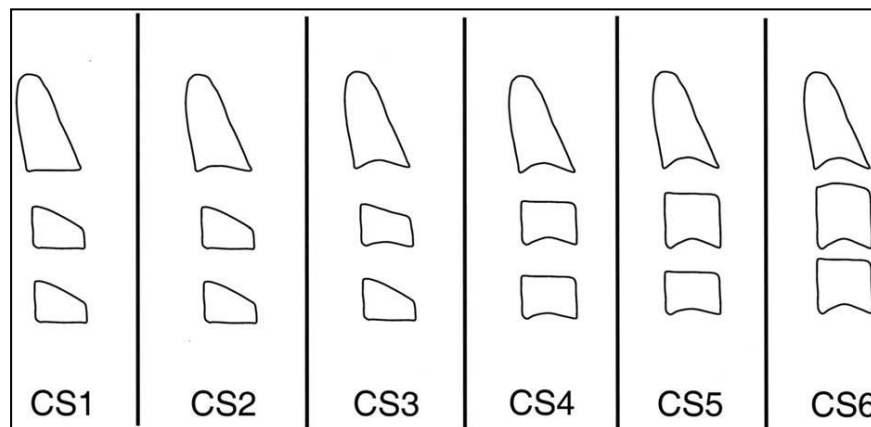


Figura 8. Esquema de los estadios del método de Baccetti y col. Tomada de Baccetti y col⁴⁹.

Por tanto:

- Cuando estamos en la etapa CVM1 o CVM2, el clínico puede esperar al menos un año más para la próxima reevaluación radiográfica.
- Cuando aparece la concavidad en el borde inferior de C2 nos indica que el año del pico empezará aproximadamente 1 año después de esta etapa.
- CVM3 representa el estadio inicial para comenzar la ortopedia funcional de la mandíbula, ya que el pico ocurrirá dentro de ese mismo año.
- En los ejemplos de este artículo, en el estadio CVM3 la mandíbula incrementó de media 5,4mm, lo que significa el mayor incremento si lo comparamos con el crecimiento entre CVM1-CVM2 (2,5mm), entre CVM2-CVM3 (2,5mm), CVM4-CVM5 (1,6mm) y CVM5-CVM6 (2,1mm).

Gu y McNamara en 2007¹⁴⁰ realizaron un estudio con implantes para evaluar los cambios dimensionales en la mandíbula durante 5 intervalos del crecimiento circumpuberal. Para ello analizaron una muestra de 20 sujetos (13 niñas y 7 niños), y se

analizaron sus cefalometrías en 6 estadios consecutivos de maduración vertebral (CVM1 a CVM6) según el método de Baccetti⁴⁹. Como resultados obtuvieron que el pico de crecimiento se encuentra entre CVM3 y CVM4., pero que la remodelación mandibular y la rotación condilar continúan tras este pico de crecimiento.

Perinetti y col¹⁴¹ en 2016, quisieron también en su estudio ver si los métodos de evaluación del pico de crecimiento mediante el análisis visual en vértebras cervicales y la detección del pico de crecimiento en altura corporal era capaz de identificar el pico de crecimiento mandibular. Como resultados obtuvieron que los estadios que mostraban el pico de crecimiento según los métodos radiográficos y el pico de crecimiento en altura pueden ambos usarse como predictores del pico de crecimiento mandibular en las medidas Co-Go (intersección entre los puntos Condilon y Gonion, correspondiente a la altura de la rama) y mMG (“mean mandibular growth” que sería la media aritmética entre la altura de rama antes descrita y la intersección condilon y gnation). También encontramos en la literatura estudios que no encuentran correlación entre los métodos de evaluación y el crecimiento craneofacial. Así Engel y col¹⁴² en 2016 evalúan el crecimiento craneofacial semianual de niñas con maloclusión de clase II (longitud maxilar y mandibular y altura facial) con el método de Baccetti^{39,49}; encontrando un bajo índice kappa y rechazando la hipótesis de que el método de vértebras cervicales realmente puede predecir el crecimiento mandibular, aunque sí encuentran relación entre este crecimiento y la edad cronológica.

Se han propuesto una variedad de nuevos métodos para la evaluación automática de la edad ósea, con el objetivo de reducir la complejidad y subjetividad y el incremento de la fiabilidad de los métodos de evaluación en vértebras cervicales¹⁴³⁻¹⁴⁷.

Chen en 2004¹⁴³ estableció una ecuación para predecir la longitud incremental mandibular basándose en el análisis de las vértebras cervicales y comparar la precisión predictiva con otros métodos. Hicieron dos grupos de 23 niñas japonesas entre el CVMS 1 y el CVMS 5 según en método de Baccetti⁴⁹. El grupo A fue examinado para construir la ecuación de predicción; el grupo B sirvió para comparar el éxito predictivo con el método de crecimiento potencial y el método de porcentaje de crecimiento¹⁴⁴. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: se determinó una ecuación para obtener los incrementos de longitud mandibular basándonos en las medidas en la tercera y

cuarta vértebra cervical ($MLI = 36.20 - 0.71 \times AH3 - 0.97 \times PH3 - 0.90 \times AH4$; siendo MLI el incremento de la longitud mandibular); y la media de error entre el incremento predicho y el incremento actual fue de 1,5mm para el método de la ecuación, 2,4mm para el método del crecimiento potencial y 2,8mm para el método de porcentaje de crecimiento. Estos resultados sugieren que con el uso de la medida de las vértebras cervicales, es posible evaluar el potencial de crecimiento mandibular; es más, defienden su uso como método de predicción del incremento de la longitud mandibular frente al método de mano-muñeca, puesto que, además de que los resultados muestran más precisión en la predicción, la mandíbula está localizada cerca de las vértebras y el tiempo de la formación mandibular es más cercano al de las vértebras que al hueso de mano-muñeca(Figura 9).

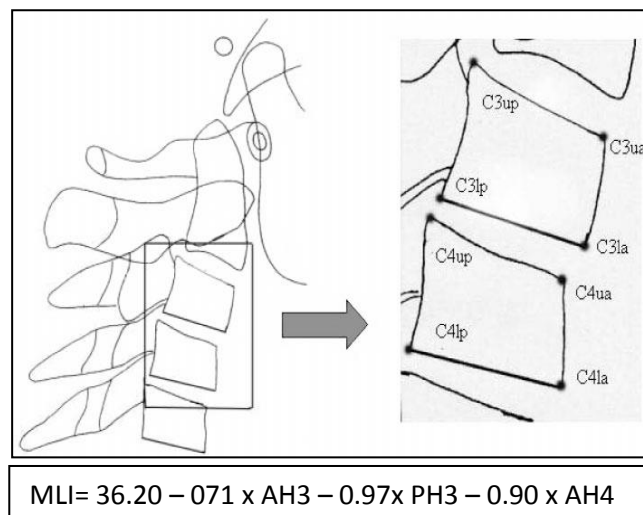


Figura 9. Esquema de los diferentes puntos utilizados para la medición del tamaño y forma de las vértebras. Tomada de Chen y col¹⁴³.

Gray y col¹⁴⁵ en 2016 proponen una evaluación morfométrica digitalizada de los cuerpos vertebrales, y comparan el método CVM de Baccetti y col⁴⁹ con el pico de crecimiento mandibular y la edad cronológica. Como resultado obtuvieron que, aunque había correlación entre los cambios morfométricos de las vértebras y los estadios de CVM, no encontraron una asociación significativa entre los estos estadios de CVM y los cambios longitudinales mandibulares; sólo se encontraron cambios morfométricos detectables una vez había pasado el pico de crecimiento mandibular, mientras que antes y durante el pico esta morfometría se mantenía similar (Figura 10)

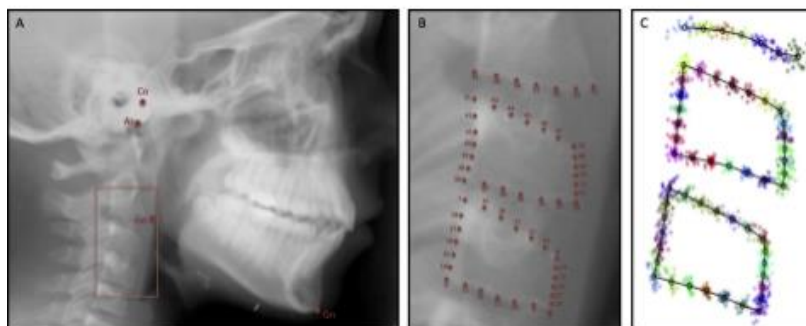


Figura 10. A, medidas utilizadas para determinar el crecimiento mandibular. B y C, medidas utilizadas para determinar el análisis morfométrico de las vértebras cervicales. Tomada de Gray y cols¹⁴⁵

Baptista y cols¹⁴⁶ propusieron un método semiautomático para predecir el estadio CVM, basado en las características morfológicas descritas en el método de Baccetti⁴⁹. Para ello utilizaron 188 radiografías laterales evaluadas manualmente por dos expertos y un tercer examinador colocó marcas usando un programa de software especial. El clasificador mostró un coeficiente Kappa de $0,861 \pm 0,02$. Los resultados de este estudio muestran que el método de clasificación semi-automático puede ayudar al ortodoncista a identificar el estadio CVM. Sin embargo, son necesarios estudios adicionales antes de que este método sea implementado en la práctica clínica.

Encontramos un estudio piloto de 2014, en el que se expone un nuevo software para evaluar la geometría de las vértebras cervicales y así compararlo con la maduración esquelética¹⁴⁷. Lo que se realiza es un análisis cuantitativo de la maduración de las vértebras (Figura 11), y evalúan su aplicabilidad mediante un modelo de regresión logística multinominal. La justificación de este estudio, como el de los anteriores que usan diferentes fórmulas y diferentes tipos de software, es analizar la madurez esquelética en las vértebras de forma cuantitativa, ya que se ha visto en numerosos estudios que el mayor defecto de los diferentes métodos para evaluar los cambios en las vértebras es la subjetividad en adjudicar las diferentes etapas de maduración según la forma o tamaño de la vértebra, es decir, pasar de una valoración cualitativa a una cuantitativa.

Para ello, utilizaron una muestra de 236 sujetos (116 niños y 120 niñas) en las que se analizaron la C2, C3 y C4 mediante el método de Fishman^{43,94,97}, agrupándolos

en 11 categorías. En cuanto a los cambios cuantitativos en la maduración de las vértebras (QCMC, quantitative cervical maturational changes) se hicieron 4 grupos:

QCMC I: aceleración del crecimiento. Estadios de Fishman 1-3

QCMC II: alto crecimiento. Estadios de Fishman 4-7

QCMC III: deceleración del crecimiento. Estadios de Fishman 8 y 9

QCMC IV: consumación del crecimiento: Estadios de Fishman 10 y 11

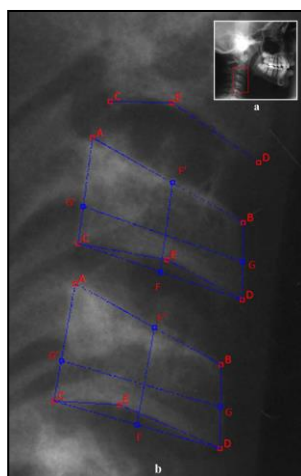


Figura 11. Observamos los diferentes puntos que usa el software para medir cuantitativamente los cambios morfológicos de las vértebras. Tomada de Santiago y col¹⁴⁷.

El modelo de regresión presentaba una predictibilidad del 81,4%. Así, este modelo que combina los cuatro parámetros medidos en las vértebras cervicales, la edad y el género mostró una predicción excelente.

A pesar de que en la literatura encontramos, como hemos visto anteriormente, una gran cantidad de artículos que defienden el uso de la maduración de las vértebras cervicales como método para identificar el pico de crecimiento puberal, también encontramos algunos artículos más recientes que ponen en entredicho la eficacia de este método. Entre ellos destaca el trabajo de Nestman y col en 2011¹⁴⁸, en el que afirma la debilidad en los resultados y la pobre reproductibilidad del método CVM⁴⁹. Para ello utilizó 10 ortodoncistas entrenados en el método CVM, que evaluaron la morfología de las vértebras cervicales de C2-C4 en 30 cefalometrías, usando preguntas basadas en

dicho método. Se obtuvo que la coincidencia interobservador fue alta para evaluar los bordes inferiores de las vértebras, pero no para asesorar las diferentes formas de los cuerpos vertebrales (trapezoidales, horizontales rectangulares, etc.) y así determinar con precisión el estadio CVM. La concordancia interobservador encontrada fue de 0,45; mientras que en otros artículos varían entre el 0,85-0,98^{38,137}. En cuanto a la concordancia intraobservador, en el estudio de Nestman encontramos un rango del 50-88,2%; mientras que en la literatura los valores son muchos más altos, entre 95-100%^{2,137}. Estas diferencias según los autores se deben a que probablemente, en los estudios anteriores las cefalometrías estaban trazadas facilitando así la identificación de la forma del cuerpo vertebral y/o que los autores eran también los observadores en las tesis de concordancia interobservador.

Zhao y col en 2012¹⁴⁹ realizan un estudio cuyo objetivo es evaluar la validez y fiabilidad del método de maduración vertebral cervical (CVM) con una muestra longitudinal. Obtienen una alta reproductibilidad intraobservador, pero la coincidencia interobservador es menor del 50%. Así, la precisión y reproductibilidad del método CVM deja mucho que desear. Los factores que afectan a la fiabilidad de este método serían entre otros, que las “medidas” son puramente subjetivas, es decir, es difícil definir exactamente e identificar la aparición gradual de la concavidad del borde inferior de las vértebras ya que la transición en la forma de los cuerpos vertebrales es un proceso consecutivo y gradual. Por definición, una forma cuadrada tiene la misma longitud y altura. Debe aplicarse una forma arbitraria de lo que debe considerarse cuadrado. Así, la diferencia entre rectangular horizontal, cuadrado, y rectangular vertical depende de la decisión arbitraria del investigador. Otro factor influyente sería que las formas de las vértebras cervicales muestran una variación marcada entre sujeto y sujeto. Algunas veces la forma y los bordes inferiores de C2-C4 no pueden cumplir la definición de un estadio cervical en el mismo tiempo; o por ejemplo, que las formas de C3 y C4 sean todavía rectangulares horizontales en algunos pacientes adultos. También hay que tener en cuenta que algunos de los métodos CVM fueron desarrollados basándose en los cambios incrementales de la longitud mandibular y otros comparándolos con los estadios según mano-muñeca. La controversia sobre la relación entre el crecimiento facial (mandibular) y el del cuerpo general continúa. Algunos estudios sugieren un alto grado de asociación entre ellos⁸⁵, mientras que otros estudios muestran un bajo grado de asociación¹³⁵. Zhao y col¹⁴⁹ creen que no hay una respuesta positiva todavía a la cuestión

de si el crecimiento mandibular puede ser usado como referencia para establecer el método CVM, y si no puede ser usado, la validez de este método será poco fiable.

Sohrabi y col¹⁵⁰ realizaron un estudio en 2016 para comparar la reproductibilidad del método, y así su fiabilidad. Para ello utilizaron 70 radiografías examinadas dos veces por cinco ortodoncistas experimentados, y para facilitar la evaluación aunaron las fases en 1 (CVM 1 y 2), 2 (CVM 3) y 3 (CVM 4 y 5) según el método de Baccetti y col⁴⁹. Como resultado obtuvieron una reproductibilidad inter-observador de 0,61 e intraobservador de 0,74, lo que se considera aceptable como método de evaluación.

Siguiendo en el ámbito de las nuevas tecnologías no debemos olvidar el uso cada vez más frecuente en el campo odontológico de la tomografía computerizada cone-beam o CBCT, la cual nos permite ver las estructuras craneofaciales y el cuello, y por tanto las vértebras cervicales, en tres dimensiones. El estudio realizado por Joshi y col¹⁵¹ en 2012 tiene como objetivo comparar la evaluación de las vértebras cervicales en CBCT con radiografía convencional y la evaluación de la madurez esquelética según la radiografía de mano-muñeca. El método de evaluación para las vértebras cervicales fue el de Hassel y Farman² y para la evaluación de la mano-muñeca se utilizó el método de Fishman^{43,94,97}. La muestra constó de 100 sujetos japoneses de ambos sexos. Como resultado encontraron una alta correlación entre todos los métodos validando así el uso de la evaluación de las vértebras cervicales en CBCT como método para identificar el estadio de crecimiento puberal. También en el estudio de Bonfim y col¹⁵³ en 2016, comparan el método de Hassel y Farman² en CBCT y en secciones sagitales, encontrando una coincidencia casi perfecta (0,983) entre ambos métodos. Sin embargo, en 2012 encontramos el estudio de Shim y col¹⁵² que evalúan también la aplicación del método convencional de Baccetti y col⁴⁹ pero en CBCT. En este estudio sin embargo, encuentran una correlación bastante pobre entre las mediciones CVMS tomadas en CBCT y en radiografías convencionales y también una pobre correlación interoperador; por lo que sugieren que la valoración de la edad esquelética en CBCT necesita un nuevo método, un método en tres dimensiones, ya que el método convencional en dos dimensiones no es aplicable a una CBCT.

La revisión sistemática realizada por Santiago y cols en 2012¹⁵⁴ considerando la fiabilidad del CVM para predecir el pico puberal, muestra que los estudios sobre CVM por evaluación radiográfica de los estadios de maduración esquelética sufren serios fallos metodológicos. Deben realizarse estudios mejor diseñados con adecuada precisión, reproductibilidad, y análisis de correlación, incluyendo artículos con análisis apropiado sensibilidad-especificidad. De 343 citaciones, 23 estudios encuentran criterios de inclusión. 6 artículos tuvieron puntuación alta, mientras que 17 de los 23, baja puntuación. Los análisis también mostraron de una moderada a alta correlación estadísticamente significativa entre CVM y los métodos de mano-muñeca; y una reproductibilidad de moderada a alta del CVM.

Encontramos un metanálisis de 2015, donde Cericato¹⁵⁵ y col revisan la validez de este método de valoración de la madurez esquelética mediante las vértebras cervicales para reemplazar las radiografías de mano-muñeca. Analizan 19 artículos con los mismos criterios, y todos presentan una correlación positiva entre ambos métodos, presentando mayor correlación en niñas (0,925; 0,878) que en niños (0,879; 0,842) para ambos métodos respectivamente. Por lo que concluyen que el método es efectivo para reemplazar a las radiografías de mano-muñeca en la predicción del pico de crecimiento

Precisión, correlación y reproducibilidad podrían estar influenciadas según el método utilizado. Como hemos visto, hay una gran variedad de métodos de evaluación en vértebras cervicales, incluyendo simples análisis cualitativos de la forma y tamaño de las vértebras cervicales^{2,122}, medidas cuantitativas de la forma vertebral (distancia altura- anchura) y profundidad de la concavidad inferior^{39,49} y medidas más específicas a través de análisis morfométricos geométricos¹⁵⁶ o fórmulas de regresión lineal^{143,145}.

Existen numerosos artículos en la literatura que evalúan la correlación entre diferentes métodos de evaluación en la radiografía de mano muñeca y diferentes métodos en vértebras cervicales, con el objetivo de demostrar que ésta última es una herramienta totalmente válida para la evaluación de la madurez esquelética, con la ventaja sobre la radiografía de mano muñeca de que la telerradiografía lateral de cráneo se toma rutinariamente para el estudio y planificación ortodóncica; eliminando así la necesidad de una radiografía extra¹⁵⁷.

1.2.2.2. MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA MADURACIÓN ÓSEA MEDIANTE LOS HUESOS DE LA MANO Y LA MUÑECA

En los primeros años del 1900s, Pryor, Rotch y Crampton¹⁵⁸⁻¹⁶⁰ comenzaron a recopilar indicadores de maduración en radiografías secuenciales de mano y muñeca en pacientes en crecimiento.

Todd¹⁶¹ declaró que el esqueleto madura de forma uniforme, es decir, que cualquier área mostraría el mismo estado de desarrollo de maduración. Otros investigadores apoyan esta afirmación como Driezen y col¹⁶² en 1957, y Safer y col¹⁶³ en 2015, que no encontraron diferencias entre la edad esquelética de la mano derecha y la izquierda; Gam y Rohman¹⁶⁴ encontraron una alta correlación entre las valoraciones de mano-muñeca, codo, hombro, cadera, rodilla y pie. Lamparski¹²² no encontró diferencia y además una alta correlación entre la evaluación de la edad esquelética por mano-muñeca y por vértebras cervicales.

La evaluación de las radiografías de mano-muñeca ha sido el método que se ha usado con más frecuencia para la detección del pico de crecimiento en el diagnóstico del tratamiento ortodóncico. La razón de su uso es que en esta área del esqueleto existen muchos centros válidos de osificación que cambian en diferentes momentos y en diferentes ratios según el estadio de crecimiento puberal¹⁶⁵. Sin embargo, la madurez esquelética está influenciada en cada individuo por una combinación de factores genéticos y medioambientales. La secuencia de osificación y el tiempo de madurez esquelética dentro del área de mano-muñeca muestra polimorfismo y dimorfismo sexual, lo cual puede limitar su uso predictivo clínico^{83,166}.

Hellman en 1928¹⁶⁷ fue el primer ortodoncista en correlacionar las edades de osificación y los estadios de fusión de las falanges con la edad cronológica y con los incrementos en la estatura que ocurren durante la adolescencia. Moss y Noback en 1958¹⁶⁸ también hicieron hincapié en las etapas de fusión de las epífisis y comentaron la facilidad de tratamiento antes de la fusión y la dificultad tras la fusión. Gran y Rohmann en 1962¹⁶⁶ indicaron que la osificación del sesamoideo mostraba sólo una ligera mejor correlación con la unión epifisiaria en la tibia que con la madurez sexual.

Podemos distinguir dos tipos de métodos para la evaluación de los huesos presentes en la mano y la muñeca. Están los métodos comparativos mediante atlas o plantillas, más utilizados en el ámbito forense, y los métodos que relacionan la madurez esquelética con la curva de crecimiento puberal mediante la aparición de eventos u osificaciones en la radiografía de mano-muñeca.

Los métodos comparativos clásicos para la evaluación de la mano-muñeca son el Greulich y Pyle³, y el de Tanner y col⁴.

Greulich y Pyle (1959)³ usan un atlas como estándar para comparar las radiografías. Este atlas está compuesto por plantillas de radiografías mano-muñeca estándar a intervalos de 6 meses de edad; así el método consistiría en comparar la radiografía de mano-muñeca del sujeto en cuestión con las diferentes radiografías del atlas y de este modo asignar una edad en meses. La predicción de la estatura se hará basándose en la edad esquelética y la estatura actual del sujeto de acuerdo a las tablas de predicción de crecimiento unida al atlas. Así, el atlas se introdujo originalmente para predecir la estatura madura mediante la determinación de la edad esquelética usando el análisis de mano-muñeca. Sin embargo, la interpretación de la edad esquelética requiere que el clínico relacione la norma publicada para la población determinada del caso o de la muestra en cuestión, y esto no es siempre posible. Además, es evidente que las sucesivas generaciones son cada vez más altas y alcanza la pubertad en edades más tempranas¹⁶⁶; aunque, en el estudio realizado por Verna en 2012¹⁶⁹ se afirma que el método de Greulich y Pyle es efectivo para la estatura corporal incluso en la población actual a pesar de que el atlas está basado en niños nacidos entre 1920 y 1930.

Un trabajo muy actual (2014) de ámbito forense intenta ver la aplicabilidad del atlas de Greulich y Pyle para evaluar la edad esquelética en 4 grupos étnicos¹⁷⁰, ya que, como sabemos, existe una gran variabilidad dependiendo del género, etnia, nivel socio-económico y localización nutricional y geográfica. La muestra constaba de 184 radiografías y las poblaciones estudiadas fueron asiáticas, africanos/americanos, caucásicas e hispanas. Se obtuvo la edad esquelética mediante el atlas de Greulich y Pyle, y se comparó con la edad cronológica. Los resultados obtenidos concluyen que el atlas GP es útil para los grupos étnicos caucásicos e hispanos, pero no es aplicable para africanos/americanos y asiáticos. Para la muestra asiática, hay un retraso en la edad

esquelética en la infancia. Este retraso llega a más de 2 años entre los 4-6 años. Para la población africana/americana, hubo un avance entre los 8 y los 12 años, y un retraso entre los 14 y 15 años, por lo que el método no es aplicable en el rango de edad entre los 8-15 años para esta etnia. Para los caucásicos, la edad esquelética fue de 0,4435 años menos que la edad cronológica, y para los hispanos, 0,094 años más que la edad cronológica.

Hay otros autores anteriores que han comparado la efectividad del método de Greulich y Pyle en diferentes etnias. Destacan Ontel y col¹⁷¹ que observó las diferencias étnicas entre blancos, negros, asiáticos e hispanos en ambos sexos y concluyó que la eficacia bajaba en asiáticos durante la niñez y en niñas negras e hispanos durante la pubertad, pudiendo llegar a una diferencia de hasta 11 meses entre la edad cronológica y la edad esquelética. También Levine y col¹⁷² coincide en que el atlas de Greulich y Pyle no es válido para la población asiática.

El método de Tanner-Whitehouse 2 (TW2)⁴ es uno de los más usados para evaluar la madurez esquelética en ámbito forense. Consiste en la asignación de una puntuación ponderada a la etapa de desarrollo de cada uno de los 20 huesos de la mano y la muñeca, siendo la edad ósea la puntuación total de la radiografía. Describieron 3 métodos de maduración ósea: Carpo (sólo emplea los 7 núcleos del carpo), RUS (13 núcleos en radio, cúbito y los huesos cortos de la mano) y el sistema de los 20 huesos que une los 7 del carpo y los 13 del RUS. Sin embargo, este método consume mucho tiempo y requiere un conocimiento experto por parte del operador.

La fiabilidad del estándar de Tanner y Whitehouse⁴ versus Greulich y Pyle³ fueron comparados por Acheson y col¹⁷³, que no encontraron diferencias significativas entre estos dos métodos tanto intra como interobservador.

En cuanto a los métodos y trabajos en los que se utilizan indicadores que relacionan la madurez esquelética con la curva de crecimiento puberal mediante la observación de la aparición de diferentes eventos y/o osificaciones son mucho más numerosos^{4,69,79,83,85,94}, al menos en ámbito ortodóncico. Aunque las falanges de los dedos han sido utilizadas con frecuencia^{44,69,83,98}, el aductor sesamoideo de la unión

metacarpal del pulgar y el pisiforme y la apófisis del ganchoso, también han sido seleccionados.

Björk (1967)⁶⁹ realizó su estudio en niños daneses en los cuales valoró la edad de máximo crecimiento en estatura corporal (realización de curvas de crecimiento), mineralización del hueso sesamoideo del pulgar (consideró el inicio de la osificación 6 meses antes del examen en el cual la osificación es evidente), dos etapas concretas de desarrollo dental basadas en la erupción, y en niñas la menarquia. La razón por la cual introdujo el estudio de los sesamoideos, es que consideró que era el único centro de osificación consistente de la mano que aparece cerca de la pubertad. Confirmó que el sesamoideo se osificó $12 \pm 2,1$ meses antes del máximo puberal para las chicas y $9 \pm 1,4$ meses para los chicos. Por lo tanto, el inicio de la osificación del sesamoideo indicó que el máximo puberal era inminente o estaba presente justo en ese momento.

Bowden⁸³ describió un enfoque gráfico (Figura 12) para determinar el punto en la curva de crecimiento donde se encontraba el individuo, basándose en diferentes huesos de la mano y la muñeca; además de determinar la velocidad de crecimiento y el crecimiento remanente. Realizó un estudio con 52 niños y 60 niñas a partir de los 6 años, realizando radiografías de la mano-muñeca izquierda anualmente. Los estadios epifisarios fueron definidos por el método de Greulich y Pyle³(G&P). Sus conclusiones fueron:

- Estadio G&P 6(equals) en la falange medial ocurre justo antes de, y el estadio G&P 7(caps) en la falange distal ocurre justo después del pico del crecimiento
- Estadio G&P 8 (comienzo de fusión) en la falange medial ocurre de promedio justo antes de, y el estadio G&P 9 (fusión completa) en las falanges proximal y distal justo después del final del pico de crecimiento puberal

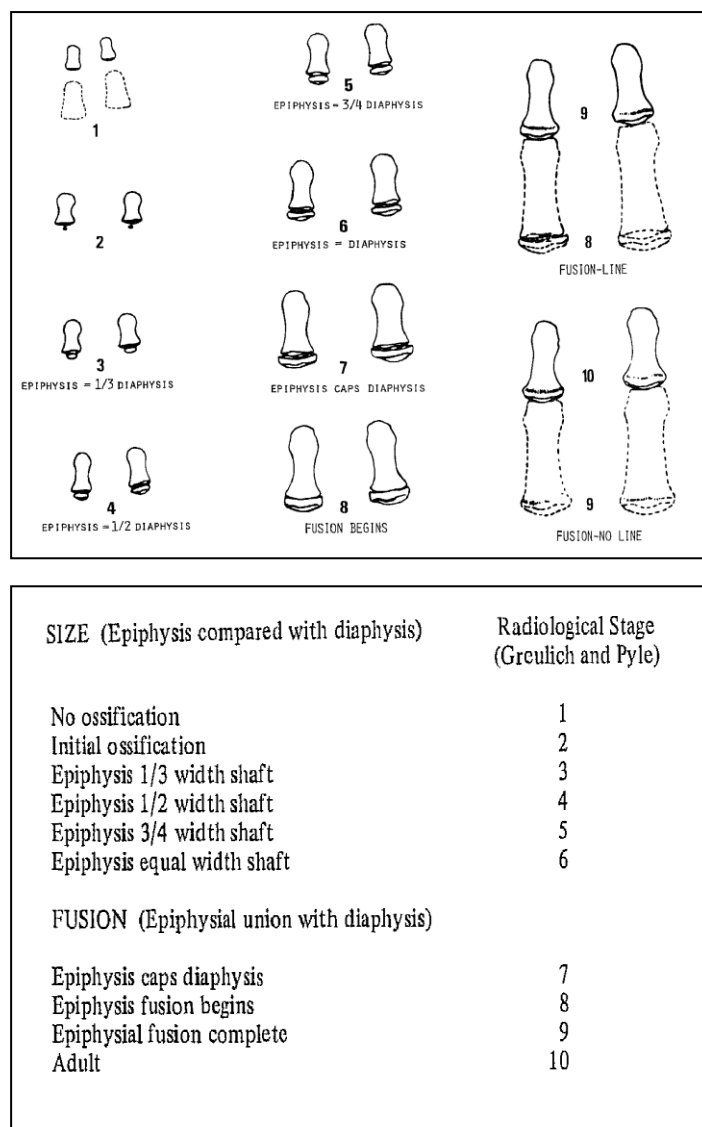


Figura 12. Esquema del método de Bowden, donde se observan los diferentes estadios de osificación comparados con el método de Greulich y Pyle³. Tomada de Bowden⁸³.

Grave y Brown en 1976⁹⁸ examinaron el pico de velocidad de crecimiento en estatura en relación a una serie más extensa de osificaciones que tienen lugar en la mano y la muñeca en la pubertad. Las catorce osificaciones pueden ser agrupadas en dos categorías, osificación de huesos individuales y cambios en las epífisis. En los huesos individuales incluye: la osificación inicial del pisiforme (Pisi), osificación inicial y avanzada del ganchoso (H1, H2), que corresponden a los estadios 7 y 8 de la osificación del ganchoso. Los cambios de las epífisis se evalúan en el primer, segundo y tercer dedo y en el radio. Incluye la misma anchura de epífisis y diáfisis en proximal del 2º dedo (PP2=), medial del dedo medio (MP3=), y radio (R=); epífisis cubre en proximal del

pulgar (PP1cap) medial del dedo medio (MP3cap) y en el radio (Rcap); unión de la epífisis en proximal media y falange distal del dedo medio (PP3 μ , Mp3 μ , DP3 μ) y en el radio (R μ).

Estascatorce osificaciones se dividen en nueve estadios y constituyen el método de clasificación de Grave y Brown⁹⁸(Figura 13):

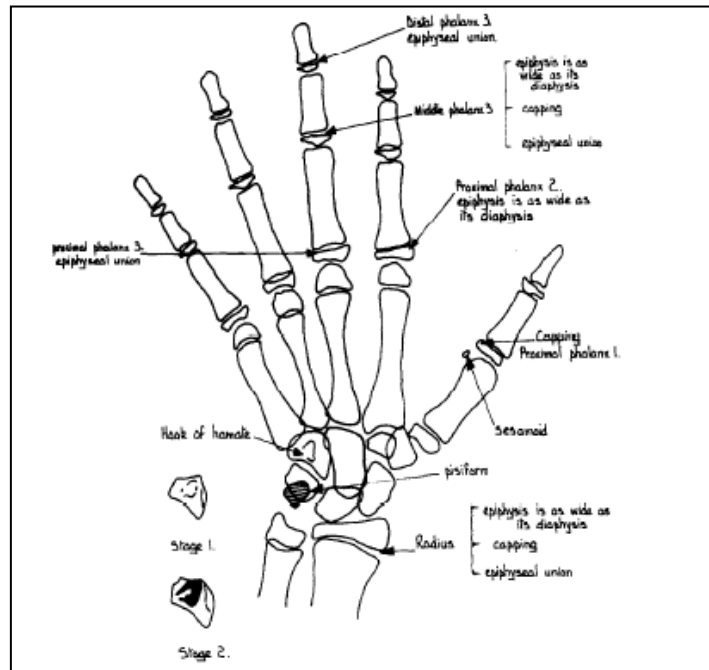


Figura 13. Diferentes sitios de osificación según el método de Grave y Brown. Tomada de Grave y Brown⁹⁸.

- Estadio 1 (PP2=): Misma anchura epífisis-diáfisis en la falange proximal del dedo índice.
- Estadio 2 (MP3=): Misma anchura epífisis-diáfisis en la falange media del dedo medio.
- Estadio 3 (Pisi-H1-R): En esta etapa se observa una ligera osificación del pisiforme y de la apófisis unciforme del ganchoso; además de la misma anchura epífisis-diáfisis a nivel del radio.
- Estadio 4 (s- H2): Se puede observar la mineralización del sesamoideo, así como un mayor grado de osificación en la apófisis unciforme del ganchoso.

- Estadio 5 (MP3cap-PP1cap-Rcap): Comienza la etapa del capping o capuchón, en la cual la epífisis comienza cubrir a la diáfisis a modo de capuchón. Este proceso comienza en la falange media del dedo medio, en la proximal del pulgar y a nivel del radio.
- Estadio6 (DP2u): Se observa la unión epífisis diáfisis en distal del dedo medio.
- Estadio7 (PP3u): Unión epífisis diáfisis en proximal del dedo medio.
- Estadio 8 (MP3u): Unión epífisis diáfisis en mesial del dedo medio.
- Finalmente Estadio 9 (Ru): Unión epífisis diáfisis a nivel del radio.

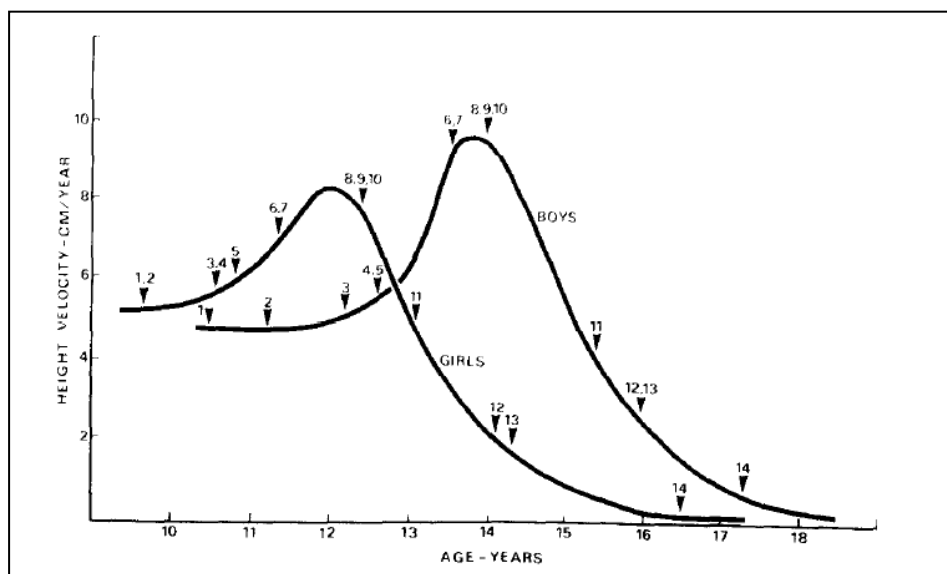


Figura 14. Observamos la diferencia entre niños y niñas en cuanto a la relación entre velocidad de crecimiento en cm/años y la edad cronológica del individuo. Tomada de Grave y Brown ⁹⁸

El intervalo de edad entre los eventos más tempranos y los más tardíos son de 7 años aproximadamente, y es más temprana en chicas. Las diferencias sexuales van de 0,8 años para la unión epifisiaria en el radio a 2,3 años para el ganchoso estadio 2 y para la fusión en distal del dedo medio. La secuencia de osificación no difiere en chicos y chicas. El pico de crecimiento en altura corporal ocurre a los 13,8 en chicos y 11,8 en chicas (Figura 14).

Así, en relación con el pico de crecimiento, la aparición de los eventos estaría secuenciada, de manera que entre 2 y 3,2 años antes del pico observaríamos similar anchura epífisis-diáfisis en proximal del dedo índice y medial del dedo medio; en el momento que precede al pico (entre 1,1 y 1,7 años antes del pico) observaríamos la osificación del ganchoso estadio 1, la osificación inicial del pisiforme, y el mismo tamaño epífisis-diáfisis en el radio; justo en el pico de crecimiento ya aparece el sesamoideo y también el capping de la epífisis en medial del dedo medio (chicos y chicas respectivamente), el ganchoso estaría en estadio 2 y observaríamos capping en el radio; y en las últimas fases de crecimiento, 1,5 años tras el pico se produce la unión epifisaria en la falange distal del dedo medio, y entre 2,3 y 4,6 años tras el pico se produce la fusión de la epífisis en proximal y medial del dedo medio.

En resumen y de forma esquemática, los eventos son: antes del pico: PP2=, MP3=, H-1, Pisi, R=; durante el pico: S, H-2, MP3cap, PP1 cap, Rcap; y tras el pico: DP2 μ , PP3 μ , MP3 μ , R μ .

Fishman^{43,94,97} desarrolló un sistema para la evaluación de la madurez esquelética basándose en 11 indicadores de madurez a los que llamó SMIs. Para confirmar la validez de su método comparó las radiografías de mano-muñeca, altura corporal y diferentes medidas cefalométricas maxilares y mandibulares de 170 niñas y 164 niños, cuya recogida de datos se realizaba cada 6 meses. Proporcionó gráficos y tablas para estimar la ratio de crecimiento individual y el porcentaje de crecimiento del individuo. Estos valores son independientes de la edad cronológica, en lo cual el autor hace mucho hincapié, y se basa en ésta para negar el uso de atlas comparativos.

Además de confirmar la validez de su método, Fishman encontró diferencias significativas entre niños y niñas en la edad del inicio y progresión de la madurez esquelética. Esta diferencia sexual fue mayor durante, y menor tras el pico de crecimiento. La diferencia entre sexos es de aproximadamente 1 año en los niveles 1 y 2, incrementándose a 2 años en los niveles 7 y 8, y disminuye a 1,3 años en el nivel 11. También observó que existía una relación directa entre las variaciones en la ratio de crecimiento de maxilar y mandíbula y la madurez esquelética. Sin embargo, el maxilar y la mandíbula alcanzan su máximo crecimiento más tarde que la estatura corporal. En su estudio, las niñas mostraron mayor velocidad de crecimiento y una madurez más

temprana en cuanto a la estatura y en el maxilar, mientras que la velocidad de crecimiento mandibular fue mayor en los niños. Tras el pico, el crecimiento disminuyó más rápidamente en las niñas que en los niños.

Estos SMIs proporcionan una identificación de los eventos de maduración progresiva (cuatro estadios de maduración ósea) y están localizados en seis sitios anatómicos en el pulgar, tercer dedo, quinto dedo y el radio. La secuencia de los cuatro estadios de osificación progresa a través de la anchura epifisiaria de determinadas falanges, la osificación del sesamoideo en el pulgar, el “capping” de determinadas epífisis sobre las diáfisis y la fusión de determinadas epífisis y diáfisis (Figura 15).

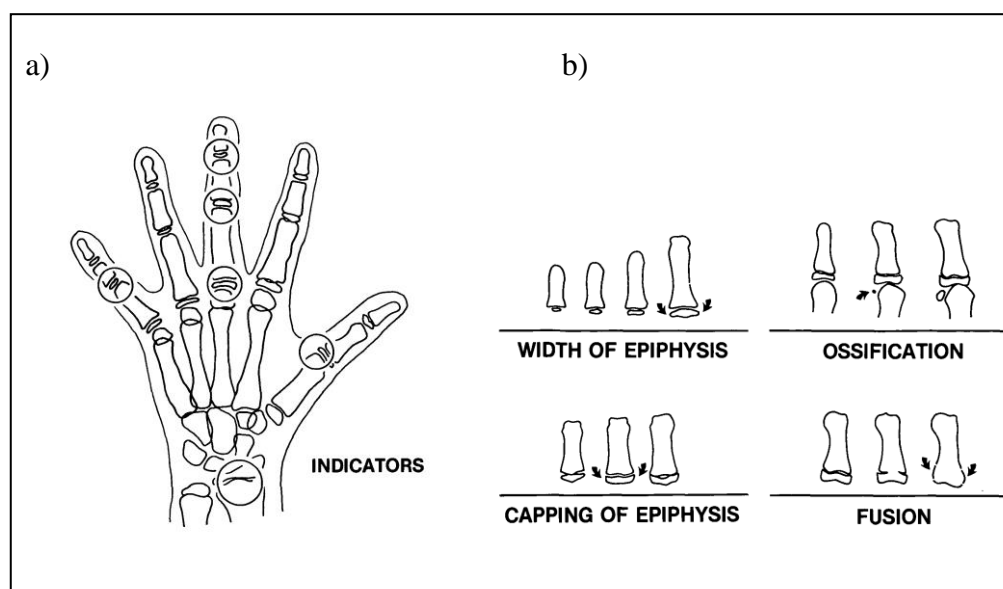


Figura 15. a) Esquema de los 6 sitios de osificación según el método de Fishman. b) Gráfico que explica los diferentes estadios de anchura, capping y fusión de la de epífisis y las diferentes fases de osificación del sesamoideo. Tomada de Fishman^{43, 94, 97}.

La anchura de la epífisis relativa a su diáfisis es un proceso progresivo. La epífisis primero aparece como un pequeño centro de osificación localizado centralmente en la diáfisis. Cuando éste se ha desarrollado lateralmente a la anchura de la diáfisis, es considerado como un SMI en este sistema.

El “capping” ocurre en la transición entre el ensanchamiento inicial y la fusión de la epífisis con la diáfisis. Este es un estadio en el cual los márgenes laterales de la epífisis empiezan a aplanarse y apuntan hacia la diáfisis con un ángulo agudo en la cara

que pega a la diáfisis. El momento de la primera aparición de este capping es aplicable como SMI.

La fusión entre epífisis y diáfisis sigue al capping. También empieza centralmente y progresa lateralmente hasta que los dos huesos pasan a ser uno. El momento de la fusión completa, con una suave continuidad en la superficie del área de unión, es aplicable como SMI. Las líneas óseas que podrían quedar visibles incluso años tras la completación de la fusión no son relevantes.

La osificación del sesamoideo del pulgar primero aparece como un centro pequeño y relativamente redondo de osificación medial a la unión de la epífisis y diáfisis de la falange proximal. Éste empieza progresivamente a ser mayor y más denso. La primera observación de la existencia de este hueso es aplicable como SMI. Esto ocurre tras la anchura de la epífisis, pero antes del capping.

Así, en resumen, los SMIs de Fishman serían los siguientes:

- Similar anchura epífisis y diáfisis:
 1. Tercer dedo- falange proximal
 2. Tercer dedo-falange media
 3. Quinto dedo- falange media
- Osificación
 4. Sesamoideo
- Capping de epífisis
 5. Tercer dedo - falange distal
 6. Tercer dedo -falange media
 7. Quinto dedo - falange media
- Fusión de epífisis y diáfisis
 8. Tercer dedo - falange distal
 9. Tercer dedo - falange proximal
 10. Tercer dedo - falange media
 11. Radio

El autor proporcionó un esquema para facilitar la evaluación de los SMIs (Figura 16).

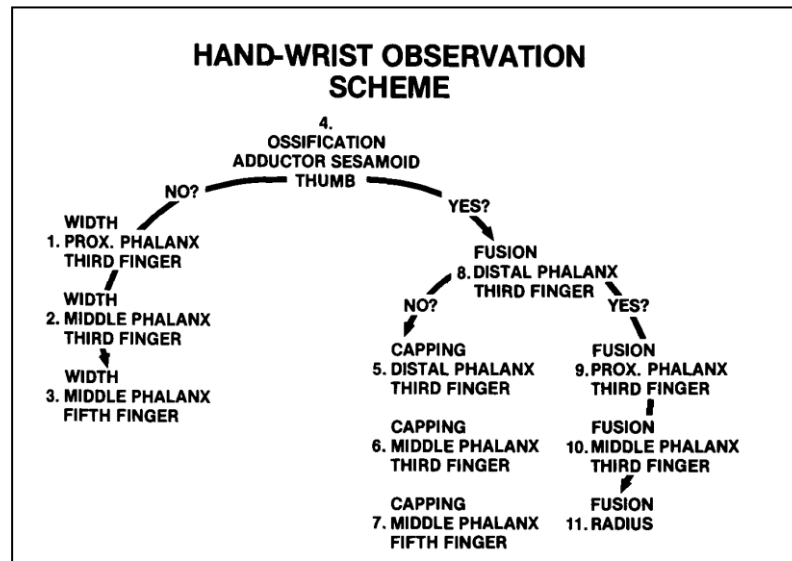


Figura 16. Esquema de las diferentes etapas o estadios del método de Fishman. Primero se mira si está o no el sesamoideo. Si no, se observa la anchura epifisiaria; si el sesamoideo es visible, entonces miramos las capping o las fusiones. Tomada de Fishman⁴³.

Fishman^{43,94,97} afirmó la existencia de una fuerte asociación entre el crecimiento horizontal del maxilar y la madurez esquelética sin diferencias en cuanto al género. Grave⁹⁸ afirmó que las correlaciones entre este crecimiento horizontal del maxilar y las osificaciones en mano-muñeca eran moderadas pero diferentes en hombres y mujeres. Esta discrepancia entre Fishman y Grave puede atribuirse a las diferencias en las bases de datos. Los estudios de Fishman usaron registros semianuales y los de Grave anuales con además una muestra más pequeña.

Algunos estudios han mostrado una asociación débil entre SMI y componentes específicos del crecimiento facial^{174, 175}. La validez de la evaluación de la madurez esquelética usando las radiografías de mano-muñeca en relación con la velocidad de crecimiento esquelética (estatura corporal) ha sido bien establecida y validada en varios grupos raciales^{13,44,75,98}.

Al igual que en los métodos de evaluación de vértebras cervicales, se han propuesto métodos digitales para la evaluación de edad esquelética en mano-muñeca.

Sato y col¹⁷⁶ en 1999, desarrolló un método automático para evaluar la maduración esquelética en niños japoneses por medio de un ordenador personal (CASMAS). Las medidas automáticas de epífisis, metáfisis y anchura de solapamiento se midieron en las falanges distal, medial y proximal del dedo medio (Figura 17). Como resultado obtuvieron que la evaluación automática fue exitosa (80-90% cada falange) y hubo una correlación significativa entre la edad cronológica y la ratio de anchura de epífisis y anchura de metáfisis.

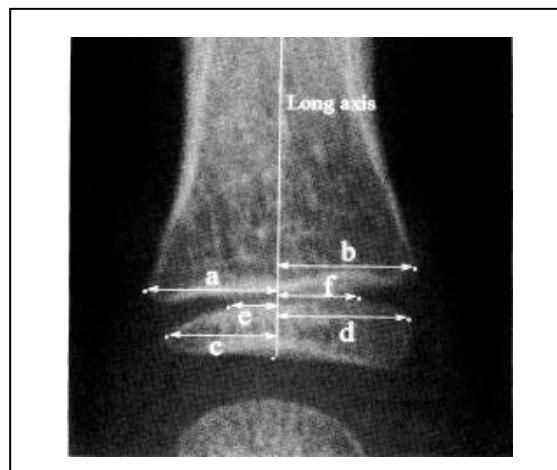


Figura 17. Ejemplo de mediciones realizadas de epífisis, metáfisis y anchura de solapamiento según el método de Sato. Tomada de Sato y col¹⁷⁷.

En 2009 aparece el llamado BoneXpert¹⁷⁷, actualizado en 2017¹⁷⁸; un sistema completamente automático que, según sus autores, no requiere un experto para verificar los resultados. Este método reconstruye, desde una radiografía de mano-muñeca, los bordes de 15 huesos de forma automática y el ordenador los compara con la edad ósea según el método de Greulich y Pyle³. Este método de reconstrucción ósea desestima de forma automática las imágenes con morfología ósea anormal o con pobre calidad. Las posibles ventajas de este método serían que proporciona un modelo generativo para la reconstrucción ósea y una predicción de la edad ósea según la forma, intensidad y textura; y ha sido validado para varias etnias. Aunque sí válido en el campo forense, no lo es tanto en el campo de la ortodoncia, puesto que se centra en edades entre 15-21 años, edad en la que normalmente ya ha pasado el pico de crecimiento puberal.

Flores y col en 2004¹⁶⁶ realizaron una revisión sistemática cuyos criterios de inclusión fueron: el uso de radiografías de mano muñeca para determinar la madurez esquelética, la evaluación del crecimiento facial a través de cefalometrías y que fueran estudios cross-seccionales o longitudinales. Determinaron que la madurez esquelética determinada con estos tipos de análisis estaba bien relacionada con el crecimiento facial. Las velocidades de crecimiento de maxilar y mandíbula estaban bien relacionadas con la madurez esquelética, pero sus relaciones eran menos robustas que para el crecimiento general del rostro. Tampoco encontraron una relación definida entre la madurez esquelética y la base craneal.

Los ortodoncistas toman radiografías de mano muñeca de forma regular a sus pacientes para determinar el crecimiento craneofacial remanente antes de comenzar el tratamiento. Como la evaluación de la madurez esquelética con este método se introdujo inicialmente para predecir la estatura corporal, muchos estudios han cuestionado si tal enfoque puede ser aplicado a las estructuras craneofaciales. Los resultados de los estudios son contradictorios. Mientras algunos autores concluyen que hay una asociación entre el pico de velocidad del crecimiento craneofacial y el pico de velocidad de la estatura^{13,15,85}, otros no encuentran una relación significativa entre la madurez esquelética con el método de mano-muñeca y el crecimiento de las estructuras craneofaciales⁴³. Verma y cols en 2009¹⁶⁹ investigó la validez de las radiografías de mano-muñeca para estimar la cantidad de crecimiento craneofacial remanente. Para ello comparó estas radiografías de mano muñeca según el método de Greulich y Pyle³ con la estatura corporal y diferentes mediciones en radiografía lateral de cráneo (base craneal, maxilar y mandíbula) en diferentes tiempos para cada paciente. Como resultado obtuvo una alta correlación entre el crecimiento en estatura y la predicción de crecimiento obtenida según la radiografía de mano-muñeca. En cuanto a la relación con las diferentes estructuras faciales, la correlación no fue significativa para la base craneal, maxilar y rama mandibular pero sí para la longitud mandibular, aunque esta asociación no permitiría una predicción fiable de crecimiento.

Existen numerosos autores que han utilizado como medio para evaluar la madurez esquelética, varios o un solo dedo, mediante la realización de radiografías periapicales o incluyendo algunos dedos en la radiografía lateral de cráneo. El objetivo

es facilitar la observación de los eventos, pero, sobre todo, disminuir la radiación extra que supone la realización de la radiografía mano-muñeca en pacientes ortodóncicos.

Chapman en 1972¹⁷⁹ desarrolló un método radiográfico usando una radiografía periapical para evaluar el estatus de desarrollo de la unión metacarpofalange del primer dedo. Se examinaron las radiografías de 70 niños y 70 niñas entre los 10 y los 16 años para determinar la aparición del hueso sesamoideo realizando estas radiografías cada 3 meses y se comparó con incrementos en estatura. Los estadios (AS: aductor sesamoideo) utilizados en este estudio fueron los siguientes:

- AS0: no hay evidencia de osificación del sesamoideo.
- AS1: tamaño de “cabeza de alfiler”. Es la primera indicación definida radiográficamente de que ha comenzado la osificación del sesamoideo. Aproximadamente 1mm de diámetro (3 meses de duración).
- AS2: progreso de la osificación, pero el contorno es indefinido (6 meses de duración).
- AS3: el contorno del sesamoideo ya es evidente, generalmente en forma de semilla. En mujeres de pequeña estatura está entre 3x2mm mientras que en hombre está sobre los 5x3mm, en este momento, cuando el sesamoideo es 70% de su tamaño final (>18 meses).
- AS3+: comienza la fusión de la epífisis y diáfisis de la falange proximal.
- EF: fusión de la epífisis y la diáfisis de la falange proximal.



Figura 18. Ejemplo de los diferentes estadios del método de Chapman. Tomada de Chapman¹⁷⁹.

Encontró que el inicio de la osificación del sesamoideo ocurre al mismo tiempo que empieza el pico de crecimiento en estatura en la adolescencia y que la duración es la misma. El comienzo de la fusión de la epífisis y la diáfisis de la falange proximal del pulgar marca la finalización de la maduración.

Leite y O'Reilly¹⁶⁵ intentaron determinar si la valoración de la edad esquelética usando sólo el primer, segundo y tercer dedo de la mano era tan válido como usando la mano-muñeca completa. El objetivo era incorporar estos tres dedos en la radiografía lateral y así eliminar la necesidad de una radiografía extra de mano-muñeca. La muestra consistió en 20 niñas y 19 niños a los que se les realizaron radiografías de mano-muñeca anualmente. Además de realizar la evaluación de las radiografías mediante el método de Greulich y Pyle³, se evaluó la primera aparición del sesamoideo en el pulgar y los cambios en la epífisis y diáfisis de las falanges proximal, medial y distal del primer, segundo y tercer dedo (Figura 19). En cuanto a los cambios a nivel de epífisis y diáfisis, distinguieron 5 fases:

- La epífisis alcanza $\frac{3}{4}$ de la anchura de su diáfisis (E $\frac{3}{4}$)
- La epífisis es tan ancha como su diáfisis (FQ)
- La epífisis es tan ancha como su diáfisis y hay demarcaciones en ángulo recto (capping) (EC)
- Comienza la fusión entre la epífisis y la diáfisis ha comenzado (FB)
- Se produce la fusión entre epífisis y diáfisis de forma completa (FC)

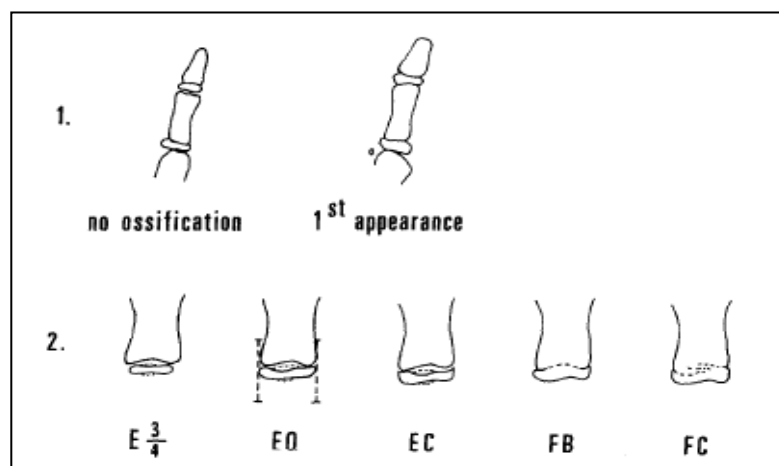


Figura 19. Esquema de las diferentes etapas en el método de Leite y O'Reilly. Tomada de Leite y O'Reilly¹⁶⁵.

Aunque el análisis estadístico de los datos demostró que el método de los 3 dedos difiere de los resultados obtenidos con el método de mano-muñeca, para uso clínico es perfectamente útil y razonablemente preciso, ya que la diferencia entre ambos métodos fue solo de 2,1 meses.

Hägg y Taranger⁷⁵ usaron la falange medial del tercer dedo (MP3) para determinar el pico de crecimiento puberal. Las etapas fueron las siguientes:

- Estadio F: la epífisis tiene la misma anchura que la diáfisis.
- Estadio FG: la epífisis es tan ancha como la metáfisis y los bordes laterales de la epífisis forma una línea de demarcación en ángulo recto.
- Estadio G: los lados de la epífisis están adelgazados y también cubren o “capean” a la diáfisis.
- Estadio H: comienza la fusión de la epífisis y la diáfisis.
- Estadio I: se completa la fusión de la epífisis y diáfisis.

Rajagopal y Kansal¹⁸⁰ añadieron un estadio óseo más al método de Hägg y Taranger⁷⁵: el MP3-HI, el cual ocurre entre el MP3-H y el MP3-I y refleja cambios en la región de la metáfisis del tercer dedo.

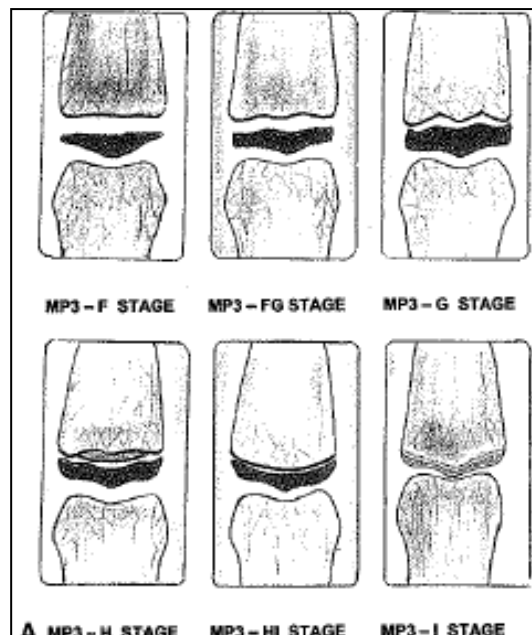


Figura 20. Esquema de las diferentes etapas del método de Rajagopal y Kansal. Tomada de Rajagopal y Kansal¹⁸⁰

Özer en 2006¹⁸¹ determinó la correlación del índice de maduración de las vértebras cervicales con un índice modificado de la falange medial, mediante una radiografía periapical. Encontró una correlación significativa entre los 6 estadios cervicales y los 6 estadios modificados de la falange medial, validando así este método para la evaluación de la madurez esquelética.

Pasciuti y col¹⁸² comparan el método cervical de Baccetti⁴⁹ y el método MP3 propuesto por Rajagopal y Kansal¹⁸⁰. Clasifica 6 estadios (Figura 21):

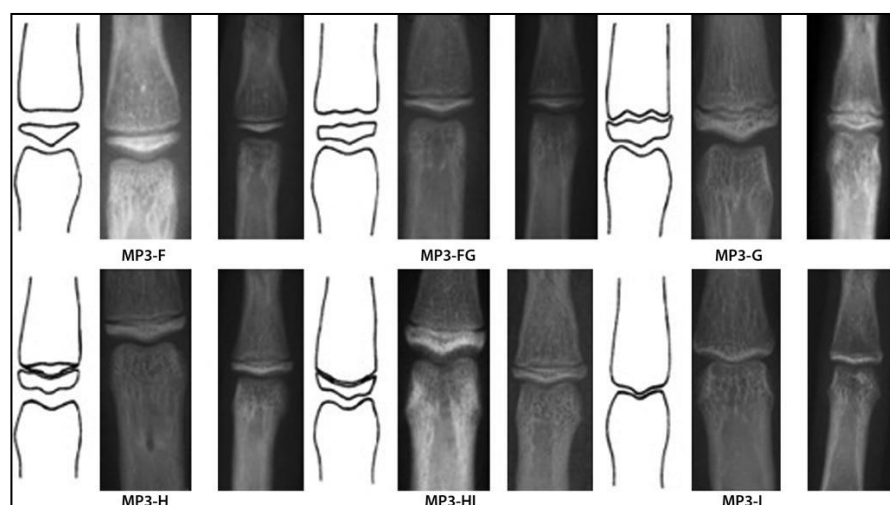


Figura 21. Dibujos y ejemplos de los diferentes estadios del método propuesto. Tomada de Pasciuti y col¹⁸².

La conclusión es que los métodos presentan un alto grado de reproducibilidad. Encontraron una coincidencia completa en el 70% de las muestras analizadas por lo que validan el método de MP3 para la valoración de la madurez esquelética sólo con la realización de una radiografía periapical estándar.

El uso de las radiografías de mano-muñeca para examinar la madurez esquelética ha sido criticado por la exposición adicional a la radiación por parte del paciente. Así el análisis de la espina cervical en telerradiografías o la evaluación de la maduración dentaria en ortopantomografías, se recomiendan como métodos alternativos, ya que son radiografías rutinarias y necesarias para el diagnóstico y plan de tratamiento en ortodoncia y ortopedia dentofacial.

1.2.2.3 MÉTODOS DE EVALUACIÓN DE LA MADURACIÓN ÓSEA MEDIANTE EL DESARROLLO DENTARIO.

La ventaja de la madurez dentaria comparada con los demás métodos sugeridos, es su fácil evaluación durante el tratamiento dental rutinario. La exposición a la radiación es alta cuando se usan radiografías especializadas como la radiografía de mano muñeca o la lateral de cráneo. El principio ALARA (*As Low As Reasonably Achievable*) es especialmente importante para niños y adultos jóvenes, y, por lo tanto, los métodos que utilicen alta radiación no deben ser usados de forma frecuente o rutinaria para evaluar el crecimiento¹⁸³. La habilidad para evaluar la madurez esquelética por las etapas de calcificación de los dientes a través del examen de una radiografía panorámica (la cual está dentro de las radiografías rutinarias para el diagnóstico y tratamiento ortodóncico) podría ofrecer una ventaja sobre la tradicional radiografía de mano-muñeca. La exposición adicional a la radiación no sería necesaria si la valoración de la madurez esquelética puede ser hecha con radiografías rutinarias.

El desarrollo dental como indicador potencial de la madurez esquelética, ha sido ampliamente investigado^{96,184-187}. La mayoría de los autores más actuales, como veremos a continuación, encontraron una alta asociación entre las etapas de calcificación dentaria y la madurez esquelética, lo que permite al clínico identificar la etapa de crecimiento puberal a partir de una radiografía panorámica. Sin embargo, también hay autores que encontraron una correlación no significativa, probablemente debido al uso de diferentes métodos para la evaluación de la madurez esquelética y dental¹⁸⁸. Posiblemente, la baja correlación observada entre la madurez esquelética y la erupción o la calcificación dentaria en algunos estudios es debido al hecho de que muchos de los centros de osificación en la mano muestran una variación considerable en su comienzo. Así debemos enfocarnos en aquellos centros de osificación que presenten menos variabilidad en su comienzo⁹⁶.

La precisión que puede obtenerse a la hora de realizar una estimación de edad dental no es uniforme desde el nacimiento a la madurez; se alcanza un grado mayor de precisión cuando un número elevado de dientes se encuentra en formación y el crecimiento del individuo es rápido, tal como sucede durante los primeros años de la vida¹⁸⁹.

Aunque existen múltiples métodos diseñados en diferentes poblaciones, el procedimiento siempre es el mismo: correlacionar diferentes estadios observados radiográficamente con esquemas o diagramas estandarizados de maduración obtenidos de una población de edad cronológica conocida. Dentro de esos métodos orientados a valorar mediante la utilización de imágenes radiográficas los estadios de mineralización de los gérmenes dentarios de la dentición permanente, se destacan los de Nolla¹⁹⁰ o el de Moorrees y col¹⁹¹.

El objetivo de Nolla¹⁸⁰ fue elaborar una serie de tablas de desarrollo de la dentición permanente que permitiera la interpretación de las diferencias individuales en el desarrollo dentario mediante un método de unidades de edad, tanto en niños como en niñas. La muestra consistió en 25 niños y 25 niñas de la Universidad de Michigan. Cada set de radiografías incluía: laterales izquierda y derecha, oclusales maxilar y mandibular y periapicales derecha e izquierda de los dientes posteriores; repitiéndose anualmente.

A continuación, se detallan las diferentes etapas del desarrollo del diente (Figura 22). Los valores para un lado (izquierdo o derecho), son representativos del desarrollo de los dientes del maxilar y la mandibular. Aunque los valores suelen ser enteros, es decir, si el diente tiene un tercio de la corona completa el valor será 3,0, cuando hay dudas entre dos fases, el valor puede ser de 0,5, es decir, en este caso de 3,5; igualmente pueden darse valores de 0,2 o 0,7 si está más cercano a una de las etapas, pero no justo en esa fase

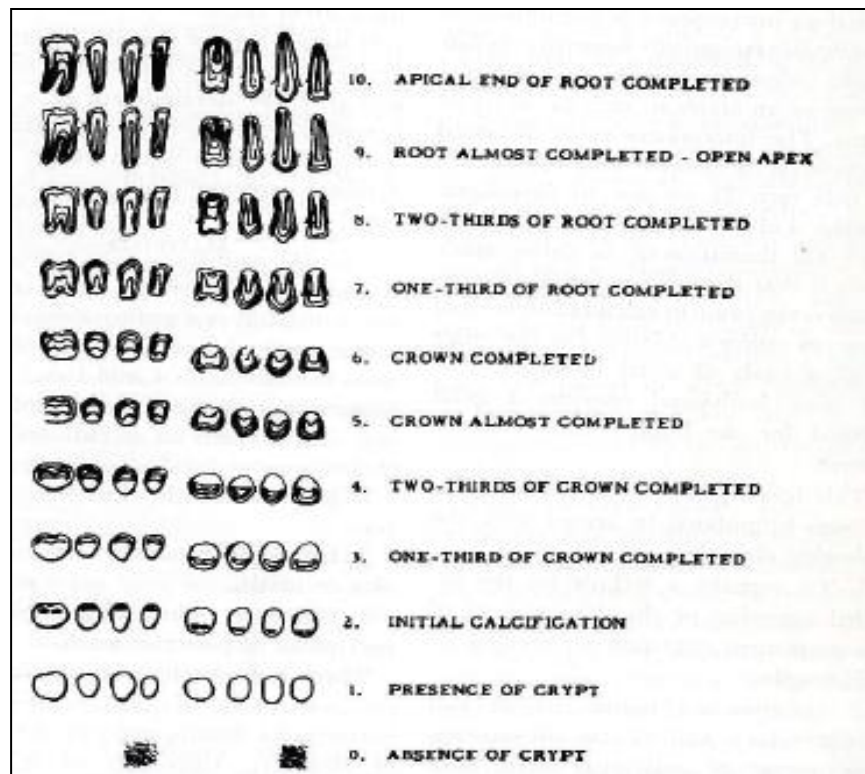


Figura 22. Esquema de las diferentes etapas de calcificación según Nolla. Tomada de Nolla¹⁹⁰.

Las diferentes etapas de calcificación según Nolla serían las siguientes:

0. Ausencia de cripta
1. Presencia de cripta: estructura radiolúcida casi circular en el hueso
2. Calcificación inicial: aparición de pequeños puntos triangulares radiopacos cercanos al borde coronal de la cripta.
3. Un tercio de la corona formada
4. Dos tercios de la corona formada
5. Corona casi completa
6. Corona completa
7. Un tercio de la raíz formada
8. Dos tercios de la raíz formada
9. Raíz casi completa
10. Ápice formado

Realizó una serie de gráficas para cada diente y diferenciadas entre niños y niñas, donde el eje vertical era la etapa de desarrollo dentario y el eje horizontal la edad cronológica del paciente. Según sus resultados y salvo varias excepciones, las raíces de los dientes mandibulares se completaron en el siguiente orden:

- Incisivo central
- Incisivo lateral y primer molar permanente
- Canino
- Primer premolar
- Segundo premolar
- Segundo molar permanente
- Tercer molar

Las raíces de los dientes maxilares se completaron en el siguiente orden:

- Incisivo central y primer molar permanente
- Incisivo lateral
- Primer premolar y canino
- Segundo premolar
- Segundo molar permanente
- Tercer molar

También llevó a cabo una suma estadística de valor de cada diente (maxilar y mandibular) que permite la preparación de una escala de edad dental que facilitara la aplicación clínica de los resultados.

No se encontraron diferencias significativas en la ratio de desarrollo entre niños y niñas, sin embargo, las niñas comenzaban y finalizaban el desarrollo dental más temprano que los niños.

El objetivo de Moorrees y col¹⁹¹ fue establecer unas normas de formación en 10 dientes permanentes: los incisivos maxilares y los 8 dientes mandibulares. El desarrollo dentario se determinó asignando una ratio de acuerdo con los estadios consecutivos definidos en las siguientes figuras e imágenes (Figura 23):

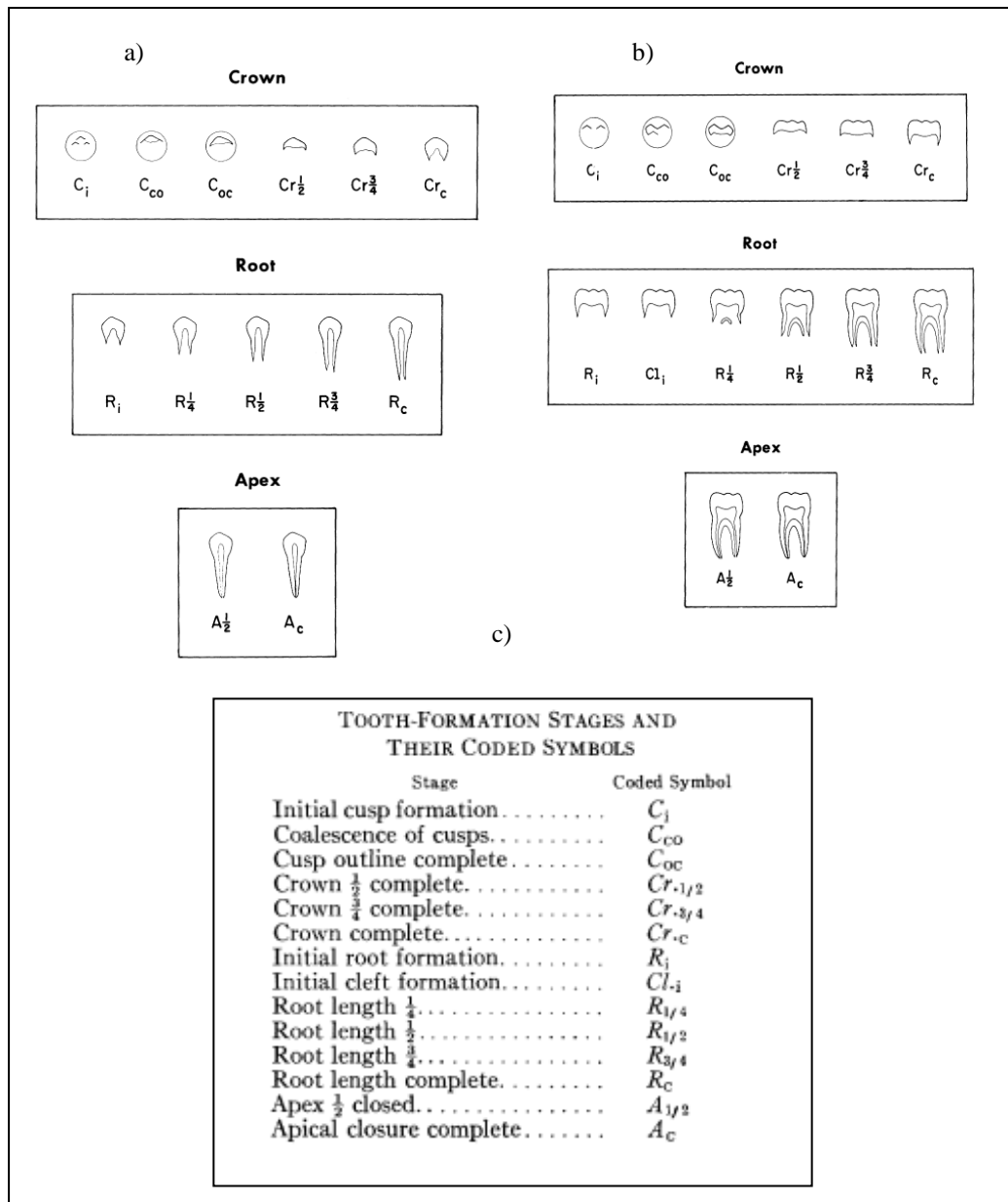


Figura 23. a) Esquema de las diferentes etapas del calcificación de dientes unirradiculares. b) Esquema de las diferentes etapas de calcificación de dientes multirradiculares. c) Etapas de calcificación y sus símbolos. Tomada de Moorrees¹⁹¹.

La muestra de 874 radiografías presentó una coincidencia interobservador del 90% en dientes mandibulares y 75% en incisivos maxilares y mandibulares. Al igual que Nolla, correlacionó las diferentes etapas del desarrollo dentario con la edad cronológica. A diferencia de la formación radicular, la longitud de tiempo requerida para el desarrollo coronal fue prácticamente la misma en niños que en niñas, con una media de diferencia entre 0,02-0,10 años.

No obstante, el método ideado por Demirjian y col¹⁹² basado en radiografías panorámicas de 1446 chicos y 1482 chicas de entre 2 y 20 años de origen franco-canadiense, ha tenido gran impacto en la literatura científica especializada. Este método consiste en asignar una puntuación a cada uno de los siete dientes mandibulares del lado izquierdo, según su estadio de desarrollo (estadio A-H), realizando la comparación de rigor con diagramas e imágenes radiográficas. Las puntuaciones de los siete dientes se suman para dar una puntuación de maduración, la cual se convierte directamente en una edad dental usando unas tablas específicas. En su estudio encontró que la puntuación de erupción dentaria es mayor en niñas que en niños excepto en el primer molar donde para las chicas es menor.

Las etapas descritas por Demirjian y col son las siguientes (Figura 24):

- A: Tanto en radiculares como en multiradicales, se ve un comienzo de calcificación en el nivel superior de la cripta en forma de un cono o conos invertidos. No hay fusión de estos puntos de calcificación.
- B: Fusión de los puntos de calcificación formando una o más cúspides las cuales se unen para dar una línea regular en la superficie oclusal.
- C: Tres criterios:
 - a) La formación de esmalte es completa en la cara oclusal. Su extensión y convergencia llega a la región cervical.
 - b) Se observa el comienzo de los depósitos dentinarios.
 - c) La línea de la cámara pulpar tiene una forma curvada en el borde oclusal.
- D: Tres criterios:
 - a) La formación de la corona es completada hasta la unión cemento-dentina.
 - b) El borde de la cámara pulpar en los dientes uniradicales es curvada, empezando a ser cóncava en la región cervical. La proyección de los cuernos pulpares si está presente, da una línea en forma de paraguas. En los molares la cámara pulpar tiene una forma trapezoidal.
 - c) Comienza la formación radicular en forma de espícula.

- E:
 - Unirradiculares
 - a) Las paredes de la cámara pulpar ahora forman líneas rectas que continuamente se rompen por la presencia del cuerno pulpar, el cual es más largo que en etapa previa.
 - b) La longitud radicular es menor que la altura coronaria
 - Molares:
 - a) Se observa la formación inicial de la bifurcación radicular en forma de puntos calcificados o forma semilunar.
 - b) La longitud radicular es todavía menor que la altura coronaria.

- F:
 - Unirradiculares:
 - a) Las paredes de la cámara pulpar ahora forman más o menos un triángulo isósceles. El final del ápice tiene forma de embudo.
 - b) La longitud radicular es igual o mayor que la longitud coronaria.
 - Molares:
 - a) La región calcificada de la bifurcación se ha desarrollado más abajo desde su etapa semilunar para dar a las raíces una línea más distintiva y definitiva con finales en forma de embudo o canal.
 - b) La longitud radicular es mayor o igual que la longitud de la corona.

- G: Las paredes del canal radicular son ahora paralelas y su final apical está parcialmente abierto (raíz distal en molares).

- H:
 - a) El final apical del canal radicular está completamente cerrado (raíz distal en molares).
 - b) La membrana periodontal tiene una anchura uniforme alrededor de la raíz y del ápice.

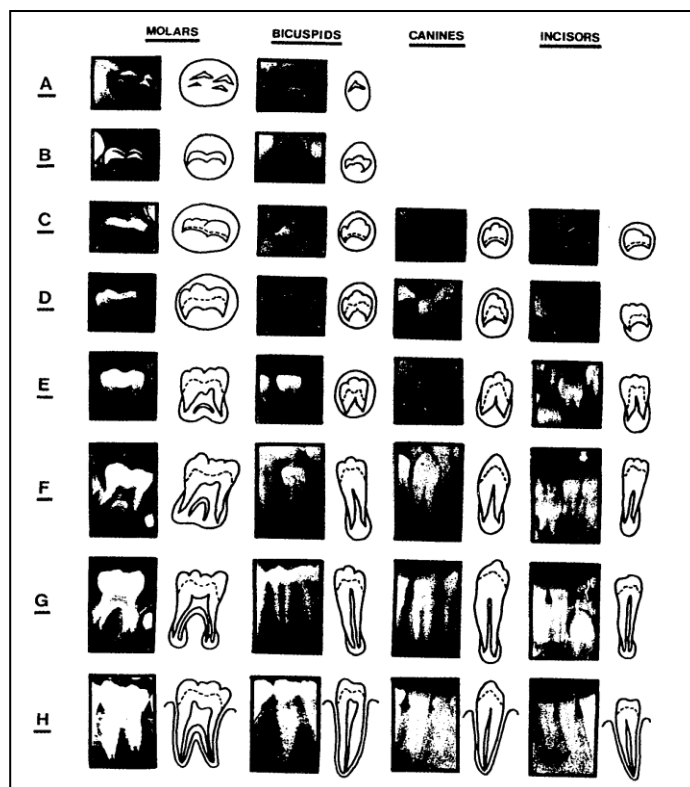


Figura 24. Esquema de las diferentes etapas de calcificación dentaria según Demirjian. Tomada de Demirjian y col¹⁹².

En 1980, Demirjian y Levesque¹⁹³ publicaron los resultados de su estudio cuyo objetivo era la búsqueda de diferencias sexuales en los procesos de mineralización dentaria. Analizaron una población amplia, también de origen franco canadiense, 2705 niñas y 2732 niños entre 6-19 años, realizando el seguimiento durante 9 años, estableciendo que, aunque en la mayoría de los periodos las niñas van más adelantadas en la mineralización de sus piezas dentarias, las diferencias entre sexos no eran sustanciales.

Hagg y Matsso¹⁹⁴ encontraron una alta precisión en el método de Demirjian cuando se utiliza en niños pequeños. Estudios recientes han verificado que este sistema de clasificación muestra un error intra e interexaminador muy bajo y una alta correlación con la edad biológica¹⁸³.

Los métodos basados en la determinación del desarrollo dental usan la longitud del diente, la corona, o la raíz para indicar la edad dental¹⁹⁵. En algunos estudios se usa el ratio del desarrollo de la raíz con respecto a su longitud definitiva¹⁹⁵, pero si se

desconoce la longitud definitiva de esa raíz, es muy difícil estimar si el desarrollo es de un tercio o un cuarto, por ejemplo. Por eso Demirjiyan y col¹⁹² basan su método en criterios objetivos y no en longitudes absolutas.

Existen otros métodos para la evaluación de la edad dental, poco usados en el ámbito odontológico, pero sí en el ámbito paleoantropológico, arqueológico y forense. Los más usados son el de Schour y Massler, el de Ubelaker y el London Atlas¹⁹⁶:

- Schour y Massler¹⁹⁷: consiste en una serie de 21 dibujos de un lado mandibular que muestra una serie de líneas de desarrollo dentaria y la erupción relativa a una línea gingival y su edad correspondiente. Las edades están secuenciadas excepto entre los 12 y 15 años que hay un salto, y los dos últimos dibujos correspondientes a 21 y 35 años.
- El esquema de Ubelaker¹⁹⁸, intenta mejorar el atlas de Schour y Massler¹⁹⁷ corrigiendo algunas edades definiendo la línea de emergencia gingival. Éste método ha sido revisado en la actualidad separando la clasificación para hombres y mujeres y ajustando la edad a cada figura¹⁹⁹.
- The London Atlas²⁰⁰ muestra una serie de ilustraciones del desarrollo dentario y erupción en 31 categorías de edad. Cada dibujo es una media de los estadios de desarrollo y erupción dentaria para cada edad, pero los mínimos y máximos también están disponibles (Figura 25).

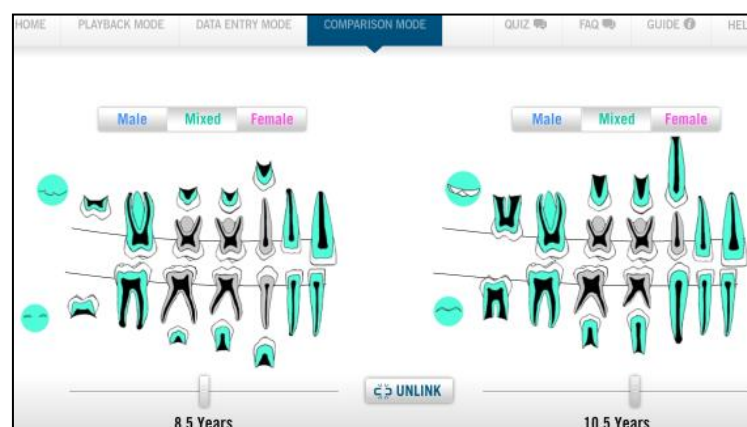


Figura 25. Ejemplo de diferentes etapas en el London Atlas.
Tomada de www.atlas.dentistry.qmul.ac.uk

Alqahtani y col¹⁹⁶ publicaron en 2014 un artículo que compara estos últimos tres métodos o esquemas en una muestra de 1506 individuos, para ver la diferencia entre edad dental y edad cronológica. Como resultado obtuvo que los tres subestimaban la edad pero que el London Atlas presentaba mejores resultados que los otros dos, es decir, que entre los 1-18 años la diferencia entre la edad dental y cronológica era significativa para los métodos de Massler y Ubelaker, mientras que para el London Atlas no eran significativas para la mayoría de las categorías de edad.

En general, el desarrollo dentario puede ser evaluado según la secuencia de erupción dentaria o según la etapa de calcificación, siendo este último más fiable según la mayoría de los autores^{190,192}.

La mayoría de los estudios que encuentran una baja correlación entre la edad dental y esquelética es porque utilizan la erupción dentaria y no la calcificación dentaria como método para evaluar la edad dental. El momento y la secuencia de erupción es altamente variable y está influenciada por muchos factores como la pérdida o retención prolongada de dientes temporales, dientes malposicionados y dientes anquilosados⁹⁶; así como puede verse alterada por factores locales, enfermedades sistémicas y hábitos nutricionales²⁰¹. El momento de la erupción está descrito como el momento en que el diente perfora la mucosa²⁰², que es lo que llamamos la emergencia dentaria. El determinar el momento exacto en que se produce la erupción supone otra desventaja a la hora de utilizar la emergencia dentaria como método para determinar la edad dentaria. La emergencia es un proceso instantáneo, mientras que la calcificación del diente es continua²⁰¹.

Las fases de la dentición han sido usadas frecuentemente en estudios que comparaban un mismo protocolo de tratamiento en estadios tempranos versus estadios tardíos del desarrollo. Los efectos de tratamientos de clase III han sido analizados en dentición decidua versus mixta y en la mixta temprana versus la tardía^{56,58}. La corrección de clase II en dentición mixta temprana ha sido confrontada con resultados de tratamiento de maloclusión en la dentición mixta tardía²⁰³.

En 2007, Tassi y col²⁰⁴ evaluaron la posible relación entre la exfoliación del segundo molar temporal y el pico puberal según el sistema CVM⁴⁹; no encontrando relación significativa. Sin embargo, en 2008 Franchi y col²⁰⁵ analizaron la relación entre las fases circumpuberales de la dentición (mixta temprana, mixta intermedia, mixta tardía y permanente temprana) y la madurez esquelética mediante el método CVM⁴⁹, encontrando la correlación más fuerte entre la dentición mixta temprana (no la dentición mixta intermedia) y el estadio prepuberal y la dentición mixta tardía (no la dentición permanente temprana) como indicador del pico puberal.

En los diferentes artículos encontrados en la literatura, observamos que en el estudio de la edad dental los diferentes autores toman los dientes mandibulares para evaluar su estado de formación, algunos los caninos, otros los terceros molares, segundos molares, y otros comparan las correlaciones entre todos los dientes de una misma hemiarcada y la edad esquelética (según el método de mano muñeca o el método de las vértebras cervicales).

○ *CANINOS*

Los resultados del estudio realizado por Chetkow y col en 1984¹⁸⁴ indican que el cierre o completación de la formación radicular en el canino mandibular antes del cierre apical puede ser usado clínicamente como indicador del pico de crecimiento puberal en pacientes blancos, debido a su coincidencia con los indicadores según la radiografía de mano-muñeca^{4,192}. En su estudio, se evalúan los caninos mandibulares y maxilares y primer premolar, segundo premolar y segundo molar mandibulares. Los dientes posteriores maxilares no se evalúan debido a las superposiciones de estructuras calcificadas (paladar, borde inferior de del arco cigomático, seno maxilar, etc); y los incisivos y primer molar porque su cierre apical es muy temprano. La elección de estos dientes se repetirá en estudios posteriores por las mismas causas.

Encontró una correlación significativa con el canino mandibular pero débil y dispersa con los demás dientes. Además, encontró variabilidad racial entre blancos y negros; así cuando en caucásicos estaba en el pico de crecimiento, el cierre apical del canino ya había ocurrido en los niños negros.

Además de Chertkow, en publicaciones posteriores se ha sugerido que las variaciones raciales también juegan un papel en la relación de la maduración dental y esquelética^{38,183,184}. Mappes y col²⁰⁶ indicó que el origen étnico predominante de la población, clima, nutrición, niveles socioeconómicos y urbanización son los factores causales de estas variaciones raciales. Otros autores como Nystrom y col²⁰⁷ encontraron diferencias poblacionales en la aplicación del método de Demirjian¹⁹² entre finlandeses y franco-canadienses, y otros cuestionaron el uso de este método para estimación de la edad cronológica (aplicación forense) por las diferencias encontradas entre la población franco-canadiense y las poblaciones estudiadas (chinos, escandinavos, etc); confirmando la necesidad de hacer estudios específicos para cada población y/o raza²⁰⁸.

Sierra en 1987⁹⁶ estudió los caninos superiores e inferiores, los premolares y segundos premolares y los segundos molares de 153 individuos caucásicos entre 8 y 12 años. Estos dientes fueron seleccionados porque su periodo de formación correspondía con el rango de edad del estudio. Utilizó el método de Nolla¹⁹⁰ para la evaluación dentaria y el método de Greulich y Pyle para la evaluación esquelética. La autora encontró la más alta correlación con el canino mandibular.

Coutinho y col en 1993¹⁸⁶ quiso volver a confirmar el uso del canino mandibular como herramienta clínica válida para evaluar la edad esquelética, defendiendo su simplicidad clínica con la realización sólo de una periapical. Para ello utilizó una muestra de 415 pacientes caucásicos comparando el método de Greulich y Pyle³ y el de Demirjian¹⁹² en el canino mandibular. Encontró una asociación significativa; concretamente encontró que el estadio G (0,4 años y 1,3 años antes del pico de crecimiento para chicas y chicos respectivamente) coincidía con la presencia del sesamoideo (81%), “capping” en medial del dedo medio (77%) y “capping” en proximal del quinto dedo (87%).

○ *TERCER MOLAR*

Engström y col en 1983¹⁸⁷ encontraron que el desarrollo del tercer molar está fuertemente correlacionado con la edad cronológica y la edad esquelética. Después de los 14 años, una vez finalizada la formación de los premolares y caninos, la estimación

de la edad se hace más difícil ya que la mayoría de los dientes han completado su desarrollo, salvo los terceros molares, los cuales, al continuar su formación, se convierten en el único indicador útil sobre todo en el ámbito forense²⁰⁹⁻²¹¹. No obstante, es sabido que este diente no es precisamente el ideal de un marcador para el desarrollo por su frecuente ausencia congénita, malformación y extracción.

Destacamos el trabajo de Prieto y col²⁰⁹ que evalúan la edad cronológica basándose en los estadios del desarrollo del tercer molar en población española. La muestra constó de 1054 ortopantomografías de sujetos entre 14-21 años. Mostró una correlación mayor en hombres que en mujeres, y para los 18 años, la edad legal de mayoría de edad en España, se consigue en el estadio 7 (G) en mujeres y en el 8 (H) en hombres. Se observó diferencias significativas entre los españoles y otras poblaciones, siendo la madurez del tercer molar más temprana que en franco-canadienses, escandinavos, americanos, alemanes, japoneses y sur-africanos; siendo más similares a la población hispana estadounidense.

Como hemos visto, algunos estudios han utilizado caninos mandibulares^{96,186} o terceros molares para la evaluación de la edad dental^{187,188}, pero estos parámetros presentan inconvenientes. La formación radicular y el cierre apical de los caninos mandibulares se completa a la edad de los 13 años, pero muchos niños muestran crecimiento hasta los 16-17 años. Los terceros molares, por otro lado, son dientes que se presentan agenésicos en la dentición humana, haciéndolos inválidos para la evaluación de la edad dentaria¹⁸³. Incluso autores como Engström y col¹⁸⁷ que defendieron la utilización de los terceros molares como método de asesoramiento para la edad dental, admiten que un 11% de la muestra mostraba al menos la ausencia de uno de estos molares.

○ *SEGUNDO MOLAR*

En artículos anteriores la calcificación del segundo molar mandibular mostró una alta correlación con los estadios de la madurez esquelética comparada con otros dientes^{212,213}.

El estudio realizado por Başaran y col²⁰¹ tuvo como objetivo investigar la relación entre las etapas de calcificación de los dientes y los estadios de madurez en vértebras cervicales según el método de Hassel y Farman² en 590 niños turcos. Como resultado encontraron una correlación estricta entre estos dos métodos. Para niños la secuencia de menor a mayor a correlación fue: tercer molar, incisivo central, canino, primer premolar, segundo premolar, primer molar y segundo molar. Para niñas la secuencia de menor a mayor correlación fue: tercer molar, canino, segundo premolar, primer premolar, incisivo central, primer molar y segundo molar. Así, demuestran la alta validez del segundo molar y a su vez la baja validez del tercer molar, para la evaluación de la edad dental.

Por eso, Kuma y col¹⁸³ en 2012 basándose en los artículos anteriores, evalúan la madurez esquelética en población india, utilizando sólo la calcificación del segundo molar mandibular. Utilizaron una muestra de panorámicas y cefalometrías laterales de 300 sujetos entre 9-18 años y compararon la madurez dental según el método de Demirjian¹⁹² y la madurez esquelética según el método de Hassel y Farman², encontrando una asociación significativa entre ambas. Así el estadio E en el método de Demirjian correspondía al estadio 2 del CVMI (prepico de crecimiento puberal); los estadios F y G correspondían a los estadios 3 y 4 del CVMI (pico de crecimiento puberal); y el estadio H estaba asociado con los estadios 5 y 6 del CVMI (ha pasado el pico de crecimiento puberal). Kuma y col¹⁸³ confirmaron que el segundo molar mandibular es un indicador fiable de la madurez esquelética con una asociación entre estos métodos de 0,854 para niños y 0,866 para niñas. Estos hallazgos coinciden con estudios previos^{184,212,213}.

Entre los estudios más actuales que encontramos en la literatura destaca el trabajo de Surendran y col²¹⁴ en el que, como su título nos dice, se centra en determinar si la calcificación dental es una herramienta diagnóstica válida para la evaluación de la madurez esquelética. Para ello utiliza una muestra de 150 sujetos entre 8-16 años de ambos sexos, en los que evalúa los estadios de calcificación dentaria mediante ortopantomografía (método de Demirjian¹⁹²) en canino, primer y segundo premolar, y segundo molar mandibulares; comparándolos con la edad esquelética determinada por el método modificado de determinación en medial del tercer dedo (MP3)¹⁸⁰ en radiografías periapicales digitales. Los coeficientes de correlación entre la madurez dental y

esquelética fueron generalmente altos para todos los dientes investigados. A pesar de esto, los autores afirman que la capacidad diagnóstica de la madurez dental para la evaluación del pico puberal es baja, ya que, considerando cada estadio MP3, sólo unas pocas fases de maduración de los dientes tenían ratios de probabilidad positivos de 10 o más, y solo para MP3-F y MP3-I. Los valores más altos fueron para el estadio E en premolar para la fase de crecimiento prepuberal, y el estadio H en el segundo molar para la identificación de la fase postpuberal. Así, los autores afirman que con la maduración dental sólo podemos identificar las fases pre y postpuberales; y no justo el pico o aceleración del crecimiento puberal, estando limitada pues su utilidad diagnóstica en ortodoncia.

El estudio realizado por Lopes y col²¹⁵ en 2016, evalúan mediante el método de Demirjian¹⁹² los caninos, primer y segundo premolar y segundo molar mandibulares con el método de mano-muñeca de Grave y Brown⁹⁸. Como resultados obtienen que el segundo molar y el primer premolar son los mejores predictores femeninos, y el segundo molar, segundo premolar y canino los mejores en el caso masculino.

- El estadio D y E del segundo molar para las niñas, y el estadio E y F para los niños, se corresponden con los inicios del pico de crecimiento.
- El estadio D del segundo molar para niñas y el estadio G para los niños corresponden al pico.
- En la finalización del pico de crecimiento, la mayoría de los dientes presentan cierre apical, excepto el segundo molar en niñas que se presenta en estadio G.

También encontramos estudios que muestran la poca eficacia del método de Demirjian¹⁹², aunque son menos numerosos. Ambarkova y col²¹⁶ y Khorate y col²¹⁷ han comprobado que este método es más o menos preciso según la población estudiada, y que, por tanto, es necesario desarrollar bases de datos representativas para cada población.

Hay que tener en cuenta que, aparte de la utilización de todos estos métodos radiológicos para la evaluación de la edad esquelética con fines ortodóncicos, también se utilizan en el ámbito legal y forense. La estimación de la edad de una persona forma

parte de la identificación humana, siendo una práctica rutinaria en los Institutos de Medicina Legal. La edad dentaria es una de las tantas edades fisiológicas que se establecen como métodos de diagnóstico en el individuo. La odontología legal se ha convertido en una pieza clave dentro de los procedimientos de identificación en sujetos vivos y fallecidos. Los dientes son considerados las estructuras más duras del cuerpo pudiendo sobrevivir a la mayoría de los eventos postmortem que destruyen o modifican otros tejidos corporales. Y en cuanto a los sujetos vivos, el objetivo es determinar la edad cronológica para determinar la imputabilidad de los individuos que no poseen documentación identificativa o para determinar la edad de inmigrantes. La necesidad de una herramienta es crucial debido a que en muchos países de le EU, y particularmente en el área mediterránea (por ejemplo, Italia, Malta, Grecia y España), la inmigración ilegal es enorme, debido a la posición geográfica clave. En el ámbito legal y forense, para determinar la edad cronológica a través de la evaluación de la edad biológica usando parámetros radiográficos, los más usados son la radiografía de mano muñeca mediante el atlas de Greulich y Pyle³ y el método de Demirjian¹⁹² en caso de la edad dental; ya que proporcionan una edad esquelética o dental respectivamente, que puede corresponderse o relacionarse con una edad cronológica.

1.2.2.4 OTROS INDICADORES RADIOLÓGICOS

A pesar de que los métodos más usados para la determinación de la maduración y edad esquelética en el ámbito de la ortodoncia y la ortopedia dentofacial son los descritos con anterioridad (evaluación de las vértebras cervicales, osificaciones en mano-muñeca, y evaluación de la edad dental), también encontramos en la literatura otros métodos radiológicos aún en investigación para su aplicabilidad en este campo, como son los cambios en el hioides y el seno frontal en odontología, por su posible evaluación en radiografías rutinarias como la telerradiografía; y métodos radiológicos que evalúan otras partes del esqueleto, con mayor aplicabilidad en el ámbito forense. También encontramos otros métodos diferentes a los radiológicos, como los ultrasonidos, para reducir así la radiación extra en la determinación de la edad esquelética del individuo.

1.2.2.4.1 EVALUACIÓN DEL HIOIDES

El hueso hioides tiene forma de herradura y consiste en un cuerpo y cuatro cuernos o astas, un par mayor y lateral, y otro par más pequeño y superior, que están conectados por tejido fibroso y condrostral. Presenta seis centros de osificación, dos en el cuerpo y uno por cada cuerno²¹⁸. El cuerpo está unido al asta mayor mediante una sincondrosis que en la edad adulta se fusiona. Este hueso juega un papel importante en la masticación, deglución y respiración²¹⁹.

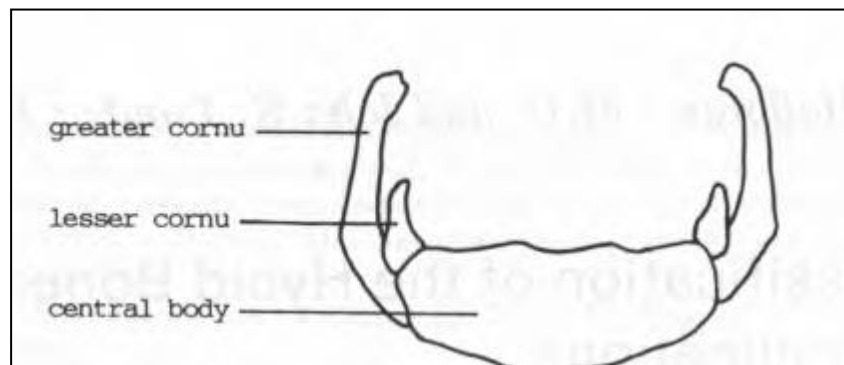


Figura 26. Partes del hioides. Tomada de O'Halloran y col²¹⁸

La posición del hueso hioides (entre la base de la mandíbula y la tercera vértebra) se ha descrito en la literatura que está relacionado con cambios en la lengua, mandíbula y cabeza^{220,221}. Este hueso está suspendido por músculos (supra e infrahioides) y ligamentos (estilohioides) procedentes de la base del cráneo y la mandíbula y dirigidos hacia la caja torácica y al esternón; por eso, el hioides está relacionado o recibe las fuerzas desde varias direcciones en la deglución.

Este hueso es de gran importancia en la medicina forense ya que su fractura es considerada como una evidencia de estrangulación, pero además se ha utilizado para la determinación del sexo, especialmente su cuerpo²²², y para determinar la edad del individuo según las fusiones que presenta²²³. Sin embargo, aunque en el ámbito forense se ha demostrado su utilidad, en el ámbito ortodóncico carece de ella puesto que estas fusiones ocurren en la edad adulta (alrededor de los 40 años de edad). Así, en la literatura forense encontramos muchos estudios que intentan relacionar la edad cronológica y los cambios morfológicos en el hueso hioides, pero las edades de las muestras utilizadas en estos trabajos son de personas adultas, o que ya han pasado el

pico de crecimiento puberal (a partir de 15 años); por lo que carecen de interés para nuestro objetivo, que es el de detectar el pico de aceleración de crecimiento puberal^{218,223}.

En 1992, Mitani y Sato¹³⁵ compararon el crecimiento de la mandíbula con otros indicadores de la madurez esquelética, entre ellos, el hueso hioides. La muestra estaba constituida por 33 niñas japonesas entre los 9 y los 14 años de edad, y las mediciones se tomaban anualmente. Comparó los cambios en las vértebras cervicales, hueso hioides, altura corporal y huesos en mano-muñeca. Para cuantificar el crecimiento de la mandíbula trazó una línea entre cóndilo y gnation (Cd-Gn); para las vértebras cervicales las líneas unían los puntos Od (ápice del proceso odontoide), y los puntos medios de la anchura basal de C2, C3, C4 y C5. Para el hioides, unió el punto más anterior del hueso hioides (Hay) con el punto más posterior del asta mayor (Hyp). Para la evaluación del crecimiento de la mano, se trazaron líneas del metacarpo y falanges, determinando la longitud total con la suma de ambas (Figura 27).

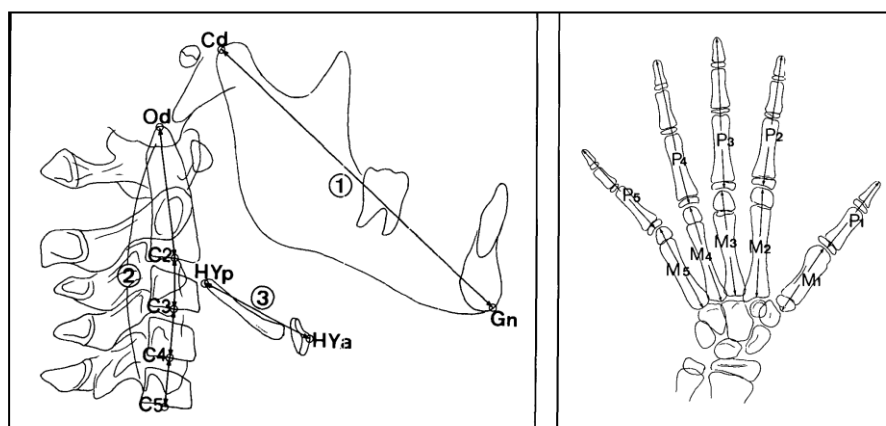


Figura 27. Esquema de las diferentes referencias tomadas por Mitani y Sato.

Tomada de Mitani y Sato¹³⁵

Encontró una débil correlación entre los incrementos totales de crecimiento en el hueso hioides y los otros parámetros. En orden decreciente de correlación del hueso hioides fue: con huesos de la mano, altura corporal, vértebras cervicales y crecimiento mandibular. También encontró una débil correlación con el crecimiento mandibular, y pocos cambios en magnitud durante este periodo también para el hueso hioides.

El trabajo realizado por Shim y col en 2013²²⁴ tiene como objetivo relacionar los cambios morfológicos del hueso hioides examinado en CBCT con otros métodos de maduración esquelética, pero en adolescentes. La muestra constó de 62 individuos entre 11 y 17 años, en los que se tomaron CBCT en tres tiempos durante 18 meses. Las marcas se posicionaron para identificar las terminaciones anteriores y posteriores del asta mayor en cortes coronales, y las terminaciones laterales del cuerpo del hioides en los cortes laterales. Los puntos anterior, posterior, superior e inferior del cuerpo del hioides se determinaron en el plano medio-sagital (Figuras 28 y 29).

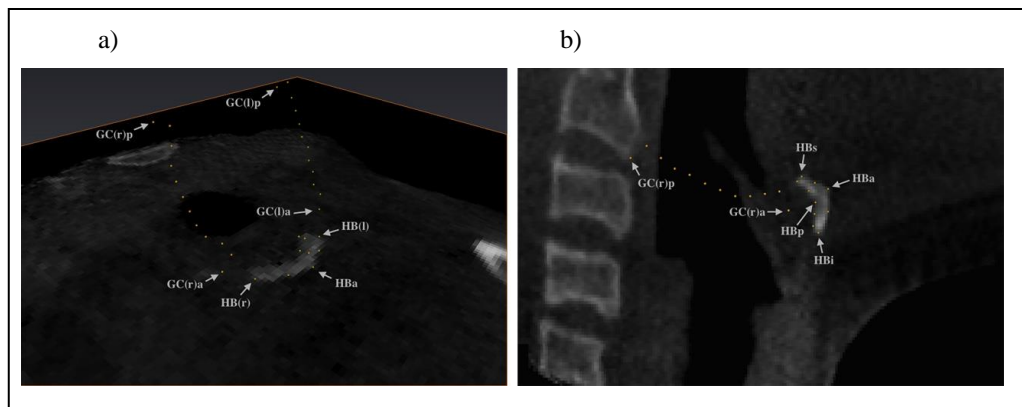


Figura 28. a) y b) Emplazamiento de las marcas utilizadas para medir el hueso hioides. Tomado de Shim y col²²⁴.

Algunos de estos puntos se unían mediante líneas para obtener determinadas medidas: longitud del asta mayor, anchura, profundidad y altura del cuerpo del hioides, anchura del espacio entre el asta mayor y el cuerpo del hioides, y anchura y longitud del hueso hioides.

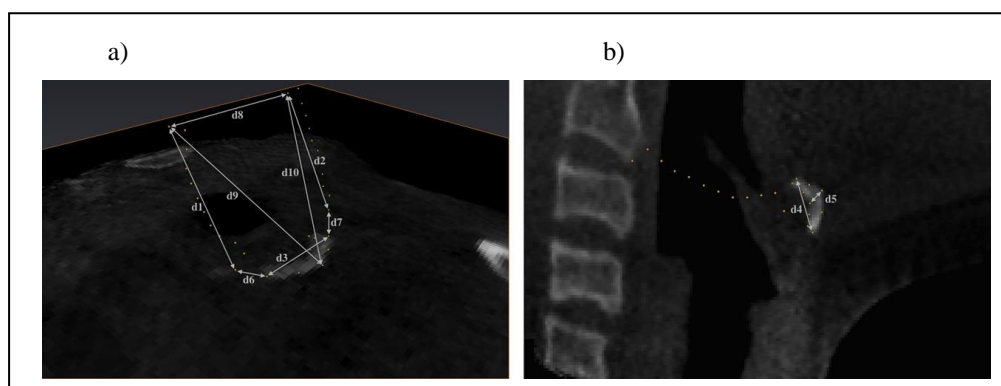


Figura 29. Distancias medidas en el hueso hioides. Tomada de Shim y col²²⁴.

Como métodos comparativos para la edad esquelética se utilizaron los métodos de Fishman⁴³ y Baccetti⁴⁹. Como resultados obtuvieron que la longitud del asta mayor era la que presentaba una mayor correlación (de moderada a alta) con la edad, maduración en mano-muñeca y maduración cervical; seguida de la longitud del hioides. La anchura del cuerpo del hioides estaba relacionada con la edad. Sin embargo, los autores concluyen que el potencial del estudio de los cambios morfológicos del hueso hioides como indicador biológico de la madurez esquelética en adolescentes es débil e improbable, basándose en las pequeñas diferencias encontradas en los incrementos de crecimiento del hueso hioides. Y es que un periodo de tiempo entre los 9 a 16 meses en periodo puberal y adolescente es un tiempo relativamente largo donde se observa una gran cantidad de crecimiento y desarrollo en otras partes del cuerpo como la mandíbula y la estatura corporal, así como modificaciones significativas en vértebras cervicales y huesos de mano-muñeca.

1.2.2.4.2 EVALUACIÓN DEL SENO FRONTAL

El motivo fundamental de utilizar el seno frontal como indicador de la madurez esquelética es el mismo que el de la utilización de los métodos de evaluación en vértebras cervicales; y es el de eliminar la necesidad de radiografías extra y utilizar las estrictamente necesarias para el diagnóstico ortodóncico, en este caso, la radiografía lateral de cráneo.

El seno frontal se encuentra neonatalmente en la región etmoidea, pero no es visible radiográficamente hasta el quinto año de edad, cuando se proyecta por encima del reborde orbitario. Su tamaño va aumentando hasta que alcanza el tamaño final aproximadamente a los 15 años y medio en niños y casi a los 14 años en niñas, lo que coincide prácticamente con el cese del pico de crecimiento^{225,226}. También se han encontrado estudios que relacionan la elongación excesiva del seno frontal con el prognatismo mandibular y la acromegalia, caracterizada también por prognatismo mandibular, con mandibular un seno frontal prominente²²⁷.

Todos estos hallazgos han conducido a algunos autores a investigar si existe correlación entre el crecimiento mandibular y el seno frontal, y si, por tanto, podría utilizarse como indicador de la madurez esquelética en ortodoncia.

Rossouw y col²²⁸ comprobó si se podía utilizar el seno frontal para predecir el crecimiento mandibular. Su objetivo era evaluar si un seno frontal excesivo estaba relacionado con un crecimiento mandibular excesivo, y si es así, podría ayudar al ortodoncista a predecir el crecimiento mandibular excesivo en las clases III. Para ello utilizaron una muestra de 103 cefalometrías de 53 adultos clase I y 50 adultos clase III. Para clasificar los diferentes patrones se utilizaron las medidas de Ricketts²²⁹ y el tamaño del seno frontal se expresó en mm². Como resultado obtuvieron que existía una correlación significativa entre la longitud maxilar, la longitud mandibular, la anchura de la sínfisis, la longitud condilar y el tamaño del seno frontal. No muestra correlación con la base craneal, es decir, que el seno está relacionado con la longitud mandibular independientemente de la deflexión craneal. Por lo tanto, estos autores afirman que el seno frontal puede usarse como un indicador adicional para predecir el crecimiento mandibular.

Ruf y Pancherz²³⁰ unos años después evaluaron si se podía predecir la madurez somática mediante el análisis del tamaño del seno frontal. La muestra era de 52 niños con clase II división I de Angle. Estos sujetos tenían cefalometrías tomadas anualmente, y registros de talla o altura corporal de al menos 7 años (siempre dentro de los años circumpuberales), tomadas cada 3-6 meses.

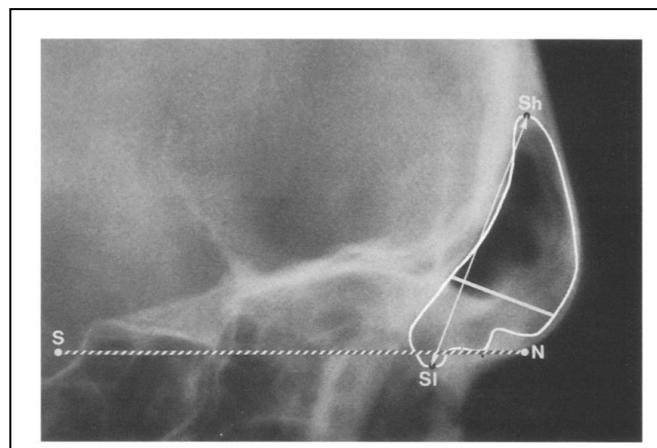


Figura 30. Medidas utilizadas para valoración del seno frontal. Tomada de Ruf y col²³⁰.

Las radiografías de diferentes tiempos se orientaban con la línea horizontal Sella-Nasion. Se dibujaba el contorno del seno y se marcaban el punto más bajo (SL) y más alto (SH); perpendicular a la línea que unía SH y SL, se trazaba la máxima anchura del seno (Figura 30); y así se iba haciendo la media de velocidad de crecimiento (milímetros por año) del seno frontal. Los resultados concluyen que existe una relación estrecha entre la velocidad de crecimiento del seno frontal y la velocidad de crecimiento de la altura corporal; también se ha visto que el seno frontal muestra un pico de crecimiento puberal, el cual, de media, ocurre 1.4 años después del pico de crecimiento en estatura puberal. A pesar de estos resultados, la capacidad predictiva del seno frontal es baja (aproximadamente del 55%). Además, necesitaríamos mínimo 2 telerradiografías separadas en el tiempo aproximadamente 1 año para poder hacer la predicción, por lo que el objetivo principal de la utilización del seno en la telerradiografía para no realizar una radiografía extra (por ejemplo, mano muñeca) carecería de sentido si tenemos que duplicar este registro. Si la predicción es sólo si el pico de crecimiento puberal ha pasado, la precisión del método si es alta (un 90% aproximadamente).

En un artículo del mismo año y mismos autores¹⁷⁴ el objetivo es el mismo, pero además de analizar la relación entre altura corporal y tamaño del seno frontal, añaden la comparación con la radiografía de mano-muñeca⁴⁴. El resultado es que el 65% de los sujetos alcanzan el pico de crecimiento del seno frontal durante las etapas MP3-G o MP3-H (justo pasado el pico de crecimiento), mientras que el pico en estatura corporal coincide con un estadio temprano de maduración (MP3-FG).

A pesar de los resultados de estos dos estudios, no debemos olvidar que presentan una muestra muy pequeña y sólo en sexo masculino, además de necesitar, como hemos dicho, mínimo 2 cefalometrías en un intervalo de 1-2 años.

Por este motivo, Patil y col²³¹ intentan correlacionar el “índice seno” (anchura y altura del seno) con la madurez esquelética mediante el método MP3⁴⁴ y así ver si puede utilizarse como índice de maduración esquelética. El trazado del seno frontal se hace con las mismas medidas utilizadas por Ruf y Pancherz²³⁰ explicadas anteriormente. Así se calcula la ratio altura-anchura del seno frontal y las puntuaciones se tabularon con su

respectivo estadio MP3 para cada paciente. Los resultados de este estudio revelan que el potencial predictivo usando el índice seno es bajo.

El artículo más reciente que encontramos en la literatura²³² intenta relacionar la edad cronológica con la maduración en vértebras cervicales², anchura de seno frontal y profundidad del ángulo antegonial. Como resultados encuentran una correlación altamente positiva entre la edad cronológica y la maduración en vértebras cervicales, y entre la edad y la anchura del seno frontal.

1.2.2.4.3. *EVALUACIÓN MEDIANTE ULTRASONIDOS*

Al igual que otros métodos que intentan reducir la necesidad de radiografías extra en la determinación de la edad esquelética, un método bastante reciente y en experimentación, es la utilización de ultrasonidos en vez de radiografías a nivel de la mano y la muñeca^{233,234}.

Como ejemplo, tenemos el estudio realizado por Mentzel y col²³³ en 2005 que tuvo como objetivo comparar la realización de este nuevo método de ultrasonidos en la muñeca (BoneAge) para la estimación de la edad ósea, comparándolo con el método de Greulich y Pyle³ (G&P), y establecer las diferencias entre la edad cronológica y la edad esquelética. La muestra constó de 70 individuos (34 niñas y 36 niños) entre 6 y 17 años de edad, en los que se tomó una radiografía de la mano izquierda seguida del examen sonográfico mediante el sistema BoneAge.

BoneAge es un dispositivo de ultrasonidos que incluye una sonda de ultrasonido conectada a una unidad principal para calcular la edad ósea (Figura 31). Este método usa dos transductores, uno que produce ondas ultrasónicas con una frecuencia de 750kHz directa a la epífisis del borde distal del ulna y del radio, mientras que el otro actúa de receptor. Todo el proceso dura unos 5 minutos en el cual se completa 11 ciclos de medición. La edad esquelética se obtiene usando información de la demografía del sujeto y de los resultados del ultrasonido.



Figura 31. Aparato de ultrasonidos utilizado.
Tomado de Mentzel y col²³³.

Si la onda ultrasónica se transmite a través de las epífisis antes de la aparición del centro de osificación, la velocidad resultante será cercana a la velocidad del sonido a través del cartílago. Con la aparición del centro de osificación y su crecimiento, la velocidad se incrementaría hasta que el crecimiento terminara. Los cambios de velocidad dependerán del tamaño físico del centro de osificación y su densidad. Así, la velocidad de la onda ultrasónica incrementa a medida que aumenta la edad esquelética del paciente.

Los resultados fueron similares para niños y niñas. De media, la diferencia entre BoneAge y edad cronológica fue la misma que entre el método G&P y la edad cronológica (1,4 año) y se obtuvo una correlación altamente significativa entre el BoneAge y el método G&P.

Las ventajas de este método son la objetividad, la eliminación de la radiación extra y la fácil accesibilidad, sin embargo, también tiene inconvenientes, como la necesidad de colaboración por parte del niño (inmovilidad), lo que dificulta su realización en menores de 5 años, y la necesidad de más estudios, ya que este sistema está todavía en experimentación.

El estudio más reciente sobre ultrasonidos en la literatura es el de Utczas y col²³⁵ en 2016; donde determinan la eficacia del ultrasonido basado en los indicadores de G&P³ comparados con los estándares del método radiográfico de G&P y también con el método de Tanner-Whitehouse⁴. Utilizan una muestra de 47 pacientes de 6-18 años, y

encontraron una fuerte correlación entre la estimación ósea con ultrasonidos y ambos métodos radiográficos, siendo la correlación más fuerte con el método de Tanner-Whitehouse⁴.

1.2.2.4.4. *EVALUACIÓN DE LA CLAVÍCULA, CRESTA ILÍACA Y RODILLA*

La clavícula es el primer hueso largo que empieza a osificarse en el feto. Durante la adolescencia, aparece un centro de osificación epifisiario secundario en la terminación medial de la clavícula que da lugar al crecimiento y remodelación del hueso hasta su completa fusión a los 22 años.

A la edad de 18 años, las osificaciones de mano-muñeca, edad dental y madurez sexual no son válidas porque ya han concluido; así que puede usarse este método para valorar la edad ósea entre los 18-22 años; es más, en el ámbito forense está altamente recomendado si el sujeto ronda esta edad y hay que establecer si ha alcanzado los 21 años, mayoría de edad en muchos países²³⁶. El examen de la clavícula, aunque efectivo, tiene poca aplicación en el ámbito ortodóncico por razones como la radiación extra y la edad a la que este método es efectivo. Sin embargo, existen superposiciones en las radiografías convencionales con estructuras como el mediastino, las vértebras y las costillas; por lo que se prefiere el uso de la tomografía computerizada, aunque también supone más radiación²³⁷.

En cuanto a la cresta iliaca, el método usado es el “signo de Risser”²³⁸, el cual ha sido establecido en el campo de la radiología y de la ortopedia clínica y está basado en el grado de maduración de la apófisis de la cresta iliaca. Sin embargo, la literatura nos dice que la osificación de la apófisis de la cresta ilíaca es muy variable y heterogénea, por lo que aparecen discrepancias a la hora de usarlo como método para la determinación de la edad esquelética y se necesitarían más estudios para establecer y comparar las diferentes clasificaciones y las diferentes técnicas radiológicas empleadas²³⁹.

También se ha planteado el estudio de la rodilla²⁴⁰ como método para complementar la evaluación de la edad en el ámbito forense. Se evalúan diferentes parámetros basados en los cambios en la morfología de la epífisis y en la unión de la epífisis y la rodilla, comparándolos con los estadios de maduración y edad cronológica de Greulich y Pyle³ confirmándose el gran potencial de esta nueva herramienta como complemento para el asesoramiento de la edad cronológica en el individuo.

2. HIPÓTESIS DE TRABAJO

2. HIPÓTESIS DE TRABAJO

La ortopedia dentofacial es la vía más importante en el tratamiento de la clase II con deficiencia mandibular. En este contexto, la evaluación de la maduración esquelética tiene una gran significancia clínica, ya que la ortopedia dentofacial permite modificaciones en el crecimiento del maxilar y la mandíbula que contribuye significativamente a la corrección de discrepancias esquelética intermaxilares^{24,49,52}.

La elección del momento óptimo para el inicio del tratamiento es crítica, ya que la respuesta esquelética puede variar. Así mismo, la previsión e identificación de los picos de crecimiento es de particular interés, no sólo nos ayuda al éxito en el tratamiento ortopédico, sino que también nos sirve para predecir cuánto crecimiento maxilo-mandibular nos queda, útil, por ejemplo, en la predicción de la recidiva postratamiento, en la planificación de cirugía ortognática y en la inserción de implantes dentales^{42,60}.

Se han llevado a cabo una serie de estudios que determinan la edad ósea del individuo en base a las telerradiografías laterales de cráneo, en las que se pueden observar los cambios en forma y tamaño de las vértebras cervicales^{2,49,122}; radiografías de mano muñeca^{43,44,80}, en las que se evalúan las diferentes osificaciones a lo largo del desarrollo del individuo; y el desarrollo dentario en ortopantomografía^{190,192} y su relación con la edad esquelética y cronológica en diferentes poblaciones.

El pico de crecimiento puberal tiene una gran variabilidad individual, tanto en el inicio como en la duración y en el grado o intensidad del mismo¹³⁻¹⁶. También se ha descrito en la literatura especializada la variabilidad étnica de los diferentes métodos de evaluación de la madurez esquelética, pudiéndose ver influenciada por factores como el clima, la nutrición, población, nivel socioeconómico y urbanización²⁰⁶. En este contexto, las relaciones entre algunos métodos de evaluación del estado de madurez esquelética han sido previamente estudiadas, pero no en población española.

En base a estos antecedentes descritos, la hipótesis planteada en el presente estudio es la siguiente:

“Los distintos métodos de valoración radiográfica del estado de madurez esquelética en el paciente en crecimiento guardan algún tipo de correlación o de asociación entre sí, en población española”.

3.OBJETIVOS

3. OBJETIVOS

En base a la hipótesis de trabajo planteada y para la corroboración de la misma, nos centramos en los objetivos descritos a continuación.

3.1. *OBJETIVOS GENERALES*

- Realizar una revisión crítica de la literatura publicada acerca de los distintos métodos para establecer o determinar el estadio de maduración biológica de los pacientes.
- Recapitular y analizar de modo crítico los principales intentos de determinación de la edad de maduración esquelética que han surgido a lo largo de la historia de la ortodoncia.
- Dar sustento bibliográfico a los métodos radiográficos de determinación de la madurez esquelética más actuales, basados en la maduración de las vértebras cervicales, osificaciones en mano-muñeca y desarrollo dental.

3.2. *OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

- Establecer la correlación entre los diferentes métodos de evaluación de las vértebras cervicales en población española.
- Establecer la correlación entre los diferentes métodos de evaluación del estado de osificación en mano-muñeca en población española.
- Establecer la correlación entre la maduración esquelética en las vértebras cervicales, en la mano-muñeca y en el estadio de maduración dentaria.
- Establecer la correlación entre los diferentes métodos de determinación de la madurez esquelética y la edad cronológica en población española.
- Establecer la correlación entre edad dental y edad cronológica en población española.
- Establecer la correlación entre edad esquelética y edad cronológica en población española.

- Establecer si existen diferencias significativas entre sexos en la determinación de la madurez esquelética según los diferentes métodos de evaluación.
- Evaluar la validez de la predicción de cada uno de los métodos en población española.
- Identificar qué piezas dentarias y su estadio de mineralización son predictores del pico de crecimiento puberal en ambos sexos
- Encontrar una herramienta válida para la evaluación del crecimiento puberal en pacientes españoles.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA

En el presente estudio ha sido realizada una búsqueda bibliográfica de la literatura científica en relación a la evaluación de la madurez esquelética en el ámbito científico en relación a la evaluación de la madurez esquelética en el ámbito ortodóncico y forense, los diferentes métodos descritos y la relación de correlación, reproducibilidad y fiabilidad de los mismos.

4.1.1 FUENTES DE INFORMACIÓN

La revisión bibliográfica se llevó a cabo mediante la búsqueda en la base de datos Medline (Entrez PubMed, www.ncbi.nlm.nih.gov), incluyendo publicaciones sin límite anterior de tiempo y actualizada hasta Diciembre 2017. Con el fin de recabar literatura no publicada por los canales convencionales que pudiera ser relevante para nuestra búsqueda, se utilizó la base de datos OpenGrey de la Asociación Europea para la Explotación de “Literatura Gris” o Eagle (European Association for Grey Literature Explotation), también actualizada Diciembre 2017.

Las bases de datos SCOPUS, Embase, Ebscohost, Scielo y Scirus también se exploraron con el objetivo de encontrar artículos que coincidieran con nuestros criterios de selección, sin límite de tiempo anterior y hasta junio de Diciembre 2017. Además, las principales revistas de Ortodoncia indexadas en el JCR (Journal Citation Reports) se revisaron a mano para identificar estudios potenciales no incluidos en los criterios de selección designados para esta búsqueda.

4.1.2 ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA

Los términos empleados en la búsqueda, usando diversas combinaciones e incluyendo la combinación de términos cruzados, fueron los términos MesH (Medical Subject Headings): “skeletal maturity” ó “skeletal age assessment”, combinados a través del conector “AND” con: “orthod”, “cervical vertebrae”, “hand-wrist” y “dental age”.

4.2. DISEÑO METODOLÓGICO

Para la puesta a prueba y demostración de la hipótesis de trabajo, se ha planteado un estudio observacional analítico retrospectivo, analizando todas las radiografías de los pacientes tratados en el Máster de Ortodoncia y Ortopedia Dentofacial de la Facultad de Odontología de la Universidad de Sevilla.

Este estudio se realizó con el consentimiento informado de cada sujeto por escrito y de conformidad con los principios éticos que rigen la investigación médica en seres humanos. Los datos han sidocodificados, tratados bajo secreto médico y con confidencialidad absoluta.

4.3. POBLACIÓN DE ESTUDIO Y SELECCIÓN DE LA MUESTRA

Se seleccionarán un total de 672 radiografías (laterales, panorámicas y radiografías de mano-muñeca) de 224 pacientes en crecimiento (116 niños y 108 niñas) del Departamento de Ortodoncia de la Universidad de Sevilla. Los sujetos seleccionados fueron individuos en periodo de crecimiento de entre 7 y 18 años.

4.3.1. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LA MUESTRA

Los criterios de inclusión serán:

- 1) Población de origen español;
- 2) Sujetos con un crecimiento sistémico normal y sin enfermedades graves;
- 3) Sin traumatismo dental previo;
- 4) No agenesias, tratamientos de conductos o alteraciones en los dientes evaluados;
- 5) Sin daños previos o malformaciones en la región craneofacial y/o de mano-muñeca;
- 6) Sin tratamiento ortodóncico previo
- 7) Los huesos y dientes deben mostrarse de forma clara en las radiografías.

Los criterios de exclusión serán:

- 1) Aquellos que no cumplan los criterios de inclusión antes descritos;
- 2) Sujetos con una o más radiografías en mal estado o de poca nitidez;
- 3) Sujetos que porten arcos linguales u otro tipo de aparatología.

4.4. REGISTROS RADIOGRÁFICOS Y MÉTODOS DE EVALUACIÓN DEL ESTADIO DE MADURACIÓN ESQUELÉTICA.

Se recabarán los registros ya tomados de radiografías laterales, ortopantomografías y radiografía de mano-muñeca de cada paciente realizados el mismo día. Todas las radiografías han sido tomadas con el mismo aparato de rayos X (PanmeccaCephalometer PM 2002 EC Proline; Helsinki, Finlandia).

4.4.1 EVALUACIÓN RADIOGRÁFICA DE LAS VÉRTEBRAS CERVICALES

Los estadios de maduración vertebral (CVM) serán evaluados usando los métodos de Hassel y Farman² y de Baccetti y col^{39,49}.

La evaluación de las vértebras cervicales mediante el método de Hassel y Farman² se basa en la valoración de los cambios morfológicos de la segunda, tercera y cuarta vértebra cervical, con seis categorías de maduración: iniciación o CVM1 (los bordes inferiores de C2, C3 y C4 son planos, las vértebras tienen forma de cuña y se inclinan de posterior a anterior); aceleración o CVM2 (concavidades en bordes inferiores de C2 y C3 pero el borde inferior de C4 todavía está plano, los cuerpos de C3 y C4 son rectangulares); transición o CVM3 (concavidades en los bordes inferiores de C2 y C3 e inicio en C4, los cuerpos vertebrales son rectangulares); desaceleración o CVM4 (todas las vértebras presentan los bordes inferiores cóncavos y C3 y C4 comienzan a presentar forma cuadrada); maduración o CVM5 (concavidades más acentuadas y C3 y C4 son cuadrados en forma); y por último completación o CVM6 (concavidades profundas en las tres vértebras y presentan una forma cuadrada aunque mayor en su dimensión vertical que en su dimensión horizontal).

La adaptación de Baccetti y col⁴⁹ de este método de valoración vertebral fusiona las etapas CVM1 y CVM2 de Hassel y Farman² en una, y se definen como: etapa cervical 1 o CVM1 (los bordes inferiores de las tres vértebras son planos y C2 y C3 son trapecoidales en forma); etapa cervical 2 o CVM2 (concavidad en borde inferior de C2 y los cuerpos C3 y C4 tienen forma trapecoidal); etapa cervical 3 o CVM3 (aparecen concavidades en C2 y C3, los cuerpos C3 y C4 pueden ser trapecoidales o rectangulares horizontales); etapa cervical 4 o CVM4 (concavidades en las tres vértebras y los cuerpos de C3 y C4 son rectangulares horizontales); etapa cervical 5 o CVM5 (concavidades en las tres vértebras y al menos uno de los cuerpos de C3 y C4 son cuadrados); y por último etapa cervical 6 o CVM6 (concavidades en las tres vértebras y al menos uno de los cuerpos de C3 o C4 son rectangulares verticales, siendo la otra cuadrada).

4.4.2. EVALUACIÓN RADIOGRÁFICA DE MANO-MUÑECA

Para la valoración del estadio de maduración en relación a la radiografía mano-muñeca se usarán dos métodos: el método de Björk modificado por Grave y Brown⁹⁸ y el método de Fishman^{43,94,97}.

En el método de Grave y Brown⁹⁸ se evalúan catorce osificaciones y distingue nueve estadios: el estadio 1 o PP2= (misma anchura epífisis-diáfisis en falange proximal del dedo índice), estadio 2 o MP3=(misma anchura epífisis-diáfisis en la falange media del dedo medio); estadio 3 o Pisi-H1-R (en esta etapa se observa una ligera osificación del pisiforme y de la apófisis unciforme del ganchoso, además de la misma anchura epífisis-diáfisis a nivel del radio); estadio 4 o S- H2 (se puede observar la mineralización del sesamoideo así como un mayor grado de osificación en la apófisis unciforme del ganchoso); estadio 5 o MP3cap-PP1cap-Rcap (comienza la etapa del capping o capuchón, en la cual la epífisis comienza cubrir a la diáfisis a modo de capuchón; este proceso comienza en la falange media del dedo medio, en la proximal del pulgar y a nivel del radio); el estadio 6 oDP2u(se observa la unión epífisis diáfisis en distal del dedo medio); estadio 7 o PP3u (unión epífisis diáfisis en proximal del dedo medio);estadio 8 oMP3u (unión epífisis diáfisis en mesial del dedo medio); y finalmente estadio 9 o Ru (unión epífisis diáfisis a nivel del radio).

El método de Fishman^{43,94,97} consta de once indicadores de maduración esquelética o SMIs en sitios anatómicos localizados en el pulgar, tercer dedo, quinto dedo y en el radio. Estos indicadores de maduración individuales se clasifican en once estadios de maduración: similar anchura de la epífisis y la diáfisis en falange proximal del tercer dedo (estadio 1), en falange media del tercer dedo (estadio 2) y en falange media del quinto dedo (estadio 3); aparición de la osificación del sesamoideo (estadio 4); aparición de capping en la epífisis en la falange distal del tercer dedo (estadio 5), en la falange media del tercer dedo (estadio 6) y en la falange media del quinto dedo (estadio 7); y por último aparece la fusión de epífisis y diáfisis en la falange distal del tercer dedo (estadio 8), en la falange proximal del tercer dedo (estadio 9), en la falange media del tercer dedo (estadio 10) y por último a nivel del radio (estadio 11).

El atlas de Greulich y Pyle³ que está constituido por radiografías de la mano izquierda recogidas desde el nacimiento hasta los 19 años en hombre y 18 años en mujeres. Al ser un método comparativo, es decir, se compara la radiografía actual del paciente con las radiografías del atlas según el sexo, los autores recomiendan realizar una preselección de la radiografía según la edad cronológica del paciente, y compararla con la correspondiente según su edad cronológica y con las radiografías anteriores o posteriores. En nuestro estudio, los investigadores no han visualizado la edad cronológica del individuo, para así dar un punto de vista más real en el caso de que este método se utilizara para hallar la edad biológica del sujeto en caso de no conocer su edad cronológica, objetivo fundamental del uso de este método en el campo forense.

En la infancia temprana no existen cambios ni fusiones en las epífisis como en el periodo adolescente, por lo que debemos que utilizar otros centros de osificación. Una vez hecha la preselección, debemos hacer una comparación más detallada, y se recomienda seguir un orden. Empezar con la terminación distal del radio y cúbito, después los carpales, metacarpales y por último las falanges. Dentro de los carpales, se prefiere el siguiente orden: hueso grande, ganchoso, piramidal, semilunar, escafoides, trapecio, trapecoide, pisiforme. El sesamoideo aparecen normalmente algunos años después de que el pisiforme empiece a osificarse.

4.4.3. EVALUACIÓN RADIOGRÁFICA DEL ESTADIO DE MADURACIÓN MEDIANTE RADIOGRAFÍA PANORÁMICA

La madurez esquelética de acuerdo a la edad dental radiográfica será evaluada con la técnica de Demirjian¹⁹², usando los dientes mandibulares del lado izquierdo, exceptuando el tercer molar. No usaremos dientes maxilares debido a la superposición de estructuras anatómicas en esta área (paladar, arco zigomático, seno maxilar, raíces) que dificultan la valoración de la etapa de calcificación del diente. Este método usa ocho etapas de calcificación en su clasificación, de la A a la H. En la etapa A, tanto en radiculares como en multirradiculares, se ve un comienzo de calcificación en el nivel superior de la cripta en forma de un cono o conos invertidos y no hay fusión de estos puntos de calcificación; en la etapa B encontramos fusión de los puntos de calcificación

formando una o más cúspides las cuales se unen para dar una línea regular en la superficie oclusal; en la etapa C se observa que la formación de esmalte es completa en la cara oclusal y su extensión y convergencia llega a la región cervical, también se observa el comienzo de los depósitos dentinarios y la línea de la cámara pulpar tiene una forma curvada en el borde oclusal; en la etapa D encontramos que la formación de la corona es completada hasta la unión cemento-dentina, el borde de la cámara pulpar en los dientes unirradiculares es curvada, empezando a ser cóncava en la región cervical y la proyección de los cuernos pulpares si está presente, da una línea en forma de paraguas, en los molares la cámara pulpar tiene una forma trapezoidal, también comienza la formación radicular en forma de espícula; en la etapa E: en unirradiculares observamos que las paredes de la cámara pulpar ahora forman líneas rectas que continuamente se rompen por la presencia del cuerno pulpar, el cual es más largo que en etapa previa y que la longitud radicular es menor que la altura coronaria, sin embargo en molares se observa la formación inicial de la bifurcación radicular en forma de puntos calcificados o forma semilunar y la longitud radicular es todavía menor que la altura coronaria; en la etapa F, en unirradiculares observamos que las paredes de la cámara pulpar ahora forman más o menos un triángulo isósceles, el final del ápice tiene forma de embudo y la longitud radicular es igual o mayor que la longitud coronaria, sin embargo en molares observaremos que la región calcificada de la bifurcación se ha desarrollado más abajo desde su etapa semilunar para dar a las raíces una línea más distintiva y definitiva con finales en forma de embudo o canal y que la longitud radicular es mayor o igual que la longitud de la corona; en la etapa G las paredes del canal radicular son ahora paralelas y su final apical está parcialmente abierto (raíz distal en molares); y finalmente en la etapa H el final apical del canal radicular está completamente cerrado (raíz distal en molares) y la membrana periodontal tiene una anchura uniforme alrededor de la raíz y del ápice.

Cada estadio de calcificación para cada diente tiene una determinada puntuación. La puntuación total se deriva de la suma de las puntuaciones de cada diente según su estadio de maduración. Usando una tabla específica, convertimos esta puntuación en la edad dental.

Hemos dividido los diferentes estadios de desarrollo en tres: inicio, pico de crecimiento y final de crecimiento, con el objetivo de simplificar la interpretación de los

resultados²¹⁵. Para establecer estos tres estadios, hemos utilizado el método de Fishman⁴³

4.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para evaluar la reproducibilidad intra e interexaminador de las ratios de cada uno de los 6 métodos, se utilizó la fórmula Spearman-Brown. Se seleccionaron los registros de mano-muñeca, panorámica y vértebras cervicales de 15 sujetos seleccionados aleatoriamente para ser examinados por el mismo ortodoncista 5 semanas después del estudio inicial. Otros 3 examinadores debidamente entrenados examinaron los registros de 15 pacientes seleccionados aleatoriamente.

Se llevó a cabo una estadística descriptiva para calcular la media y desviaciones estándar en relación a la edad de la muestra analizada y la distribución y frecuencia de los diferentes estadios de los métodos de evaluación. Para cuantificar la asociación entre los diferentes métodos, se aplicó el coeficiente de correlación de Spearman. Para evaluar la relación entre edad cronológica y los 6 métodos de evaluación de la madurez esquelética, así como las correlaciones entre los 6 métodos radiográficos, el nivel de significancia estadística se estableció con una $p < 0,05$. Todos estos los análisis estadísticos se realizaron con el paquete software SPSS.

Para realizar la asociación entre los estadios de mineralización de los dientes y los estadios de maduración esquelética (inicio/pico/final) para cada método (Hassel y Farman, Baccetti, Fishman y Grave y Brown) utilizamos una regresión multinomial ordinal²¹⁵ (RMO). Para medir la calidad relativa del modelo estadístico, usamos el criterio de información de Akaike (AIC); así el modelo seleccionado fue el que obtuvo un menor valor de AIC. La regresión logística multinomial ordinal se realizó con el software R. El nivel de significancia estadística se estableció en $p < 0,05$.

5.RESULTADOS

5. RESULTADOS

5.1 ESTIMACIÓN DE LA PRECISIÓN Y ERROR DEL MÉTODO DE EVALUACIÓN INTRA E INTEROBSERVADOR

La reproducibilidad de los métodos empleados para la detección de la madurez esquelética en este estudio es adecuada y presenta buenos coeficientes de correlación tanto en la determinación del error intra como interobservador con un umbral de significación estadística en todos los resultados de $p > 0,05$. En cuanto a los índices de correlación intraclase tanto intra como interobservador se encuentran por encima del 0,9 en los métodos de vértebras cervicales y mano-muñeca, bajando ligeramente en el caso de las estimaciones de los estadios en función del grado de calcificación dentaria, para lo que se observan coeficientes en rangos de 0,704 hasta un valor absoluto de 1 (Tabla 1).

Tabla 1. Resultados de los índices de correlación intraclase obtenidos en las reproducciones en las estimaciones intra e interobservador para los diferentes métodos.

<i>Métodos</i>	<i>Intraobservador</i>	<i>Interobservador</i>
<i>Hassel y Farman</i> ²	0,908	0,957
<i>Baccetti</i> ^{39,49}	0,932	0,934
<i>Fishman</i> ⁴³	0,898	0,97
<i>Greulich y Pyle</i> ³	0,945	0,974
<i>Grave y Brown</i> ⁹⁸	0,932	0,965
<i>1PM</i>	0,733	0,842
<i>2PM</i>	0,874	0,907
<i>1M</i>	1	0,704
<i>2M</i>	0,901	0,9107

1PM: primer premolar; 2PM: segundo premolar; 1M: primer molar; 2M: segundo molar; IC: incisivo central; IL: incisivo lateral; C: canino

5.2 DISTRIBUCIONES Y MUESTREO POBLACIONAL.

La muestra se compuso de un total de 224 individuos con una distribución de 116 hombres (51,8%) y 108 mujeres (48,2%).

La edad cronológica media del total de la muestra fue de 12,8 años ($\pm 1,8$ años) con rangos mínimos y máximos entre los 7,7 y los 18 años. En el estudio de la distribución por sexos, la edad cronológica media de la muestra incluida en el presente estudio fue de 13,04 ($\pm 1,7$) años en hombres y 12,68 ($\pm 1,9$) años en mujeres.

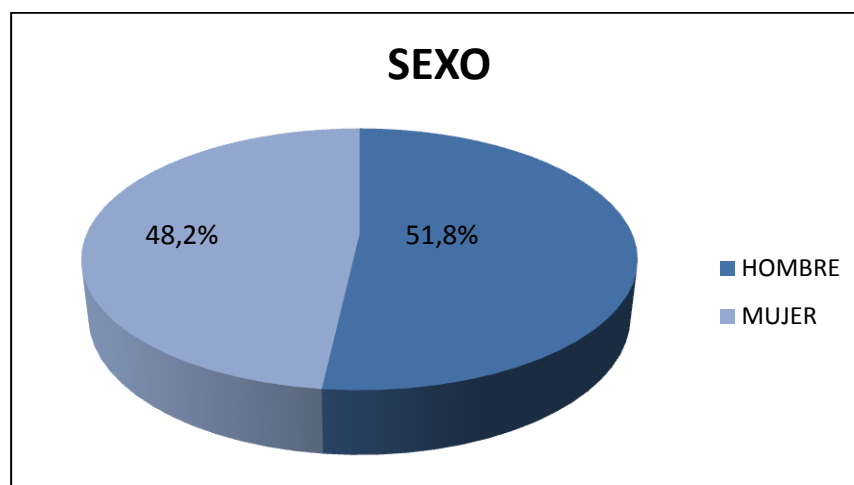


Figura 32. Distribución de la muestra según el sexo

Se realizó una distribución de los sujetos participantes en función de grupos de edad clasificando las edades de la muestra en cuatro grupos con el fin de normalizar y simplificar la practicidad de los resultados obtenidos. Estos grupos de edad fueron de 5 a 9 años, de 9 a 12 años, de 12 a 15 años y de 15 a 18 años (Tabla 2) (Figura 33).

Tabla 2. Distribución de la muestra por grupos de edad y sexo

<i>Grupo de edad</i>	<i>Hombre</i>	<i>Mujer</i>	<i>n*</i>	<i>Total (%)</i>
<i>5-9 años</i>	2	3	5	2,2
<i>9-12 años</i>	24	39	63	28,1
<i>12-15 años</i>	76	54	130	58
<i>15-18 años</i>	14	12	26	11,2

*n: número de individuos

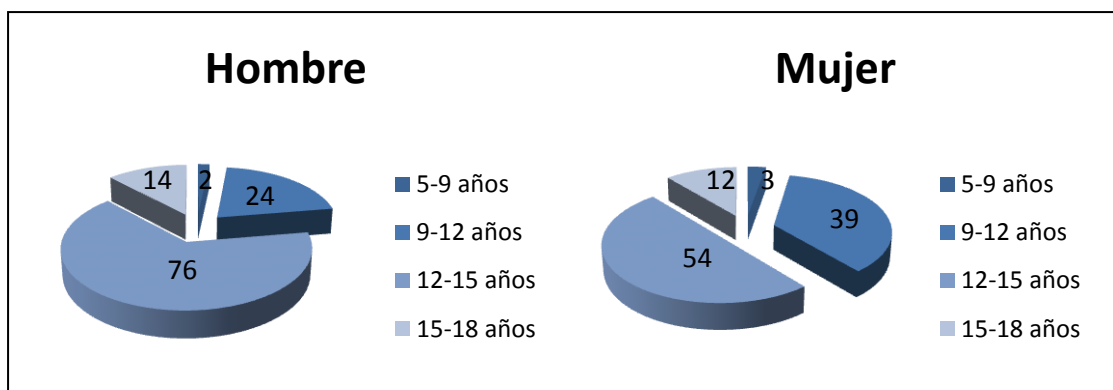


Figura 33. Distribución de la muestra según sexo y grupo de edad.

Según la clasificación del estadio de maduración establecida por Fishman en la distribución de la muestra en función del sexo, edad y estadio de crecimiento observamos que tanto en niños como en niñas el 100% de los individuos entre 5 y 9 años se encuentran antes del comienzo del pico de crecimiento. Asimismo, entre 9 y 12 años la mayoría de los hombres se encuentran todavía en el estadio previo al pico de crecimiento (75%) mientras que en el caso de las niñas la mayor parte de éstas (51,5%) se encuentra en ese rango de edad en el pico de crecimiento. En el caso de los niños, entre los 12 y 15 años, existe más heterogeneidad y una distribución de difícil clasificación por su variabilidad, estando la mayoría en el pico de crecimiento (51,3%), pero también encontramos un porcentaje importante antes (36,8%) y después del pico (11,8%). La finalización del crecimiento entre los 15 y 18 años también es cercana al rango absoluto en ambos casos (Tablas 3 y 4), (Figura 34 y 35).

Tabla 3. Distribución por grupo de edad y estadio de crecimiento en niños*

<i>Grupo de edad</i>	<i>Distribución</i>	<i>Inicio</i>	<i>Pico</i>	<i>Final</i>
5-9 años	2	100%	0%	0%
9-12 años	24	75%	25%	0%
12-15 años	76	36,8%	51,3%	11,8%
15-18 años	14	0%	7,1%	92,9%

*Según la clasificación establecida por método de Fishman

Tabla 4. Distribución por grupo de edad y estadio de crecimiento en niñas*

<i>Edad</i>	<i>Distribución</i>	<i>Inicio</i>	<i>Pico</i>	<i>Final</i>
5-9 años	3	100%	0%	0%
9-12 años	39	30,8%	61,5%	7,7%
12-15 años	54	1,9%	24,1%	74,1%
15-18 años	12	0%	0%	100%

*Según la clasificación establecida por método de Fishman

La media de edad cronológica en el pico de crecimiento para los niños es de 13,2 años ($\pm 1,1$ años) y para las niñas de 11,7 años ($\pm 1,08$ años), la diferencia por tanto es de 1,5 años más precoz en caso de las niñas comparativamente con los sujetos del sexo opuesto.

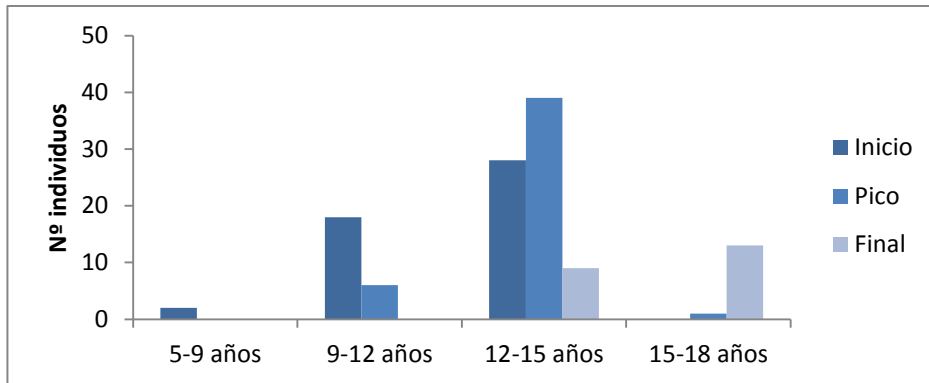


Figura 34. Distribución por grupo de edad y estadio de crecimiento en niños

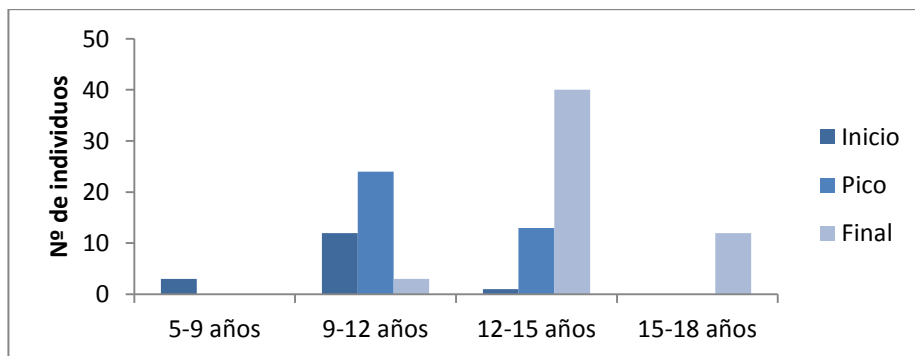


Figura 35. Distribución por grupo de edad y estadio de crecimiento en niñas

Las frecuencias observadas en las distintas distribuciones conforme a los estadios de maduración esquelética siguiendo criterios de cada método según el sexo se resumen en las tablas 5 y 6 (Tablas 5 y 6).

Tabla 5. Distribución observada para los diversos estadios siguiendo el análisis de maduración en función de los diferentes métodos en niños.

<i>Estadios de maduración</i>	<i>Vértebra Cervicales</i>		<i>Mano Muñeca</i>		<i>Dental</i>						
	<i>HyF</i>	<i>Bacc.</i>	<i>Fish.</i>	<i>GyB</i>	<i>1PM</i>	<i>2PM</i>	<i>1M</i>	<i>2M</i>	<i>IC</i>	<i>IL</i>	<i>C</i>
<i>Est.1/ Est.A</i>	26,7	9,5	6	4,3							
<i>Est.2/ Est.B</i>	24,1	20,7	9,5	0,9							
<i>Est.3/ Est.C</i>	25,9	27,6	25,9	34,5		0,9					
<i>Est.4/ Est.D</i>	8,6	25	17,2	13,8	1,7	0,9		4,3			
<i>Est.5/ Est.E</i>	6,9	8,6	6,9	25		5,2		20,7			5,2
<i>Est.6/ Est.F</i>	7,8	8,6	6	2,6	22,4	37,9	0,9	28,4		2,6	22,4
<i>Est.7/Est.G</i>			9,5	6	31,9	37,9	7,8	39,7	6,9	14,7	40,5
<i>Est.8</i>			1,7	2,6	44	17,2	91,4	6,9	93,1	82,8	31,9
<i>Est.9</i>			5,2	8,6							
<i>Est.10</i>			5,2								
<i>Est.11</i>			6								

Est: estadio; *Bacc:* método de Baccetti; *Fish:* método de Fishman; *HyF:* método de Hassel y Farman; *GyB:* método de Greulich y Pyle; *1PM:* primer premolar; *2PM:* segundo premolar; *1M:* primer molar; *2M:* segundo molar; *IC:* incisivo central; *IL:* incisivo lateral; *C:* canino

En la presente muestra de pacientes se observa que los tres primeros estadios son los más frecuentes siguiendo el método de análisis de Hassel y Farman² en el caso de los hombres (26,7%, 24,1%, 25,9%) y el estadio 5 (26,9%) seguido del estadio 3 (20,4%) para mujeres. En el caso del método de Baccetti^{39,49} son los estadios 3 (27,6%) y 4 (25%) para hombres y 5 (33,3%) para mujeres coincidiendo con el otro método de vértebras cervicales.

Tabla 6. Distribución observada para los diversos estadios siguiendo el análisis de maduración en función de los diferentes métodos en niñas.

<i>Estadios de maduración</i>	<i>Vértebra Cervicales</i>		<i>Mano Muñeca</i>		<i>Dental</i>						
	<i>HyF</i>	<i>Bacc.</i>	<i>Fish.</i>	<i>GyB</i>	<i>1PM</i>	<i>2PM</i>	<i>1M</i>	<i>2M</i>	<i>IC</i>	<i>IL</i>	<i>C</i>
<i>Est.1/ Est.A</i>	14.8	5.6	1.9								
<i>Est.2/ Est.B</i>	15.7	14.8	1.9	0.9							
<i>Est.3/ Est.C</i>	20.4	17.6	11.1	12				0.9			
<i>Est.4/ Est.D</i>	13	18.5	13.9	5.6		1.9		3.7			
<i>Est.5/ Est.E</i>	26.9	33.3	5.6	28.7	2.8	4.6		14.8			1.9
<i>Est.6/ Est.F</i>	9.3	10.2	5.6	9.3	18.5	42.6	0.9	32.4		0.9	14.8
<i>Est.7/ Est.G</i>			9.3	9.3	32.4	33.3	8.3	37	5.6	13	47.2
<i>Est.8</i>			12	6.5	46.3	17.6	90.7	11.1	93.1	86.1	36.1
<i>Est.9</i>			9.3	27.8							
<i>Est.10</i>			10.2	17							
<i>Est.11</i>			19.4								

Est: estadio; *Bacc:* método de Baccetti; *Fish:* método de Fishman; *HyF:* método de Hassel y Farman; *GyB:* método de Greulich y Brown; *1PM:* primer premolar; *2PM:* segundo premolar; *1M:* primer molar; *2M:* segundo molar; *IC:* incisivo central; *IL:* incisivo lateral; *C:* canino

En el caso de los métodos de mano-muñeca en ambos casos para el hombre coinciden en que el estadio más frecuente es el 3 (25,9% y 34,5%), mientras que en mujeres la frecuencia está más distribuida en el caso del método de Fishman⁴³, sólo destacando los estadios 5 (28,7%) y 9 (27,8%) de Grave y Brown⁹⁸. Según el análisis de evaluación a través de la estimación de la calcificación dentaria según Demirjian¹⁹², los estadios más frecuentes para el primer premolar en hombre fue el estadio H (44%) y G (31,9%), y en mujeres el estadio H (46,3%) y G (32,4%). Para segundos premolares, los resultados para hombre fueron: F y G con la misma frecuencia (37,9%), y para mujeres F (42,6%) y G (33,3%) en orden descendente. Para el primer molar en hombres y mujeres, el estadio más frecuente fue el H (91,4% - 90,7%); y para el segundo molar en hombres y mujeres fue G (39,7% y 37% respectivamente) y F (28,4% y 32,4% respectivamente). En incisivo central y lateral, el estadio H es el más frecuente para hombres (93,1% y 82,2%) y para mujeres (93,1% y 86,1%) respectivamente. En el caso del canino, para hombres en caso descendente los estadios más frecuentes son: G (40,5%), H (31,9%) y E (22,4%); en el caso de las mujeres, y en el mismo orden descendente, destacan el estadio G (47,2%) seguido del estadio H (36,1%).

5.3. CORRELACIÓN DE LA EDAD CRONOLÓGICA, EDAD DENTAL Y EDAD ESQUELÉTICA

Los coeficientes de correlación de la edad cronológica con la estimación de la edad esquelética según la edad dental aplicando metodología de Demirjian¹⁹² según el atlas de Greulich y Pyle³ se compilan de modo conjunto en las tablas 7 y 8, respectivamente.

En esta línea se observa que en la presente muestra los niños incluidos poseen una media de edad cronológica es de 13,04 años ($\pm 1,7$), mientras que la media de edad siguiendo el análisis dental es de 12,18 ($\pm 2,4$); por lo tanto, se podría inferir que la diferencia es de 0,86 años menos estimados mediante el empleo de la edad dental comparativamente con el uso de la edad cronológica en esta población específica del sur de Europa. En este sentido la determinación del coeficiente de correlación es de 0,672 ($p < 0,001$).

Para el sexo femenino, la media de edad cronológica es de 12,68 ($\pm 1,89$) y la media de la edad dental es de 12,06 ($\pm 1,8$); así la diferencia es de 0,62 años menos la edad dental con respecto a la edad cronológica. El coeficiente de correlación es de 0,775 ($p < 0,001$).

Tabla 7. Relación de la edad cronológica y la edad dental según el método de Demirjian¹⁹²

<i>Sexo</i>	<i>Edad Cronológica</i>	<i>Edad Dental</i>	<i>Diferencia</i>	<i>Correlación</i>
<i>Niño</i>	13,04	12,18	0,86	0,672
<i>Niña</i>	12,68	12,06	0,62	0,775

Tabla 8. Relación de la edad cronológica y la edad esquelética según el método de Greulich y Pyle³

<i>Sexo</i>	<i>Edad Cronológica</i>	<i>Edad Esquelética</i>	<i>Diferencia</i>	<i>Correlación</i>
<i>Niño</i>	13,04	13,5	-0,47	0,823
<i>Niña</i>	12,68	12,4	-0,72	0,816

En cuanto a la relación entre edad cronológica y edad esquelética según el atlas de Greulich y Pyle³, para el sexo masculino tenemos una media de edad cronológica de 13,04 ($\pm 1,7$) y una edad esquelética según este atlas de 13,5 años ($\pm 2,1$). Así la diferencia es de 0,47 ($\pm 1,94$) mayor para la edad esquelética con respecto a la edad cronológica; con un coeficiente de correlación de 0,823 ($p < 0,001$). Con respecto al sexo femenino, su edad media cronológica es de 12,68 años ($\pm 1,89$) y su edad media esquelética es de 13,4 ($\pm 2,5$); así la diferencia es de 0,72 ($\pm 1,5$) mayor para la edad esquelética con respecto a la cronológica; su coeficiente de correlación es de 0,816 ($p < 0,001$).

Tabla 9. Coeficientes de correlación entre los diferentes métodos de madurez esquelética en vértebras, mano-muñeca y dientes

	<i>Métodos de vértebras cervicales</i>		<i>Métodos de mano-muñeca</i>			<i>Método dental</i>
	<i>Hy F (m/f)</i>	<i>Bacc. (m/f)</i>	<i>Fish.(m/f)</i>	<i>GyB (m/f)</i>	<i>GyP (m/f)</i>	<i>Demirjian(m/f)</i>
<i>Hassel y Farman</i>		0,945/0,955	0,832/0,860	0,741/0,770	0,787/0,805	0,647/0,641
<i>Baccetti</i>	0,945/0,955		0,827/0,863	0,733/0,786	0,773/0,810	0,652/0,633
<i>Fishman</i>	0,832/0,860	0,827/0,863		0,918/0,934	0,91/0,933	0,667/0,760
<i>Grave y Brown</i>	0,741/0,770	0,733/0,786	0,918/0,934		0,896/0,899	0,684/0,716
<i>Greulich y Pyle</i>	0,787/0,805	0,733/0,810	0,91/0,933	0,896/0,899		0,676/0,763
<i>Demirjian</i>	0,647/0,641	0,652/0,663	0,667/0,760	0,684/0,716	0,676/0,763	

m/f: maculino/femenino; Bacc: método de Baccetti; Fish: método de Fishman; HyF: método de Hassel y Farman; GyB: método de Grave y Brown; GyP: método de Greulich y Pyle.

En cuanto a la correlación existente entre los diferentes métodos (Tabla 9), todos los métodos presentan una correlación relativamente sólida y estadísticamente significativa ($p < 0,001$) tanto en mujeres como en hombres.

Cabe destacar que las correlaciones de mayor valor (entre 0,8 y 1) se encuentran entre los métodos que usan el mismo tipo de radiografía, es decir, el método de Fishman⁴³, Grave y Brown⁹⁸ y Greulich y Pyle³ por ejemplo, que son métodos que utilizan radiografías de mano-muñeca, presentan un mejor grado de correlación entre sí que cuando los relacionamos con el método de mineralización dentaria (en torno al 0,6) o de vértebras cervicales (en torno al 0,7). Se observa una idéntica tendencia entre los

métodos de Baccetti^{39,49}, y Hassel y Farman², que presentan una correlación más fuerte entre sí que con los demás métodos.

5.4. ANÁLISIS DE ASOCIACIÓN ENTRE LA ESTIMACIÓN DE MADURACIÓN ESQUELÉTICA Y CALCIFICACIÓN DENTAL SEGÚN LOS DISTINTOS MÉTODOS.

Los análisis de regresión multinomial ordinal (RMO) entre los estadios de maduración esquelética y los estadios de calcificación dentaria fueron realizados por separado para cada sexo y para cada método de maduración excepto para el método de Greulich y Pyle³. En esta regresión logística multinomial ordinal las variables dependientes o respuesta son los estadios de maduración esquelética para cada método de evaluación: inicio o antes del pico de crecimiento, en pico de crecimiento y final o tras el pico de crecimiento; y las variables independientes o explicativas son los dientes analizados: incisivo central, incisivo lateral, canino, ambos premolares, primer y segundo molar. La descripción de la distribución de los diferentes estadios de maduración esquelética para cada método en los tres estadios inicio, pico y final viene reflejada en la tabla 10 (Tabla 10).

Tabla 10. Distribución de los estadios de los diferentes métodos de evaluación de la maduración esquelética en los estadios inicio, pico y final.

<i>Estadios</i>	<i>Hassel y Farman</i>	<i>Baccetti</i>	<i>Grave y Brown</i>	<i>Fishman</i>
<i>Inicio</i>	<i>1</i>	<i>1-2</i>	<i>1-3</i>	<i>1-3</i>
<i>Pico</i>	<i>2-3</i>	<i>3-4</i>	<i>4-6</i>	<i>4-7</i>
<i>Final</i>	<i>4-6</i>	<i>5-6</i>	<i>7-9</i>	<i>8-11</i>

5.4.1. REGRESIÓN MULTINOMIAL ORDINAL PARA EL MÉTODO DE HASSEL Y FARMAN EN NIÑOS

Para el sexo masculino con el método de Hassel y Farman² se aplicó el modelo RMO consiguiendo un modelo saturado (con todas las variables explicativas):

$$\langle\langle \text{HASSELYFARMAN} \sim D_1PM + D_2PM + D_1M + D_2M + D_IC + D_IL + D_C \rangle\rangle$$

observándose una desviación residual de 174,69 y un AIC de 192,69; y los siguientes ajustes (Tabla 11):

Tabla 11. Primer ajuste realizado en la RMO para el método de Hassel y Farman² en niños

	<i>Error estándar</i>		<i>Valor T</i>	<i>Valor p</i>
<i>1PM</i>	0,6353324	0,4179550	-1,520098	0,128486408
<i>2PM</i>	1,3073407	0,4569202	2,861201	0,004220388
<i>1M</i>	-0,1488233	0,9581600	-0,155322	0,876567483
<i>2M</i>	0,6652968	0,3698024	1,799060	0,072009126
<i>IC</i>	1,6493976	1,3316899	1,238575	0,215502995
<i>IL</i>	-0,9179632	0,6635825	-1,383345	0,166559239
<i>C</i>	0,7605202	0,4203308	1,809338	0,070398578
<i>1/2</i>	16,7766271	8,7973236	1,907015	0,056518659
<i>2/3</i>	20,1823460	8,8544011	2,279358	0,022645819

RMO: regresión multinomial ordinal; Valor t: test de Wald; Valor de p: significación estadística. Los valores en color rojo son los dientes que presentan una menor significación (valor p). 1PM: primer premolar; 2PM: segundo premolar; 1M: primer molar; 2M: segundo molar; IC: incisivo central; IL: incisivo lateral; C: canino.

Observamos que las variables con un valor de *p* inferior son el 2PM, 2M y C, por lo que extraemos el resto de las variables y realizamos una nueva RMO solo con las variables más significativas (Tabla 12). El modelo final seleccionado fue:

$$\langle\langle \text{HASSELYFARMAN} \sim D_2PM + D_2M + D_C \rangle\rangle$$

Conseguimos una nueva desviación residual de 179,32 y un AIC de 189,32 y los siguientes resultados:

Tabla 12. Segundo ajuste realizado en la RMO para el método de Hassel y Farman² en niños

	<i>Valor error estándar</i>	<i>Valor t</i>	<i>Valor p</i>
<i>2PM</i>	<i>1,1251863 0,4264234</i>	<i>2,638660</i>	<i>8,323449e-03</i>
<i>2M</i>	<i>0,4140577 0,3318034</i>	<i>1,247901</i>	<i>2,120674e-01</i>
<i>C</i>	<i>0,5002320 0,3521197</i>	<i>1,420630</i>	<i>1,554242e-01</i>
<i>1/2</i>	<i>12,0346577 2,1134707</i>	<i>5,694263</i>	<i>1,239061e-08</i>
<i>2/3</i>	<i>15,3542845 2,3655044</i>	<i>6,490914</i>	<i>8,531745e-11</i>

RMO: regresión multinomial ordinal; Valor t: test de Wald; Valor de p: significación estadística. Los valores en color rojo son los dientes que presentan una menor significación (valor p). 2PM: segundo premolar; 2M: segundo molar; C: canino.

El único diente que en este caso presenta un valor de asociación estadísticamente significativo ($p < 0,05$) es el segundo premolar (2PM), por lo que el resto de análisis se describen únicamente para esta pieza que ha ofrecido valores de confiabilidad adecuados para su consideración (Tabla 13):

Tabla 13. Resultados del análisis de regresión RMO para el método Hassel y Farman² en niños.

<i>Variable</i>	<i>Estimación</i>	<i>DE</i>	<i>Valor t</i>	<i>Valor p</i>	<i>OR</i>	<i>95%IC</i>
<i>2PM</i>	<i>1,12</i>	<i>0,42</i>	<i>2,64</i>	<i>0,008</i>	<i>3,08</i>	<i>1,3-7,2</i>
<i>Intercept (1)</i>	<i>12,03</i>	<i>2,11</i>	<i>5,68</i>	<i><0,0001</i>		
<i>Intercept (2)</i>	<i>15,35</i>	<i>2,36</i>	<i>6,4</i>	<i><0,0001</i>		

AIC (criterio de información de akaike): 189.32. Desviación residual: 179.32 DE: desviación estándar; Valor t: test de Wald; Valor p: valor de significación; OR: Odds Ratio; IC: intervalo de confianza. 2PM: segundo premolar

De este modo, en la siguiente gráfica se muestra la probabilidad que presenta los diferentes estadios de calcificación del 2PM según el método de Hassel y Farman² en niños de encontrarse en el inicio, en el pico o al final del pico de crecimiento (figura 35).

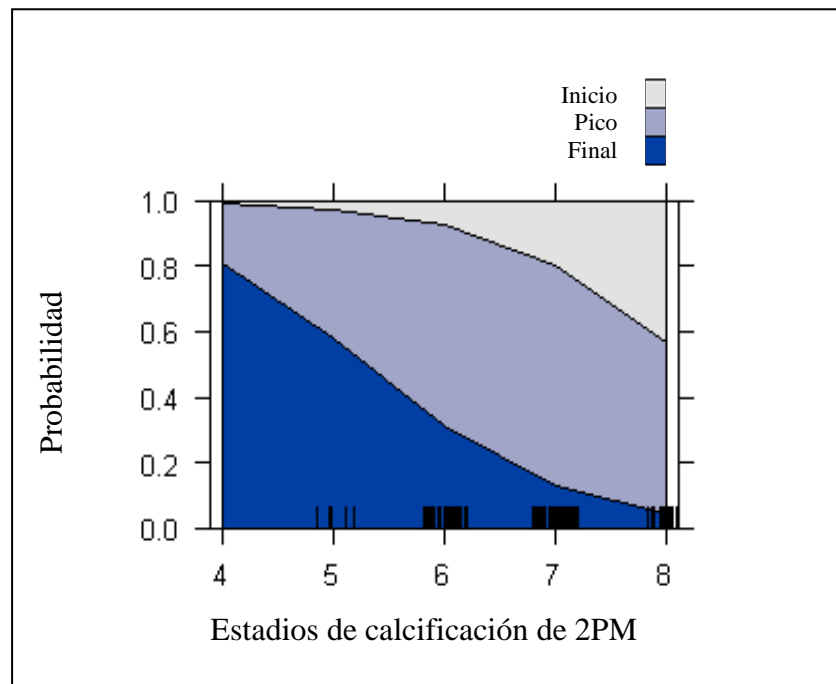


Figura35. Probabilidad que tiene cada estadio de calcificación del 2PM en encontrarse al inicio del pico de crecimiento, en pico de crecimiento o al final del pico de crecimiento.}; número de sujetos en cada estadio de calcificación.

5.4.2. REGRESIÓN MULTINOMIAL ORDINAL PARA EL MÉTODO DE BACCETTI EN NIÑOS

En el caso del método de Baccetti también para niños, aplicamos la fórmula de regresión (RMO) con la siguiente fórmula:

$$\langle\langle BACCETTI \sim D_{1PM} + D_{2PM} + D_{1M} + D_{2M} + D_{IC} + D_{IL} + D_C \rangle\rangle$$

y conseguimos el siguiente modelo saturado (tabla 14):

Tabla 14. Primer ajuste realizado en la RMO para el método de Baccetti^{39,49} en niños

	<i>Valor Error Estandar</i>	<i>Valor t</i>	<i>Valor p</i>
1PM	-0,42260203 0,4219907	-1,00144871	0,31660993
2PM	0,84763150 0,4549471	1,86314287	0,06244217
1M	0,05014264 1,0229639	0,04901702	0,96090574
2M	0,95081316 0,3764739	2,52557534	0,01155090
IC	2,47357279 1,5392799	1,60696755	0,10806149
IL	-1,05624099 0,6986350	-1,51186375	0,13056853
C	0,67971287 0,4314830	1,57529477	0,11518842
1/2	23,81901325 11,4995638	2,07129710	0,03833104
2/3	27,46984564 11,5572859	2,37684227	0,01746155

RMO: regresión multinomial ordinal; Valor t: test de Wald; Valor de p: significación estadística
 Los valores en color rojo representan los dientes que presentan una menor significación (valor p).
 1PM: primer premolar; 2PM: segundo premolar; 1M: primer molar; 2M: segundo molar; IC: incisivo central; IL: incisivo lateral; C: canino.

Como se puede observar la variable 2PM y 2M con los valores más bajos de significación se utilizaron para un nuevo modelo de regression multinomial ordinal:

$$\langle\langle \text{BACCETI} \sim D_{2PM} + D_{2M} \rangle\rangle$$

con los siguientes parámetros (Tabla 15):

Tabla 15. Resultados del análisis de regresión logística multinomial ordinal para el método Baccetti^{39, 49} en niños

<i>Variable</i>	<i>Estimación</i>	<i>DE</i>	<i>Valor t</i>	<i>Valor p</i>	<i>OR</i>	<i>95%IC</i>
2PM	0,99	0,37	2,63	0,008	2,69	1,3-5,7
2M	0,86	0,32	2,67	0,007	2,36	1,2-4,5
Intercept (1)	10,73	1,9	5,5	<0,0001		
Intercept (2)	14,25	2,2	6,4	<0,0001		

AIC (criterio de información de akaike): 182.69. Desviación residual: 174.69
 DE: desviación estándar; Valor t: test de Wald; Valor p: valor de significación; OR: Odds Ratio; IC: intervalo de confianza.
 2PM: segundo premolar

A través del siguiente gráfico ofrecemos una ilustración donde se muestra la probabilidad que presenta los diferentes estadios de calcificación del 2PM y 2M según el método de Baccetti en niños de encontrarse en el inicio, en el pico o al final del pico de crecimiento (figura 36 y 37).

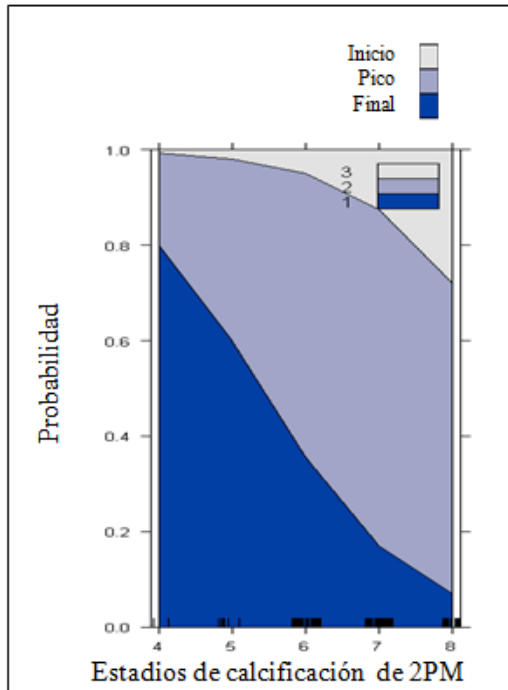


Figura 36. Probabilidad que tiene cada estadio de calcificación del 2PM en encontrarse al inicio del pico de crecimiento, en pico de crecimiento o al final del pico de crecimiento.
 ||: número de sujetos en cada estadio de calcificación.

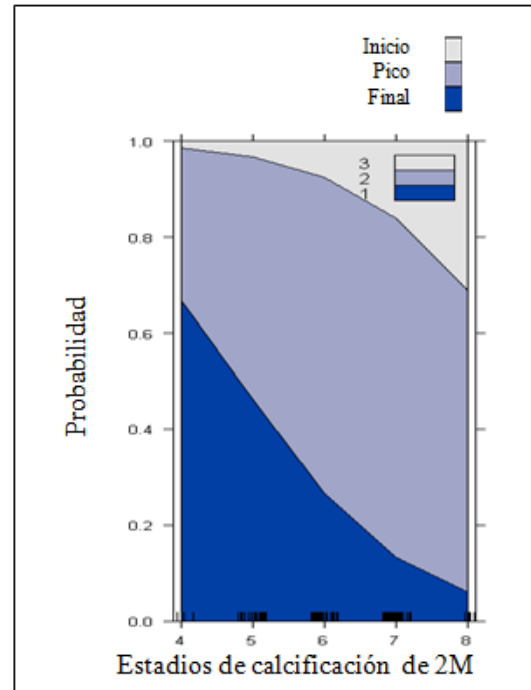


Figura 37. Probabilidad que tiene cada estadio de calcificación del 2M en encontrarse al inicio del pico de crecimiento, en pico de crecimiento o al final del pico de crecimiento.
 ||: número de sujetos en cada estadio de calcificación.

5.4.3. REGRESIÓN MULTINOMIAL ORDINAL PARA EL MÉTODO DE GRAVE Y BROWN EN NIÑOS.

Siguiendo con el grupo de niños, el modelo saturado utilizado para todas las variables según el método de Grave y Brown⁹⁸ fue:

$$\langle\langle \text{GRAVEYBROWN} \sim D_{1PM} + D_{2PM} + D_{1M} + D_{2M} + D_{IC} + D_{IL} + D_C \rangle\rangle$$

Se obtuvouna desviación residual de 155,45 y un AIC de 173,45 y los siguientes parámetros:

Tabla 16. Primer ajuste realizado en la RMO para el método de Grave y Brown⁹⁸ en niños

<i>Valor error estándar</i>	<i>Valor t</i>	<i>Valor</i>
-0,6714858 0,4327343	-1,55172767	0,120727398
1,5257493 0,4898947	3,11444308	0,001842925
-0,7905022 1,0673349	-0,74063182	0,458916710
0,8129909 0,3857617	2,10749490	0,035074703
0,1440538 1,6039725	0,08981066	0,928437675
0,6059014 0,8100761	0,74795614	0,454486611
0,8567049 0,4424121	1,93644110	0,052813700
15,2740778 12,3372394	1,23804664	0,215698767
18,7005249 12,3806285	1,51046653	0,130924424

RMO: regresión multinomial ordinal; Valor t: test de Wald; Valor de p: significación estadística. Los valores en color rojo representan los dientes que presentan una menor significación (valor p). 1PM: primer premolar; 2PM: segundo premolar; 1M: primer molar; 2M: segundo molar; IC: incisivo central; IL: incisivo lateral; C: canino.

Extraemos las variables significativas para un nuevo modelo de RMO:

<<GRAVEYBROWN~D_2PM+D_2M+D_C>>

Obteniendo los siguientes parámetros:

Tabla 17. Segundo ajuste realizado en la RMO para el método de Grave y Brown⁹⁸ en niños

	<i>Valor error estándar</i>	<i>Valor t</i>	<i>valor p</i>
2PM	1,2468337 0,4503626	2,768511	5,631315e-03
2M	0,6057416 0,3454400	1,753537	7,950993e-02
C	0,7848691 0,3841428	2,043170	7,103558e-02
1/2	16,8616379 2,5903433	6,509422	7,544050e-11
2/3	20,1645407 2,8656035	7,036752	1,967729e-12

RMO: regresión multinomial ordinal; Valor t: test de Wald; Valor de p: significación estadística. Los valores en color rojo representan los dientes que presentan una menor significación (valor p). 2PM: segundo premolar; 2M: segundo molar; IC: incisivo central; IL: incisivo lateral; C: canino

Aunque tanto las variables 2M como C quedan bastante cerca del límite impuesto de significación $p < 0,05$; sólo realizamos el resto de análisis para el segundo premolar (2PM), como vemos en la tabla 18:

Tabla 18. Resultados del análisis de regresión logística multinomial ordinal para el método Grave y Brown⁹⁸ en niños

<i>Variable</i>	<i>Estimación</i>	<i>DE</i>	<i>Valor t</i>	<i>Valor p</i>	<i>OR</i>	<i>95%IC</i>
<i>2PM</i>	1,24	0,45	2,76	0,005	3,47	1,4-8,5
<i>Intercept (1)</i>	16,86	2,59	6,5	<0,0001		
<i>Intercept (2)</i>	20,16	2,86	7,03	<0,0001		

AIC (criterio de información de akaike): 169,681. Desviación residual: 159,68

DE: desviación estándar; Valor t: test de Wald; Valor p: valor de significación; OR: Odds Ratio; IC: intervalo de confianza.

2PM: segundo premolar

La siguiente gráfica nos muestra la probabilidad que presenta los diferentes estadios de calcificación del 2PM según el método de Grave y Brown en niños de encontrarse en el inicio, en el pico o al final del pico de crecimiento (figura 38).

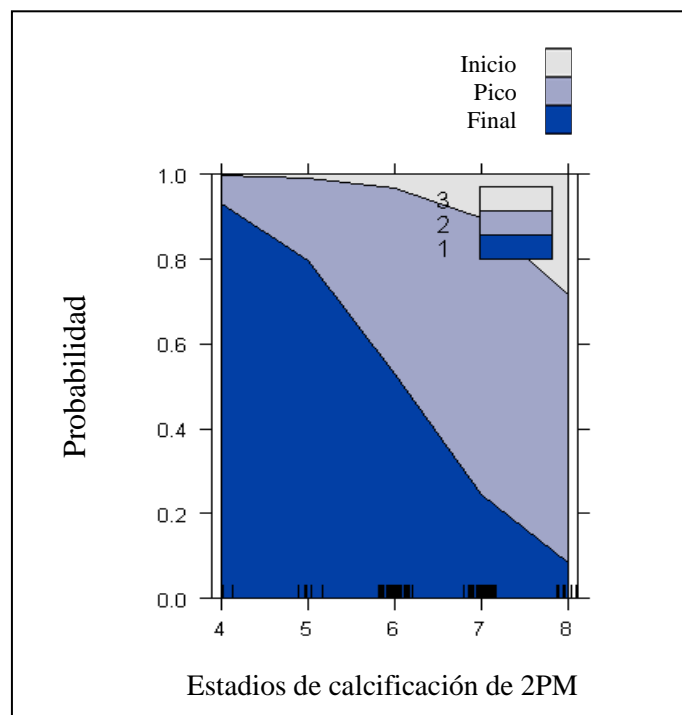


Figura38. Probabilidad que tiene cada estadio de calcificación del 2PM en encontrarse al inicio del pico de crecimiento, en pico de crecimiento o al final del pico de crecimiento.

||: número de sujetos en cada estadio de calcificación

5.4.4. REGRESIÓN MULTINOMIAL ORDINAL PARA EL MÉTODO DE FISHMAN EN NIÑOS.

Como en los análisis anteriores para el sexo masculino, usamos en primer lugar un modelo saturado con todas las variables para el método de Fishman⁴³:

$$\langle\langle FISHMAN \sim D_1PM + D_2PM + D_1M + D_2M + D_IC + D_IL + D_C \rangle\rangle$$

Obtenemos los siguientes parámetros, con una desviación residual de 164,32 y un AIC de 182,32:

Tabla 19. Primer ajuste realizado en la RMO para el método Fishman⁴³ en niños

	<i>Valor error estándar</i>	<i>Valor t</i>	<i>Valor p</i>
1PM	-0,2755087 0,4167232	-0,6611312	0,508528184
2PM	1,2632583 0,4571430	2,7633768	0,005720668
1M	-0,8726831 1,0430630	-0,8366542	0,402786952
2M	0,8228835 0,3645145	2,2574780	0,023978226
IC	0,1627362 1,5921076	0,1022143	0,918586558
IL	0,6107989 0,8114202	0,7527529	0,451598405
C	0,5819019 0,4287371	1,3572464	0,174702936
1/2	14,2118449 12,0210073	1,1822508	0,237106219
2/3	17,2244882 12,0520987	1,4291692	0,152955610

RMO: regresión multinomial ordinal; Valor t: test de Wald; Valor de p: significación estadística
Los valores en color rojo representan los dientes que presentan una menor significación (valor p).

1PM: primer premolar; 2PM: segundo premolar; 1M: primer molar; 2M: segundo molar; IC: incisivo central; IL: incisivo lateral; C: canino

Eliminamos de este modelo saturado las variables no significativas, realizando un nuevo modelo de regresión sólo con 2PM y 2M que son las variables significativas

en este caso, obteniendo una desviación residual de 169,26 y un AIC de 177,26 para el análisis realizado en niños (Tabla 20):

Tabla 20. Resultados del análisis de regresión logística multinomial ordinal para el método Fishman⁴³ en niños

Variable	Estimación	DE	Valor t	Valor p	OR	95%IC
2PM	1,4	0,38	3,7	0,0002	4,1	1,9-8,9
2M	0,83	0,32	2,58	0,009	2,3	1,2-4,4
Intercept (1)	14,11	2,18	6,4	<0,0001		
Intercept (2)	17,03	2,41	7,05	<0,0001		

AIC (criterio de información de akaike): 177,26. Desviación residual: 169,26

DE: desviación estándar; Valor t: test de Wald; Valor p: valor de significación; OR: Odds Ratio; IC: intervalo de confianza.

2PM: segundo premolar; 2M: segundo molar.

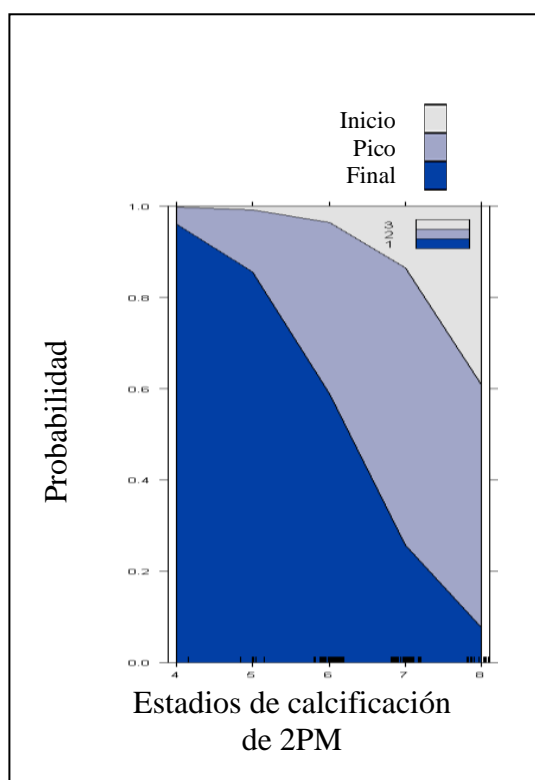


Figura 39. Probabilidad que tiene cada estadio de calcificación del 2PM en encontrarse al inicio del pico de crecimiento, en pico de crecimiento o al final del pico de crecimiento, en niños siguiendo el método Fishman.

||: número de sujetos en cada estadio de calcificación

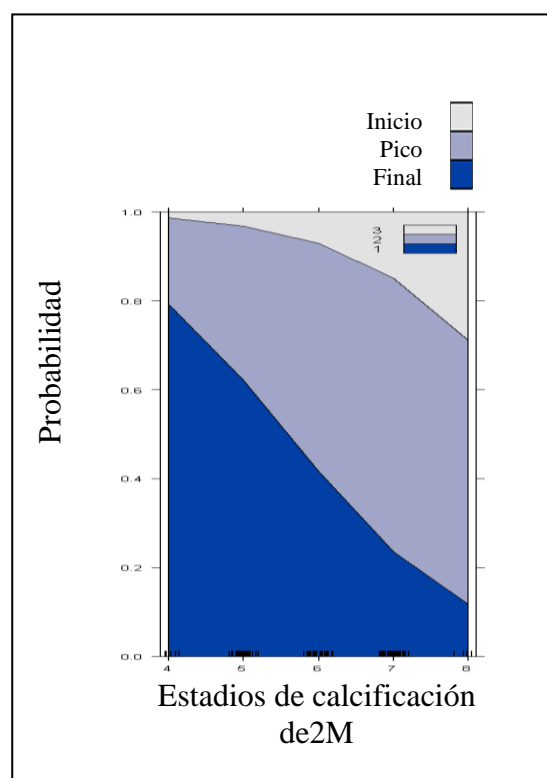


Figura 40. Probabilidad que tiene cada estadio de calcificación del 2M en encontrarse al inicio del pico de crecimiento, en pico de crecimiento o al final del pico de crecimiento, en niños siguiendo el método de Fishman.

||: número de sujetos en cada estadio de calcificación

Las gráficas anteriores nos muestran la probabilidad que presenta los diferentes estadios de calcificación del 2PM y 2M según el método de Fishman en niños de encontrarse en el inicio, en el pico o al final del pico de crecimiento (figura 39 y 40).

5.4.5. REGRESIÓN MULTINOMIAL ORDINAL PARA EL MÉTODO DE HASSEL Y FARMAN² EN NIÑAS

En lo referente a la aplicación de los diversos métodos de valoración de la maduración esquelética en niñas, se emplearon todas las variables RMO como se ha seguido en el epígrafe precedente.

En cuanto al análisis mediante el método de Hassel y Farman² en niñas, el primer ajuste viene reflejado en la tabla 21:

Tabla 21. Primer ajuste realizado en la RMO para el método Hassel y Farman² en niñas

	<i>Valor error estándar</i>	<i>Valor t</i>	<i>Valor p</i>
1PM	-0,05984356 0,4529135	-0,1321302	0,894881287
2PM	0,51749789 0,4000996	1,2934226	0,195864947
1M	0,80239318 0,8545386	0,9389783	0,347741902
2M	0,90124219 0,4243988	2,1235737	0,033705808
IC	0,66629805 1,2130217	0,5492878	0,582807946
IL	0,43292112 0,7887882	0,5488433	0,583113007
C	0,27981059 0,4726289	0,5920302	0,553830338
1/2	23,19488542 9,2564611	2,5058049	0,012217302
2/3	25,92481080 9,3626830	2,7689510	0,005623709

RMO: regresión multinomial ordinal; Valor t: test de Wald; Valor de p: significación estadística
 Los valores en color rojo representan los dientes que presentan una menor significación (valor p).
 1PM: primer premolar; 2PM: segundo premolar; 1M: primer molar; 2M: segundo molar; IC: incisivo central; IL: incisivo lateral; C: canino

En este caso, solo encontramos un valor significativo para el 2M con una $p=0.03$; por lo que son eliminadas el resto de las variables, quedándonos solo con el modelo:

$$\langle\langle \text{HASSELYFARMAN} \sim D_{2M} \rangle\rangle$$

y en el que aplicamos los diferentes análisis, obteniendo los resultados explicados en la tabla 22:

Tabla 22. Resultados del análisis de regresión logística multinomial ordinal para el método Hassel y Farman² en niñas

<i>Variable</i>	<i>Estimación</i>	<i>DE</i>	<i>Valor t</i>	<i>Valor p</i>	<i>OR</i>	<i>95%IC</i>
<i>2M</i>	1,53	0,25	5,99	<0,0001	4,66	2,8-7,9
<i>Intercept (1)</i>	7,31	1,49	4,9	<0,0001		
<i>Intercept (2)</i>	9,9	1,66	5,96	<0,0001		

AIC (criterio de información de akaike): 178,63. Desviación residual: 160,63

DE: desviación estándar; Valor t: test de Wald; Valor p: valor de significación; OR: Odds Ratio;

IC: intervalo de confianza.

2M: segundo molar

La siguiente gráfica nos muestra la probabilidad que presenta los diferentes estadios de calcificación del 2M según el método de Hassel y Farman² en niñas de encontrarse en el inicio, en el pico o al final del pico de crecimiento (figura 41).

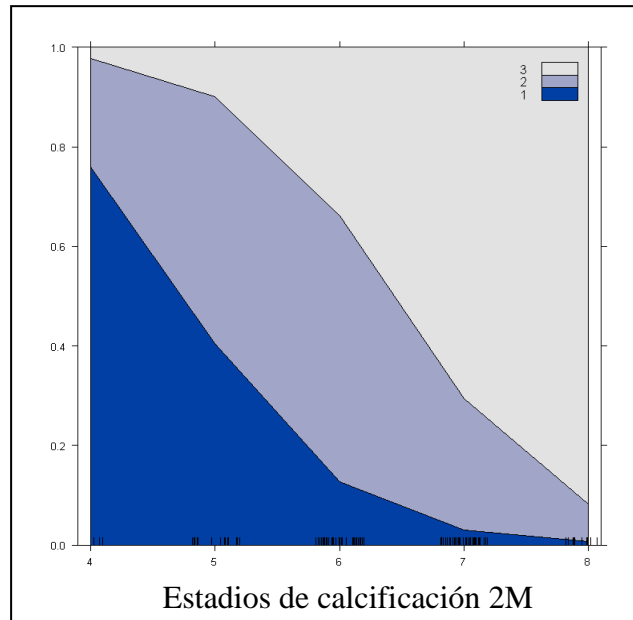


Figura41. Probabilidad que tiene cada estadio de calcificación del 2M en encontrarse al inicio del pico de crecimiento, en pico de crecimiento o al final del pico de crecimiento.
 //: número de sujetos en cada estadio de calcificación

5.4.6. REGRESIÓN MULTINOMIAL ORDINAL PARA EL MÉTODO DEBACCETTI^{39, 49} EN NIÑAS

En este caso se ha ajustado el modelo RMO en las 108 niñas según el método Baccetti^{39,49}. El modelo saturado (con todas las variables explicativas):

$$\langle\langle BACCETTI \sim D_1PM + D_2PM + D_1M + D_2M + D_IC + D_IL + D_C \rangle\rangle$$

se obtuvo una desviación residual de 178,4452 y un AIC de 196,4452; y los siguientes ajustes:

Tabla 23. Primer ajuste realizado en la RMO para el método Baccetti^{39,49} en niñas

	<i>Valor error estándar</i>	<i>Valor t</i>	<i>Valor p</i>
1PM	-0,06223723 0,4338340	-0,1434586	0,88592799
2PM	0,46603615 0,3857608	1,2080963	0,22701021
1M	0,98303442 0,8760881	1,1220726	0,26183157
2M	0,86034370 0,4063684	2,1171523	0,03424693
IC	0,22825386 1,2027027	0,1897841	0,84947831
IL	0,31595386 0,7767872	0,4067444	0,68419572
C	0,19443312 0,4532538	0,4289719	0,66794369
1/2	19,65327480 9,0323880	2,1758670	0,02956521
2/3	21,99287726 9,0937474	2,4184614	0,01558630

RMO: regresión multinomial ordinal; Valor t: test de Wald; Valor de p: significación estadística
 Los valores en color rojo representan los dientes que presentan una menor significación (valor p).
 1PM: primer premolar; 2PM: segundo premolar; 1M: primer molar; 2M: segundo molar; IC: incisivo central; IL: incisivo lateral; C: canino

Como se puede observar la variable 2M con un valor dep=0,034 fue la única variable que mostró significación estadística y que, por tanto, permaneció en el modelo de análisis final. El modelo final seleccionado fue:

$$\langle\langle \text{PEAK_BACCETI} \sim D_2M \rangle\rangle$$

Con los siguientes parámetros (Tabla 24):

Tabla 24. Resultados del análisis de regresión logística multinomial ordinal para el método Baccetti^{39,49} en niñas

<i>Variable</i>	<i>Estimación</i>	<i>DE</i>	<i>Valor t</i>	<i>Valor p</i>	<i>OR</i>	<i>95%IC</i>
2M	1,39	0,24	5,74	<0,0001	4,05	2,5-6,7
Intercept (1)	7,02	1,44	4,85	<0,0001		
Intercept (2)	9,28	1,58	5,86	<0,0001		

AIC(criterio de información de akaike): 189,21. Desviación residual: 183,21
 DE: desviación estándar; Valor t: test de Wald; Valor de p: significación estadística; OR: Odds Ratio;
 IC: intervalo de confianza.
 2M: segundo molar

La siguiente gráfica nos muestra la probabilidad que presenta los diferentes estadios de calcificación del 2M según el método de Baccetti^{39,49} en niñas de encontrarse en el inicio, en el pico o al final del pico de crecimiento (figura 42).

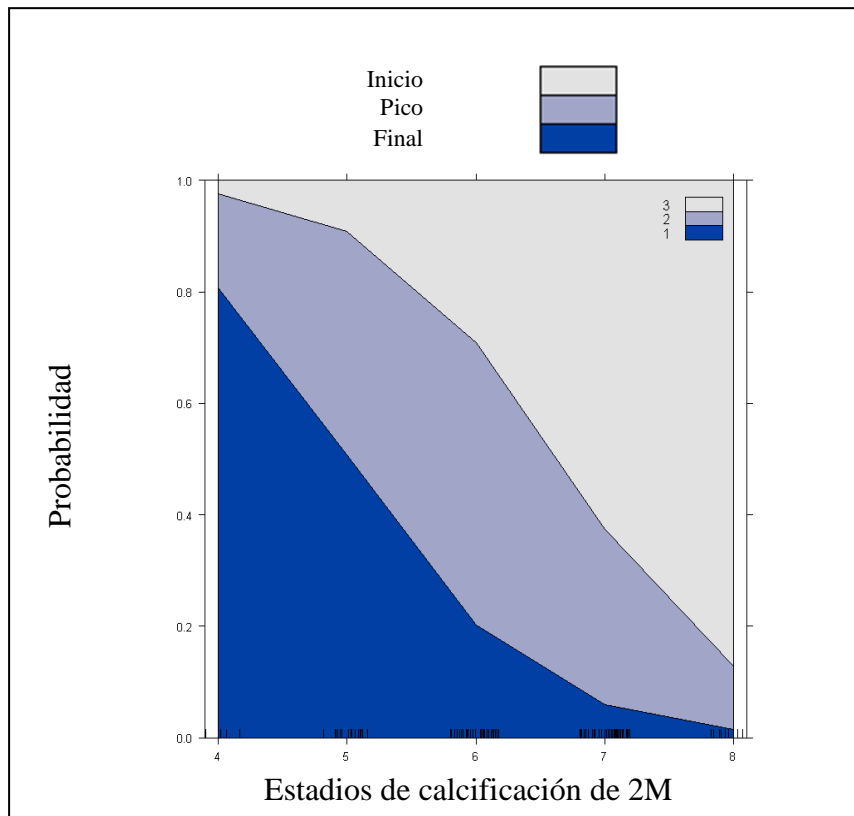


Figura42. Probabilidad que tiene cada estadio de calcificación del 2M en encontrarse al inicio del pico de crecimiento, en pico de crecimiento o al final del pico de crecimiento.
 //: número de sujetos en cada estadio de calcificación

5.4.7. REGRESIÓN MULTINOMIAL ORDINAL PARA EL MÉTODO DE GRAVE Y BROWN⁹⁸ EN NIÑAS.

Cuando analizamos la estimación de la maduración esquelética mediante el método de Grave y Brown en niñas, se obtuvo el siguiente modelo saturado de la RMO según la fórmula para todos los dientes:

Tabla 25. Primer ajuste realizado en la RMO para el método Grave y Brown⁹⁸ en niñas

	<i>Valor error estándar</i>	<i>Valor t</i>	<i>Valor p</i>
<i>D_1PM</i>	0,1273295 0,4589460	0,2774389	0,781443148
<i>D_2PM</i>	0,6412402 0,4058919	1,5798297	0,114145861
<i>D_1M</i>	1,7081728 0,9524513	1,7934490	0,072901156
<i>D_2M</i>	1,0856919 0,4470797	2,4284078	0,015165281
<i>D_IC</i>	1,3430458 1,3132551	1,0226846	0,306457016
<i>D_IL</i>	-0,5202500 0,8595195	-0,6052801	0,544992926
<i>D_C</i>	0,1780454 0,5078519	0,3505852	0,725899540
<i>1/2</i>	30,3841641 10,6473094	2,8536941	0,004321412
<i>2/3</i>	34,0066808 10,8182388	3,1434581	0,001669643

RMO: regresión multinomial ordinal; Valor t: test de Wald; Valor de p: significación estadística
Los valores en color rojo representan los dientes que presentan una menor significación (valor p).
1PM: primer premolar; 2PM: segundo premolar; 1M: primer molar; 2M: segundo molar; IC: incisivo central; IL: incisivo lateral; C: canino

En este caso, aunque se observó que los valores estimados para el 1M tuvieron valores de $p < 0,05$, no se integró finalmente un nuevo modelo, debido a su escaso valor predictivo dado que la mayoría de los individuos incluidos en las edades medias en las que se sitúa el pico de crecimiento se encontraban en estadio Hen la mayoría de los individuos en las edades medias. Por lo tanto, sólo se describió un valor con significación estadística para el 2M en niñas ($p < 0,05$), siguiendo el método de Grave y Brown⁹⁸. En la tabla 26 se describen con detalle los resultados pormenorizados obtenidos.

Tabla 26. Resultados del análisis de regresión logística multinomial ordinal para el método Grave y Brown⁹⁸ en niñas

<i>Variable</i>	<i>Estimación</i>	<i>DE</i>	<i>Valor t</i>	<i>Valor p</i>	<i>OR</i>	<i>95%IC</i>
<i>2M</i>	1,59	0,29	5,36	<0,0001	4,9	2,8-9,15
<i>Intercept (1)</i>	21,45	6,81	3,15	0,001		
<i>Intercept (2)</i>	24,99	6,98	3,57	0,0003		

AIC (criterio de información de akaike): 178,63. Desviación residual: 160,63
DE: desviación estándar; Valor t: test de Wald; Valor de p: significación estadística; OR: Odds Ratio;
IC: intervalo de confianza.
2M: segundo molar

La siguiente gráfica, como en el caso de los anteriores métodos, nos explica la probabilidad de cada estadio de calcificación del 2M de encontrarse antes, durante o al final del pico de crecimiento, para el método de Grave y Brown⁹⁸.

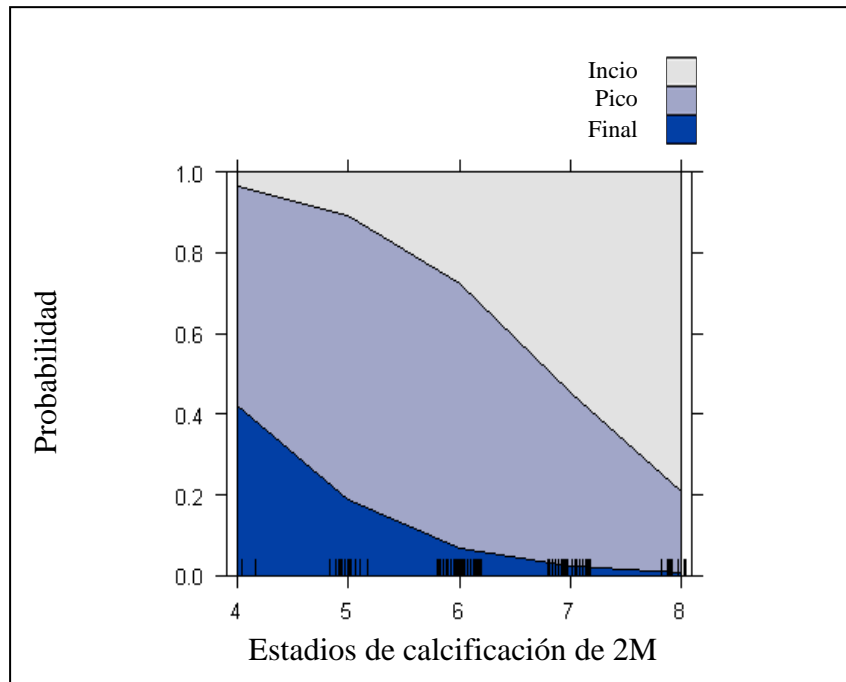


Figura43. Probabilidad que tiene cada estadio de calcificación del 2M en encontrarse al inicio del pico de crecimiento, en pico de crecimiento o al final del pico de crecimiento.

||: número de sujetos en cada estadio de calcificación

5.4.8. REGRESIÓN MULTINOMIAL ORDINAL PARA EL MÉTODO DE FISHMAN⁴³ EN NIÑAS.

Por último, se ajustó el modelo RMO en niñas según el método Fishman⁴³. El modelo saturado que incluye todas las variables explicativas:

$$\langle\langle FISHMAN \sim D_{1PM} + D_{2PM} + D_{1M} + D_{2M} + D_{IC} + D_{IL} + D_C \rangle\rangle$$

describió los siguientes resultados que se muestran a continuación:

Tabla 27. Primer ajuste realizado en la RMO para el método Fishman⁴³ en niñas

	<i>Valor error estándar</i>	<i>Valor t</i>	<i>Valor p</i>
<i>1PM</i>	0,2714636 0,4459161	0,6087772	0,542672112
<i>2PM</i>	0,6558522 0,4236134	1,5482328	0,012156625
<i>1M</i>	0,6295256 0,9438191	0,6669982	0,504773294
<i>2M</i>	0,8141440 0,4269634	1,9068239	0,056543400
<i>IC</i>	0,2994430 1,2748175	0,2348909	0,814293431
<i>IL</i>	0,5427785 0,8319756	0,6523972	0,514144993
<i>C</i>	0,5199232 0,5089433	1,0215740	0,306982588
<i>1/2</i>	24,0242081 9,7264253	2,4699936	0,013511547
<i>2/3</i>	26,9037199 9,8447561	2,7327970	0,006279902

RMO: regresión multinomial ordinal; Valor t: test de Wald; Valor de p: significación estadística. Los valores en color rojo representan los dientes que presentan una menor significación (valor p).

1PM: primer premolar; 2PM: segundo premolar; 1M: primer molar; 2M: segundo molar; IC: incisivo central; IL: incisivo lateral; C: canino

La selección y eliminación de las piezas que arrojaban un valor de $p > 0,05$ en el análisis se condensó el modelo de cálculo en la siguiente forma y a través del que sólo se analizaron las variables significativas según el test de Wals, obteniendo los resultados resumidos en la tabla 28:

$$\langle\langle FISHMAN \sim D_{2PM} + D_{2M} \rangle\rangle$$

Tabla 28. Resultados del análisis de regresión logística multinomial ordinal para el método Fishman⁴³ en niñas

<i>Variable</i>	<i>Estimate</i>	<i>SE</i>	<i>Wald chi-cuadrado</i>	<i>p valor</i>	<i>OR</i>	<i>95%IC</i>
2PM	0,83	0,39	2,1	0,03	2,3	1-5,2
2M	1,32	0,35	3,78	<0,0001	3,7	1,9-7,7
Intercept (1)	11,23	2,16	5,19	<0,0001		
Intercept (2)	13,94	2,32	5,98	<0,0001		

AIC (criterio de información de akaike): 163,91. Desviación residual: 145,91

DE: desviación estándar; Valor t: test de Wald; Valor p: valor de significación; OR: Odds Ratio; IC: intervalo de confianza.

2M: segundo molar; 2PM: segundo premolar

La siguiente gráfica nos muestra la probabilidad que presenta los diferentes estadios de calcificación del 2PM y 2M según el método de Fishman en niñas de encontrarse en el inicio, en el pico o al final del pico de crecimiento (Figura 44).

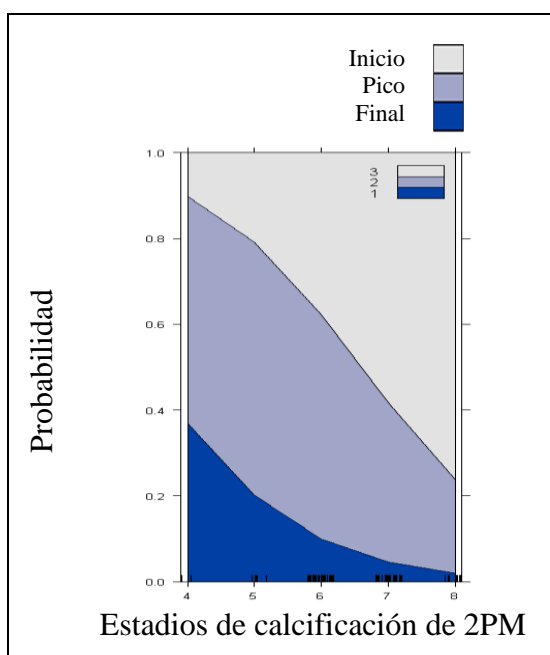


Figura44. Probabilidad que tiene cada estadio de calcificación del 2PM en encontrarse al inicio del pico de crecimiento, en pico de crecimiento o al final del pico de crecimiento. ||: número de sujetos en cada estadio de calcificación

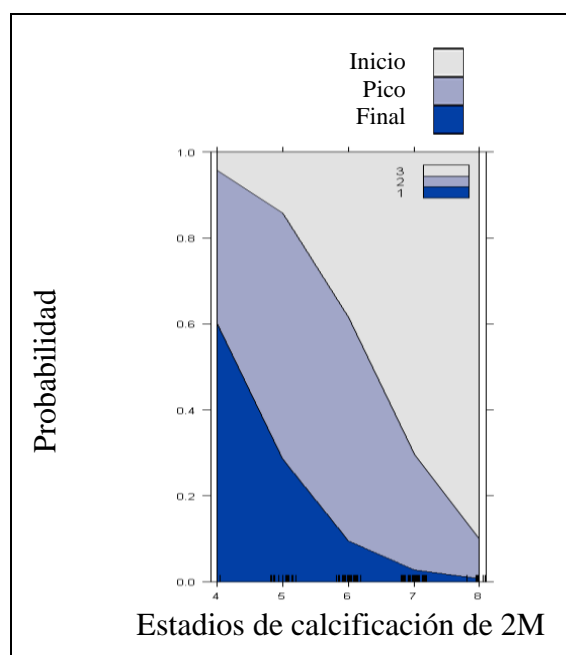


Figura45. Probabilidad que tiene cada estadio de calcificación del 2M en encontrarse al inicio del pico de crecimiento, en pico de crecimiento o al final del pico de crecimiento. ||: número de sujetos en cada estadio de calcificación

Los dientes que aparecen en las tablas (Tablas 11-28) y gráficas (Figuras 35-45) anteriores, son los que presentan un valor significativo con una $p < 0,05$, y son el segundo premolar y segundo molar. Para los demás dientes estudiados (incisivo central, incisivo lateral, canino, primer premolar y primer molar), los resultados no fueron significativos ($p > 0,05$), por lo que no se consideran predictores de la maduración esquelética, y fueron eliminados de la regresión logística multinomial ordinal de manera secuencial.

En el caso de los niños, siguiendo los resultados obtenidos en el presente estudio, los valores significativos ($p < 0,05$) coinciden en todos los métodos de análisis de la maduración esquelética para el segundo premolar (2PM) y en dos de ellos (Baccetti^{39,49} y Fishman⁴³) también para el segundo molar (2M), lo que significa que ambos dientes pueden ser usados como predictores de la maduración esquelética en este sexo. Sin embargo, en cuanto a los valores estimados, es el 2PM el que tiene un mayor valor predictivo en todos los métodos (1,12; 0,99; 1,24; 1,4) con respecto al 2M (0,86, 0,83), lo que significa que el segundo premolar tiene más influencia en la predicción de la madurez esquelética en comparación con el segundo molar. En cuanto al valor de la *odds ratio*, para el 2M los valores son similares: 2,36 (IC= 1,2-4,5; $p=0,007$) para el método de Baccetti^{39,49} y 2,3 (IC=1,2-4,4; $p=0,009$) para el método de Fishman⁴³; mientras que para el 2PM varían según el método. De mayor a menor valor de Odds ratio para el 2PM, el orden según el método sería: Fishman⁴³, con una OR de 4,1 (IC=1,0-8,9; 0,0002); para el método de Grave y Brown⁹⁸ el 2PM muestra una OR de 3,47 (IC=1,4-8,5; $p=0,005$); para el método de Hassel y Farman², presenta una OR de 3,08 (IC= 1,3-7,2; $p=0,008$) para el 2PM y según el método de Baccetti⁹⁸ el segundo premolar presenta una OR de 2,69 (IC= 1,3-5,7; $p=0,008$).

En el caso de las niñas, en nuestros resultados los valores significativos ($p < 0,05$) coinciden en todos los métodos para el segundo molar (2M) y sólo en uno de ellos (método de Fishman⁴³) también para el segundo premolar (2PM), lo que significa que ambos dientes pueden ser usados como predictores de la maduración esquelética en este sexo. En cuanto a los resultados del OR, los valores para el segundo molar se varían entre los diferentes métodos, que ordenados de mayor a menor OR son los siguientes: el 4,9 para el método de Grave y Brown⁹⁸ (IC=2,9-9,15), el 4,66 (IC=2,8-7,9) para el método de Hassel y Farman², el 4,05 (IC=2,5-6,7) para el método de Baccetti y

3,7(IC=1,9-7,7) para el método de Fishman⁴³; y para el segundo premolar es de 2,3, mucho más bajo que para el segundo molar en niñas. Para todos los métodos, el valor del OR para el segundo molar presenta un valor $p < 0,0001$, mientras que para el segundo premolar según el método de Fishman⁴³, el valor p es de 0,03. También observamos que la capacidad predictiva del segundo molar en niñas es más fuerte que la capacidad predictiva del segundo premolar en niños. Los valores estimados (1,53; 1,59, 1,39 y 1,32) para el segundo molar y 0,83 para el segundo premolar, nos dicen que el segundo molar tiene más influencia en la predicción de la madurez esquelética que el segundo molar, además de sólo ser predictivo este último siguiendo el método de análisis de madurez esquelética de Fishman⁴³.

En la tabla 29 podemos ver la distribución de los estadios de calcificación de los diferentes dientes justo en el pico de crecimiento según el método de Fishman (Tabla 29).

Tabla 29. Distribución de los estadios de mineralización de los dientes en el pico de crecimiento.

<i>Est. de mineralización</i>	<i>IC(%) m/f</i>	<i>IL(%) m/f</i>	<i>C(%) m/f</i>	<i>IPM(%) m/f</i>	<i>2PM(%) m/f</i>	<i>1M(%) m/f</i>	<i>2M(%) m/f</i>
<i>D</i>							
<i>E</i>							15,2/21,6
<i>F</i>			15,2/21,6	13/27	32,6/2,7		32,6/54,1
<i>G</i>	2,2/5,4	8,7/18,9	53,3/70,3	41,3/49,5	50/67,6	4,3/5,4	50/21,6
<i>H</i>	97,8/94,6	91,3/81,1	32,6/8,1	45,7/27	17,4/24,3	95/94, 6	2,2/2,7

Est: estadio. IC: incisivo central; IL: incisivo lateral; C: canino; IPM: primer premolar; 2PM: segundo premolar; 1M: primer molar; 2M: segundo molar. m/f: niños/niñas

Teniendo en cuenta que, para los niños, los dientes con valor predictivo para la identificación del pico de crecimiento son el segundo premolar y el segundo molar, podemos decir que, el segundo premolar se encuentra con mayor frecuencia en estadio G y el segundo molar también en estadio G cuando el individuo se encuentra en pico de crecimiento, seguidos en frecuencia por el estadio F. Lo mismo ocurre con las niñas en cuanto al segundo premolar, que también se encontrará en el estadio G de mineralización, pero no con el segundo molar, su mayor predictor, que se encontrará con mayor frecuencia en estadio F.

6.DISCUSIÓN

6. DISCUSIÓN

El presente trabajo tratar de abordar la utilidad, correlación y paralelismo que pueda existir entre los distintos métodos de análisis de la madurez esquelética. A modo resumen se compilan en la tabla 30 una selección de los estudios de investigación más significativos en el área que utilizan radiografía de mano-muñeca. La elección de estos artículos se basa en que la posibilidad de obtener muestras con radiografías de mano-muñeca tiene mayor dificultad que aquellas muestras que sólo utilizan ortopantomografía y/o telerradiografía lateral de cráneo. La ortopantomografía se usa habitualmente para el diagnóstico general en odontología, y la telerradiografía junto con la ortopantomografía para el diagnóstico general en ortodoncia; sin embargo, las radiografías de mano-muñeca sólo deben utilizarse para la evaluación de la edad esquelética cuando sea necesario saber en qué estadio de crecimiento se encuentra el paciente, por ejemplo en el caso de tratamientos con aparatos funcionales; es decir, que ésta radiografía sólo se realiza en casos específicos, por lo que es más difícil conseguir muestras más numerosas que si sólo se utilizan ortopantomografías o telerradiografías laterales de cráneo.

Encontramos numerosas publicaciones con tamaños muestrales con cierto grado de limitación como Gandini¹⁵⁷ con 30 sujetos o Verma¹⁶⁹ con 49. También encontramos otros artículos con unas muestras muy representativas, como Soegiarto²⁴⁴ con 2167 sujetos, de los cuales proviene de indonesia una parte de la muestra y de una universidad de Nueva York la parte caucásica para ver las diferencias étnicas; o San Roman¹⁰⁰ con 958, éste último de una universidad española que obtuvo la muestra de pacientes tratados durante 16 años, de ahí el elevado tamaño muestral. La muestra del presente trabajo está formada por 224 pacientes, tratados en la facultad de odontología de la Universidad de Sevilla. Es una muestra lo suficientemente significativa para este tipo de estudio, y similares a otros estudios como el de Zabet²⁴¹ con 190 o Mansourvar¹⁷⁰ con 184 sujetos. Adicionalmente se estimó un tamaño muestral suficiente en base a trabajos previamente publicados²⁴².

Tabla 30. Tabla comparativa de tamaño muestral, edad y sexo de una selección de artículos

<i>Autor (año)</i>	<i>Muestra total</i>	<i>Hombres</i>	<i>Mujeres</i>	<i>Edades (años)</i>
<i>Gandini</i> ¹⁵⁷ (2006)	30	14	16	<i>jul-18</i>
<i>Leite</i> ¹⁶⁵ (1987)	39	19	20	<i>oct-18</i>
<i>Sato</i> ¹⁴⁴ (2001)	44	0	44	8,3-18,6
<i>Verma</i> ¹⁶⁹ (2009)	49	22	27	9,7-20,3
<i>Chapman</i> ¹⁷⁹ (1972)	71	33	38	<i>oct-16</i>
<i>Grave&Brown</i> ⁹⁸ (1976)	88	52	36	<i>oct-18</i>
<i>Safer</i> ¹⁶³ (2015)	125	65	60	<i>ago-20</i>
<i>Mansourvar</i> ¹⁷⁰ (2014)	184	184	0	<i>ene-18</i>
<i>Zabet</i> ²⁴¹ (2015)	190	100	90	<i>oct-19</i>
<i>Camacho-Basallo</i> ²⁴² (2017)	202	104	98	<i>jul-18</i>
<i>Fishman</i> ⁴³ (1982)	334	164	170	0.6-25
<i>Al-khal</i> ⁹⁵ (2008)	400	200	200	<i>oct-17</i>
<i>Uysal</i> ³⁸ (2006)	503	213	290	5,3-24,1
<i>Gungor</i> ²⁴³ (2015)	535	259	276	<i>oct-18</i>
<i>San Román</i> ¹⁰⁰ (2002)	958	428	530	<i>may-18</i>
<i>Soegiharto</i> ²⁴⁴ (2006)	2167	648	303	<i>ago-17</i>

En cuanto a la distribución por género, se observa en la mayoría de los artículos una distribución más o menos equitativa entre hombre y mujeres, al igual que en el presente trabajo, en el que la distribución es de 116 varones (51,8%) y 108 mujeres (48,2%). Encontramos trabajos en los que solo se emplea una muestra de mujeres¹⁴⁴ o sólo se usa muestra de hombres¹⁷⁰, aunque no es lo habitual, ya que es importante analizar los datos para hombres y mujeres por separado pues existen diferencias en el pico de crecimiento entre sexos, como están de acuerdo la mayoría de los artículos^{43,94,97} y que podemos ver en la revisión sistemática y meta-análisis realizado en 2015 por Cericato y col¹⁵⁵, en el que la correlación entre métodos cervicales y de mano muñeca con altos índices de correlación (0,925 en niñas y 0,879 en niños) determinados en sexo separados, baja considerablemente cuando se realiza sin separación de géneros (0,592).

La distribución de la edad en nuestra muestra es homogénea. Distribuimos la muestra en cuatro grupos de edad para facilitar la comprensión e interpretación de los

resultados. Uno de los resultados que despierta más interés es conocer la edad media en la que se produce el pico de crecimiento en ambos sexos. La media de edad cronológica en el pico de crecimiento para los niños es de 13,2 años ($\pm 1,1$) y para las niñas de 11,7 años ($\pm 1,08$), la diferencia por tanto es de 1,5 años más adelantado en caso de las niñas, lo cual coincide con numerosos estudios en la literatura^{183,212,215}.

La asociación entre los diferentes métodos para la evaluación de la maduración esquelética y dental ha sido estudiada en varias poblaciones²¹⁴⁻²¹⁷. Muchos autores sugieren que el origen étnico y otros factores ambientales tales como el clima entre otros, juegan un papel importante en la maduración y por lo tanto hay que tener en cuenta este origen en la aplicación de diferentes métodos de evaluación de la maduración esquelética^{38,206}. Basándonos en esta premisa, uno de nuestros objetivos principales fue determinar si existía correlación entre 6 métodos de evaluación de la maduración esquelética en población española, y cuáles de estos métodos serían válidos o no para esta población. La importancia del presente trabajo radica en que los métodos de mano-muñeca y de maduración vertebral utilizados para hallar la edad biológica se usan principalmente en el campo de la ortodoncia, y adicionalmente se emplean para determinar la edad cronológica en el campo forense^{170,178,199,209-211,217,245}. Precisamente uno de los métodos más utilizados en este campo es el atlas de Greulich y Pyle³, por lo que decidimos introducirlo en el estudio, a pesar de que es mucho menos utilizado en el ámbito de la ortodoncia, para así ampliar la aplicabilidad de los resultados también en el campo forense. Y es que es esencial encontrar herramientas eficientes para estimar la edad en personas vivas debido a las consecuencias legales, como los juicios penales, la responsabilidad criminal y el derecho a asilo en emigrantes sin identidad válida²¹¹. Debido al incremento de la inmigración ilegal, particularmente en el área mediterránea (Italia, Malta, Grecia y España), la estimación de la edad ha cobrado importancia en la antropología forense²¹¹. Los artículos forenses más recientes sugieren una investigación multidisciplinar que tenga en cuenta diferentes métodos como la examinación física y el desarrollo dental y esquelético, con el fin de obtener la evaluación más certera de la edad²⁴⁵. Como limitación de este estudio en el ámbito forense, es que los resultados obtenidos sólo son válidos para la población española y no valdrían a priori para otros niños emigrantes, debido a la variabilidad étnica que hemos mencionado anteriormente. No obstante, si servirían como pilar para la comparación posterior de resultados observados en otras poblaciones.

En nuestro estudio, la diferencia entre edad cronológica y edad esquelética según el atlas de Greulich y Pyle³ es de -0,47 ($\pm 1,94$) años para varones y de -0,72 años ($\pm 1,5$) para mujeres, en ambos casos siendo mayor la edad esquelética que la cronológica. Coincide con la mayoría de artículos en que la edad esquelética da lugar a una sobrestimación con respecto a la edad cronológica, como encontramos en publicaciones actuales como la de Zabet en 2015 en población francesa²⁴¹ (-2,29 meses para niños y -6,44 meses para niñas), Gungor y col²⁴³ en 2015 en población turca (entre 0,07-1,11 años) y Mansourvar y col¹⁷⁰, que comparan la edad esquelética por el atlas de Greulich y Pyle³ en cuatro grupos étnicos, pero sólo de sexo masculino. En asiáticos la diferencia media con la edad cronológica fue de -0,873 y en africanos de -1,872, a diferencia de caucásicos con una media de -0,044 y de hispanos -0,094; lo que concluye que en éstos últimos podemos aplicar el atlas como herramienta para detectar la edad esquelética. La publicación más actual que encontramos en la literatura es el artículo de Chumoitre y col²⁴⁶ en 2017; en este estudio la diferencia media en niños fue de -0,18 años y en niñas de -0,06 años.

Como resultado en nuestro estudio hemos obtenido un coeficiente de correlación entre la edad cronológica y la edad esquelética por este atlas bastante alto (0,823 para niños y 0,816 para niñas),

En nuestro estudio examinamos dos métodos bien conocidos de evaluación de la maduración en vértebras cervicales, tres de mano-muñeca y un método de evaluación de la edad dental. Son muchos los autores que defienden la eficacia del análisis de las vértebras verticales con diferentes métodos; nosotros elegimos el método de Baccetti^{39,49} y de Hassel y Farman², por ser unos de los más utilizados y porque el número de vértebras estudiadas permiten su evaluación con el collar de protección^{2, 39, 49, 100, 122}.

Son muchos los estudios que ponen en entredicho la utilización del método de evaluación de vértebras cervicales como herramienta para hallar la edad esquelética, y casi todos se basan en su reproducibilidad intra y sobre todo interobservador, debido a su carácter subjetivo a la hora de observar las concavidades presentes en cada vértebra o si la forma es cuadrada o rectangular. Sin embargo, en nuestro estudio sí que conseguimos una alta reproductibilidad en los métodos de vértebras cervicales,

obteniendo para el método de Hassel y Farman² 0,908 y 0,957 para los valores intra e interobservador; y para el método de Baccetti y col^{39,49} 0,932 y 0,934, y para el método de Greulich y Pyle³ 0,945 y 0,974 respectivamente.

A modo resumen se compilan en la tabla 31 el grado de correlación establecido en los distintos trabajos en el campo según se resalta en la literatura. Esto realiza el grado de variabilidad reducido o ampliado en determinados métodos de análisis (Tabla 31):

Tabla 31. Tabla comparativa de análisis intra e interobservador en diferentes métodos de estimación en vértebras cervicales en artículos seleccionados.

<i>AUTOR</i>	<i>INTRAOBSERVADOR</i>	<i>INTEROBSERVADOR</i>
<i>Rainey y col²⁴⁷</i>	0,70	0,67
<i>Engel y col¹⁴²</i>	0,36	0,30
<i>Sohrabi y col¹⁵⁰</i>	0,59-0,85	0,48
<i>Gabriel y col¹⁴⁷</i>	0,49-0,79	0,74-0,76
<i>Nestman y col¹⁴⁸</i>	0,5-0,88	0,45
<i>Zhao y col¹⁴⁹</i>	0,46-0,79	0,39-0,45
<i>Franchi y col¹³⁷</i>	1,0	0,98
<i>Hassel y Farman²</i>	1,0	0,85-0,99
<i>Uysal y col³⁸</i>	0,987	0,955
<i>San Roman y col¹⁰⁰</i>	0,96-0,99	-
<i>Soegiharto y col²⁴⁴</i>	0,85-0,95	-
<i>Alkhal y col⁹⁵</i>	1,0	0,846

Tal y como se ha descrito observamos una alta reproducibilidad en nuestro estudio para el método de vértebras cervicales, el segundo paso sería ver su correlación con los métodos de determinación en radiografías de mano muñeca, para ver si es posible eliminar la necesidad de realización de ésta última, lo que facilitaría en clínica el cumplimiento de las directrices y sentido establecidos a través del principio ALARA¹⁸³.

Muchos autores han encontrado una correlación estadísticamente significativa en diferentes poblaciones entre métodos de evaluación de la maduración en mano-muñeca y vértebras cervicales^{2,38,100,122}. En nuestro estudio con población española, encontramos una fuerte correlación estadística entre el método de Fishman⁹⁷ y el método de Grave y Brown⁹⁸ para mano muñeca y los dos métodos de evaluación con vértebras cervicales^{2,39}, independientemente del género. Esta correlación demostraría que ambos métodos de determinación de pico de crecimiento en ambos sexos son válidos y, por lo tanto,

podríamos usar el método de vértebras cervicales como método de determinación, no siendo necesaria la realización de la radiografía de mano-muñeca. A este respecto, algunos investigadores han encontrado una correlación relativamente alta entre la edad cronológica y la maduración esquelética mediante métodos de determinación con vértebras cervicales o mano-muñeca, con coeficientes que van del 0,58 a 0,71 para niños caucásicos en población americana⁹⁶, y de 0,72 para la evaluación en vértebras a 0,79 en mano-muñeca en población turca²¹³. Igualmente, en población del sur de China⁹⁵, encontramos correlaciones entre la madurez de vértebras cervicales y edad cronológica (0,74 para hombres, 0,787 para mujeres) y entre la madurez en mano-muñeca y edad cronológica (0,7492 para hombres, 0,8858 para mujeres). Otros autores sin embargo no encontraron correlación entre mano-muñeca y edad cronológica⁹⁷.

De acuerdo con los hallazgos encontrados en la literatura mencionada, nuestro estudio valida y corrobora la correlación observada por otros autores entre la evaluación de la madurez esquelética en mano-muñeca con la maduración en vértebras cervical, siendo más alta con el método de Fishman⁴³ que con el método de Grave y Brown⁹⁸. Con respecto al género, muchos autores sugieren que la asociación entre la edad vertebral y la maduración en mano-muñeca es mayor en mujeres que en hombres^{100, 122, 213}. Aunque en nuestro estudio encontramos una fuerte correlación tanto en hombres como en mujeres, las mujeres mostraron una asociación ligeramente mayor usando ambos métodos.

Uno de los objetivos fundamentales de nuestro estudio es evaluar si podemos determinar el estadio de maduración biológica de un individuo a través de la evaluación de los estadios de mineralización de los dientes a través de la radiografía panorámica rutinaria, y así reducir el número de radiografías necesarias durante el tratamiento.

Para determinar la edad dental existen numerosos métodos^{192,248,249}. Los métodos más relevantes que encontramos en la literatura están basados en el tiempo de erupción²⁰², calcificación o formación radicular²⁵⁰. Las desventajas de los métodos basados en el tiempo de erupción son que dependen de factores locales y de problemas sistémicos, es decir, de la influencia medioambiental²⁵¹, y además es muy difícil determinar el momento exacto de erupción. En nuestro estudio elegimos el método de Demirjian¹⁹², el cual está basado en el uso de medidas en radiografía, usando un criterio

objetivo de forma y proporción de la longitud radicular versus altura coronaria (no la longitud absoluta).

En cuanto a la asociación entre edad dental por el método de Demirjian¹⁹² y edad cronológica en nuestro estudio, la correlación es de 0,672 para niños y de 0,775 para niñas ($p < 0,001$). Para el sexo masculino la diferencia en años entre edad cronológica y edad dental es de 0,86 años ($\pm 2,4$) menos la edad dental con respecto a la cronológica, en el sexo femenino la diferencia es de 0,62 años ($\pm 1,89$) menos la edad dental con respecto a la edad cronológica. En la literatura, encontramos diferentes resultados. Zhai y col²⁵² encontraron en población china una diferencia media entre edad dental y edad cronológica de 0,47 años ($\pm 1,21$) para niños ($p < 0,05$) y de 0,63 ($\pm 1,27$) en niñas ($p < 0,05$). Aissaoui y col²⁵³ en población turca, también encuentran una subestimación de la edad dental con respecto a la edad cronológica de 0,36 ($\pm 1,23$) en niños y 0,19 ($\pm 1,20$) en niñas. Sin embargo, Ambarkova y col²¹⁶ encuentran en población yugoslava una sobrestimación de la edad dental de Demirjian¹⁹² con respecto a la edad cronológica, siendo de 1,06 ($\pm 1,07$) en niños y de 1,17 ($\pm 0,98$) en niñas. También Litsas y col²⁵⁴ encuentran que la edad dental resulta avanzada cuando lo comparamos con la edad cronológica tanto en niños (0,55, $\pm 1,46$) como en niñas (0,78, $\pm 1,41$).

La falta de concordancia en la literatura con respecto a la asociación entre el estadio de calcificación dental y los índices de maduración esquelética pueden deberse, al menos en parte, a los diferentes métodos usados, así como las diferencias poblacionales. Algunos autores encuentran una fuerte asociación^{206, 96} y otros una asociación más débil o ninguna¹⁸⁸. Los resultados de este estudio encuentran una fuerte relación entre mujeres y segundos molares, lo cual coincide con otros estudios^{201,215,245,255}. En los hombres, aparecen como predictores de la madurez esquelética el segundo premolar y el segundo molar; éste último coincide con otros estudios en la literatura^{201,254,215}; aunque en nuestro caso asociación más fuerte la encontramos a nivel del segundo premolar.

En cuanto a los estadios de mineralización de los dientes “predictores” en el pico de crecimiento del individuo, en nuestro estudio los resultados muestran que los segundos premolares se mostrarán con más frecuencia en el estadio G para ambos

sexos, mientras que el segundo molar aparecerá con más frecuencia en estadio F para niñas y en estadio G para niños.

Litsas y col²⁵⁴ encuentran también la más alta correlación entre edad esquelética (según el método de Baccetti⁴⁹) y calcificación dental para el segundo molar tanto en niños ($r=0,65$) como en niñas($r=0,72$). En el pico de crecimiento, el estadio de desarrollo dental más frecuente para ambos sexos fue el estadio G para el segundo molar. Kuma y col¹⁸³ sólo evalúan la calcificación dental en el segundo molar mandibular, y al compararlo con el método de Hassel y Farman² encuentran que el estadio E en el método de Demirjian correspondía al estadio 2 del CVM (prepico de crecimiento puberal); los estadios F y G correspondían a los estadios 3 y 4 del CVM (pico de crecimiento puberal); y el estadio H estaba asociado con los estadios 5 y 6 del CVM (ha pasado el pico de crecimiento puberal).El estudio realizado por Lopes y col²¹⁵ en 2016, evalúan mediante el método de Demirjian¹⁹² los caninos, primer y segundo premolar y segundo molar mandibulares con el método de mano-muñeca de Grave y Brown⁹⁸. Como resultados obtienen que el segundo molar y el primer premolar son los mejores predictores femeninos, y el segundo molar, segundo premolar y canino los mejores en el caso masculino. En cuanto a los estadios de maduración en el pico de crecimiento, obtienen como resultados el estadio F y G del segundo molar y el estadio G y H para primeros premolares en niñas; y el estadio G del segundo molar y G y H para el segundo premolar en el caso de los niños. Hay otros estudios en la literatura, por ejemplo, el trabajo de Surendran y col²¹⁴, en el que no encuentra ningún estadio significativo en el pico de crecimiento, aunque sí para los estadios pre y post pico. Compara con la edad esquelética determinada por el método modificado de determinación en medial del tercer dedo (MP3)¹⁸⁰ en radiografías periapicales digitales. Como resultados obtuvieron que para el estadio E en los primeros premolares y la combinación del estadio F en canino, estadio E en primero premolar, estadio E en segundo premolar, y estadio D en segundo molar; tenían los valores más altos para la identificación del crecimiento prepuberal; y que el estadio H en el segundo molar tuvo el valor más alto para la identificación de la fase postpuberal.

Las diferencias que pueden darse entre nuestros resultados y los que aparecen en los diferentes trabajos anteriores pueden deberse fundamentalmente a las diferencias poblacionales. Así mismo, hay que tener en cuenta la metodología utilizada, aunque

todos coinciden en evaluar la edad dental con el método de Demirjian¹⁹², el método elegido para evaluar la edad esquelética es diferente en cada estudio, y esto puede dar lugar a ligeras diferencias en los resultados. Nosotros realizamos la evaluación de los dientes predictores de la edad esquelética por medio de cuatro métodos, dos de muñeca y dos de vértebras cervicales, para ver las posibles diferencias. Encontramos que todos coincidían en el mismo diente como predictor (segundo premolar en niños y segundo molar en niñas) y que algunos de ellos incluían algún diente más como predictor. Esta coincidencia en todos los métodos da más seguridad a nuestros resultados. Para determinar el estadio de mineralización elegimos el método de Fishman⁹⁷. Esta elección se realizó por dos motivos: por presentar la correlación más fuerte con el resto de los métodos de detección de edad esquelética, y por ser en ambos sexos el método que presentaba dos dientes como predictores de la madurez esquelética.

También hay que tener en cuenta las diferencias en los métodos estadísticos en la diferencia en los resultados, ya que en la mayoría de los estudios se realizan correlaciones o asociaciones. En nuestro estudio, realizamos una regresión logística multinomial ordinal^{215,256} para determinar la asociación entre mineralización dentaria y madurez esquelética al tener mayor valor estadístico. La regresión es multinomial y no binomial debido a que tiene más de dos variables (onset, peak y end) y ordinal puesto que son variables ordinales, no continuas. Este método estadístico nos permite a partir de un modelo saturado con todas las variables, quedarnos con un modelo más simple sólo con los valores significativos según el test de Wald. Este análisis nos permite realizar la identificación de qué dientes son predictores del pico de crecimiento según cada método de indentificación de la maduración esquelética.

Por todo ello, este trabajo de investigación es el primero hasta la fecha en realizar una exhaustiva correlación e interpretación de la maduración esquelética a través de los métodos radiográficos más frecuentemente empleados y globalmente aceptados desde un punto de vista de rigor científico. Adicionalmente este estudio permite establecer con nitidez un marco de comparación en población española con la aplicabilidad directa que esto tiene en la sub-población infantil potencial candidato a tratamiento con ortopedia dentofacial. Por todo ello y pese a las limitaciones inherentes a este y otros trabajos publicados podemos considerar los datos ofrecidos de una elevada utilidad, comparabilidad y extrapolación a la clínica diaria.

7. CONCLUSIONES

7. CONCLUSIONES

En base a los resultados descritos, concluimos que:

1. Existe una alta correlación, independientemente del género, entre los métodos de determinación de la edad esquelética en radiografía lateral de cráneo mediante análisis a nivel de las vértebras cervicales (*método de Hassel y Farman, método de Baccetti*), los métodos de determinación de la edad esquelética mediante mano-muñeca (*método de Fishman, método de Grave y Brown, método de Greulich y Pyle*) y el método de determinación de la edad dental (método de Demirjian), en población española.

2. Existe una alta correlación entre la edad cronológica y la edad esquelética y dental. La edad esquelética por el método de Greulich y Pyle sobrestima la edad cronológica [en niños +0,47 años con una correlación de 0,823 $p < 0,001$; en niñas +0,72 años con una correlación de 0,816 $p < 0,001$], y la edad dental subestima la edad cronológica [en niños -0,86 años, correlación de 0,672 $p < 0,001$; en niñas -0,62 años con una correlación de 0,775 $p < 0,001$].

3. El segundo premolar es el mejor predictor de crecimiento en los niños y el segundo molar en niñas. Los estadios de calcificación más frecuentes en los que se encuentran estos predictores para el pico de crecimiento, es el estadio G para el segundo premolar en niños, y el estadio F para el segundo molar en niñas.

4. Debido a que la maduración en vértebras cervicales tiene una fuerte correlación con el resto de métodos de determinación de la madurez esquelética, y que los estadios de mineralización dentaria pueden ser usados como herramientas para estimar el pico de crecimiento en adolescentes, es innecesario el uso de las radiografías de mano-muñeca para estimar la madurez esquelética, bastando el uso de telerradiografía lateral de cráneo (rutinaria en el diagnóstico ortodóncico) y/o la ortopantomografía (rutinaria en el diagnóstico ortodóncico y odontológico general).

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Meredith HV. Research studies on growth of the body and Face. *Am J Orthod.* 1959;45:110-24.
2. Hassel B, Farman AG. Skeletal maturation evaluation using cervical vertebrae. *Am J Orthod.* 1995;107:58-6.
3. Greulich WW, Pyle SI. Radiographic atlas of skeletal development of the hand-wrist. Stanford: Stanford University Pres;1959.
4. Tanner JM, Whitehouse RH, Marshall WA, Healy MJR, Goldstein H. Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height. TW 2 method. London: Academic Press;1975.
5. Sacmmon RE. The first Seriatim study of human growth. *Am J Phys Anthropol.* 1927;10:329-36.
6. Hellman M. Changes in the human face brought about by development. *Int J Orthod Oral Surg Radiogr.* 1927;13:475-516.
7. Hellman M. The face in its developmental career. *Dent Cosmos.* 1935;77:685-99, 777-87.
8. Johnston LE Jr. A comparative analysis of Class II treatments. In: McNamara JA Jr, Carlson D, Vig P, Ribbens K, editors. Science and clinical judgement in orthodontics. Monograph 18. Craniofacial Growth Series. Ann Arbor: Center for Human Growth and Development; University of Michigan; 1986.
9. Bishara SE, Jakobsen JR, Vorhies B, Bayati P. Changes in dentofacial structures in untreated Class II division 1 and normal subjects: a longitudinal study. *Angle Orthod.* 1997;67:55-66.
10. Johnston LE Jr. Growth and the Class II patient: rendering unto Caesar. *Semin Orthod.* 1998;4:59-62.
11. Björk A. Timing of interceptive orthodontic measures based on stages of maturation. *Trans Eur Orthod Soc.* 1972;48:61-74.
12. Grave KG. Physiological indicators in orthodontic diagnosis and treatment planning. *Aust Orthod J.* 1978;5:114-22.
13. Nanda RS. The rates of growth of several facial components measured from serial cephalometric roentgenograms. *Am J Orthod.* 1955;41:658-73.
14. Björk A. Variations in the growth pattern of the human mandible: longitudinal radiographic study by the implant method. *J Dent Res.* 1963;42:400-11.

15. Hunter CJ. The correlation of facial growth with body height and skeletal maturation at adolescence. *Angle Orthod.* 1966;36:44-54.
16. Salazar-Lazo R, Arriola-Guillén LE, Flores-Mir C. Duration of the peak of adolescent growth spurt in class I and II malocclusion subjects using a cervical vertebrae maturation analysis. *Acta Odontol Latinoam.* 2014;27:96-101.
17. Angle E. *Malocclusion of the teeth.* Philadelphia: The SS White Dental Manufacturing Company, 1907.
18. Arnett GW, Bergman RT. Facial keys to orthodontic diagnosis and treatment planning – Part 1. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1993;103:299-312.
19. Ricketts RM. A foundation for cephalometric communication. *Am J Orthod.* 1960;46:330-57.
20. Steiner CC. Cephalometrics in clinical practice. *Angle Orthod.* 1959;29:8-29.
21. Thomas P. Orthodontic Camouflage versus orthognathic surgery in the treatment of mandibular deficiency. *J oral Maxillofac Surg.* 1995;53:579-87.
22. Proffit WR, Field HW. Malocclusion and dentofacial deformity in contemporary society. En: *Contemporary Orthodontics.* St Louis, MO: Mosby; 1993, p.7-8.
23. Proffit WR, Fields HW, Moray LJ. Prevalence of malocclusion and orthodontic treatment need in the United States: estimates from the NHANES-III survey. *Int J Adult Orthod Orthognath Surg.* 1998;13:97-106.
24. McNamara Jr JA. Components of Class II malocclusions in children 8-10 years of age. *Angle Orthod.* 1981;51:177-202.
25. Lundstrom A. *Tooth size and occlusion in twins.* Stockholm: A.B Fahlcrantz; 1948.
26. Moss ML. The functional matrix hypothesis revisited – the genomic thesis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1997;112:338- 42.
27. Klein PL. Evaluation of cervical traction on the maxilla and upper first molar. *Angle Orthod.* 1957;27:61-8.
28. Moore AW. Orthodontic treatment factors in Class II malocclusion. *Am J Orthod.* 1959;45:323-52.
29. Woods MG. Overbite correction and sagittal changes: late mixed dentition treatment effects. *Aust Orthod J.* 2001;17:69-80.
30. Woods MG. The use of a simple functional appliance as an adjunct to fixed appliance orthodontic treatment. *Aust J Dent.* 1996;41:221-34.

31. Shell T, Woods MG. Perception of facial esthetics: a comparison of similar Class II cases treated with attempted growth modification or later orthognathic surgery. *Angle Orthod.* 2003;73:365-73.
32. Baker BW, Woods MG. The role of the divine proportion in the esthetic improvement of patients undergoing combined orthodontic/orthognathic surgical treatment. *Int J Adult Orthod Orthognath Surg.*2001;16:108-20.
33. Barbosa LAG, Araujo E, Behrents RG, Buschang PH. Longitudinal cephalometric growth of untreated subjects with Class II Division 2 malocclusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2017;151:914-20.
34. Xiang M, Hu B, Liu Y, Sun J, Song J. Changes in airway dimensions following functional appliances in growing patients with skeletal class II malocclusion: A systematic review and meta-analysis. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol.* 2017;97:170-80.
35. Rego MV, Martinez EF, Coelho RM, Leal LM, Thiesen G. Perception of changes in soft-tissue profile after Herbst appliance treatment of Class II Divion 1 malocclusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2017;151:559-64.
36. Aras I, Pasaoglu A, Olmez S, Unal I, Tuncer AV, Aras A. Comparison of stepwise vs single-step advancement with the Functional Mandibular Advancer in Class II division 1 treatment. *Angle Orthod* 2017;87:82-7.
37. Santamaría-Villegas A, Manrique-Hernandez R, Alvarez-Varela E, Restrepo-Serna C. Effect of removable functional appliances on mandibular length in patients with class II with retrognathism: systematic review and meta-analysis. *BMC Oral Health.* 2017;17:52.
38. Uysal T, Ramoglu SI, Basciftci FA, Sari Z. Chronologic age and skeletal maturation of the cervical vertebrae and han-wrist: is there a relationship?.*Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006;130:622-8.
39. Bacetti T, Franchi L, McNamara JA Jr. An improved version of the cervical vertebral maturation (CVM) method for the assessment of mandibular growth. *Angle Orthod.* 2002;72:316-23.
40. Rabie ABM, Chayanupatkul A, Hägg U. Stepwise adevancement using fixed funtional appliances: experimental perspective. *Semin Orthod.* 2003;9:41-6.
41. Ruf S, Pancherz H. Long-term effects of Herbst treatment: a clinical and MRI study. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 1998;114:475-8.

42. Ruf S, Pancherz H. When is the ideal period for Herbst therapy- early or late?. *Semin Orthod.* 2003;9:47-56.
43. Fishman LS. Radiographic evaluation of skeletal maturation, a clinically oriented method base on hand-wrist films. *Angle Orthod.*1982;52:88-112.
44. Hägg U, Taranger J. Skeletal stages of the hand and wrist as indicators of the pubertal growth spurt. *Acta Odontol Scand.* 1980;38:187-200.
45. Candir M, Kerosuo H. Mode of correction is related to treatment timing in Class II patients treated with the mandibular advancement locking unit (MALU) appliance. *Angle Orthod.* 2017;83:363-70.
46. Hägg U, Pancherz H. Dentofacial orthopaedics in relation to chronological age, growth period and skeletal development: an analysis of 72 male patients with Class II Division 1 malocclusion treated with the Herbst appliance. *Eur J Orthod.* 1988;10:169-76.
47. Franchi L, Pavoni C, Faltin K Jr, McNamara JA Jr, Cozza P. Long-term skeletal and dental effects and treatment timing for functional appliances in Class II malocclusion. *Angle Orthod.* 2013;83:334-40.
48. Faltin K, Faltin RM, Baccetti T, Franchi L, Ghiozzi B, McNamara JA Jr. Long-term effectiveness and treatment timing for bionator therapy. *Angle Orthod.* 2003;73:221-30.
49. Baccetti T, Franchi L, McNamara JA Jr. The cervical vertebral maturation (CVM) method for the assessment of optimal treatment timing in dentofacial orthopedics. *Semin Orthod.* 2005;11:119-29.
50. Cozza P, Baccetti T, Franchi L, De Toffol L, McNamara JA Jr. Mandibular changes produced by functional appliances in Class II malocclusion: a systematic review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006;129:599.e1-12.
51. Frye L, Diedrich PR, Kinzinger GS. Class II treatment with fixed functional orthodontic appliances before and after the pubertal growth peak – a cephalometric study to evaluate differential therapeutic. *J Orofac Orthop.* 2009;70:511–27.
52. Baccetti T, Franchi L, Kim LH. Effect of timing on the outcomes of 1-phase nonextraction therapy of class II malocclusion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009;136:501-9.

53. Weaver N, Glover K, Major P. Age limitation on provision of orthopedic therapy and orthognathic surgery. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1998;113:156-64.
54. Ruf S, Pancherz H. Temporomandibular joint remodeling in adolescents and young adults during Herbst treatment: a prospective longitudinal magnetic resonance imaging and cephalometric radiographic investigation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1999;155:607-18.
55. Chhibber A, Upadhyay M, Uribe F, Nanda R. Mechanism of class II correction in prepubertal and postbupertal patients with twin force bite corrector. *Angle Orthod.* 2013;83:718-27.
56. Baccetti T, McGill JS, Franchi L. Skeletal effects of early treatment of Class III malocclusion with maxillary expansion and face-mask therapy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1998;113:333-43.
57. Franchi L, Baccetti T, McNamara JA Jr. Shape-coordinate analysis induced by rapid maxillary expansion and facial mask therapy. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1998;114:418-26.
58. Franchi L, Baccetti T, McNamara JA Jr. Post-pubertal assessment of treatment timing for maxillary expansion and protraction therapy followed by fixed appliances. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2004;126:555-68.
59. Melsen B, Melsen F. The postnatal development of the palatomaxillary region studied on human autopsy material. *Am J Orthod.* 1982;82:329-42.
60. Kokich VG. Maxillary lateral incisor implants: planning with the aid of orthodontics. *J Oral Maxillofac Surg.* 2004;62:48-56.
61. Parent AS, Telimann G, Juul A, Skakkebaek NE, Toppari J, Bourguignon JP. The timing of normal puberty and the age limits of sexual precocity: variations around the world, secular trends, and changes after migration. *Endocr Rev.* 2003;24:668-93.
62. Delemarre-Van de Waal HA. Secular trend of timing of puberty. *Endocr Dev.* 2005;8:1-14.
63. Tanner JM. *Growth at adolescence.* Oxford: Blackwell Scientific Publications; 1962.
64. Flory C. Osseous development in the hand as an index of skeletal development. *Monogr Soc Res Child Dev.* 1936;1:141.

65. Buehl C, Pyle I. The use of age at first appearance of three ossification centers in determining the skeletal status of children. *J Pediatr.* 1942;21:335-42.
66. Garn S, Rohmann C. The adductor sesamoid of the thumb. *Am J phys Anthrop.* 1962; 20:297-302.
67. Deming J. Application of the Gompertz curve to the observed pattern of growth in length of 48 individual boys and girls during the adolescent cycle of growth. *Hum Biol.* 1957;29:83-122.
68. Hewitt D, Acheson R. Some aspects of skeletal development through adolescence II. The inter-relationship between skeletal maturation and growth at puberty. *Am J Phys Anthrop.* 1961;19:222-44.
69. Björk A, Helm S. Prediction of the age of maximum puberal growth in body height. *Angle Orthod.* 1967;37:134-43.
70. Marshall W, Tanner J. Variations in the pattern of puberal changes in boys. *Arch Dis Child.* 1970;45:13-23.
71. Frisch R, Nagel S. Prediction of Adult height of girls from age of menarche and height at menarche. *J Pediatr.* 1974;85:838-41.
72. Bayley N, Pinneau S. Tables for predicting adult height from skeletal age: revised for use with Greulich-Pyle hand standards. *J Pediatr.* 1952;40:23-41.
73. Onat T, Numan-Cebeci E. Sesamoid bones of the hand: relationships to growth skeletal and sexual development in girls. *Hum Biol.* 1976;48:659-76.
74. Post E, Richmann R. A condensed table for predicting adult stature. *J Pediatr.* 1981;98:440-2.
75. Hägg U, Taranger J. Maturation indicators and the pubertal growth spurt. *Am J Orthod.* 1982; 82:299-309.
76. Tanner J. Developmental age, and the problems of early and late maturers. In: *Foetus into man. Physical Growth from Conception to Maturity.* Tanner, J. Ed. Harvard, University Press Cambridge, Massachusetts; 1978. p. 79-86.
77. Frisch R, Revelle R. The height and weight of girls and boys at the time of initiation of the adolescent growth spurt in height and weight and the relationship to menarche. *Hum Biol.* 1971; 43:140-59.
78. Billewicz WZ, McGregor IA. Eruption of permanent teeth in West African (Gambian) children in relation to age, sex and physique. *Ann Hum Biol.* 1975;2:17-28.

79. Grave KC. Timing of facial growth: a study of relations with stature and ossification in the hand around puberty. *Aust Orthod J.* 1973;3:117-22.
80. Tanner JM, Whitehouse RH, Marubini E, Resele LF. The adolescent growth spurt of boys and girls of the Harpenden growth study. *Ann Hum Biol.* 1976;3:109-26.
81. Gasser T, Muller HG, Kohler W, Prader A, Largo R, Molinari L. Analysis of the mid-growth and adolescent spurts of height based on acceleration. *Ann Hum Biol.* 1985;12:129-48.
82. Mellion Z, Behrents R, Johnston L. The pattern of facial skeletal growth and its relationship to various common indexes of maturation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013;143:845-54.
83. Bowden BD. Epiphysial changes in the hand/wrist area as indicators of adolescent stage. *Aust Orthod J.* 1976;4:87-104.
84. Bambha JK. Longitudinal cephalometric roentgenographic study of face and cranium in relation to body height. *J Am Dent Assoc.* 1961;63:776-99.
85. Patcas R, Herzog G, Peltomäki T, Markic G. New perspectives on the relationship between mandibular and statural growth. *Eur J Orthod.* 2016;38:13-21.
86. Cole TJ. A method for assessing age-standardized weight-for-height in children seen cross-sectionally. *Ann Hum Biol.* 1979;6:249-68.
87. Maffeis C, Pietrobelli A, Grezzani A, Provera S, Tato L. Waist circumference and cardiovascular risk factors in prepubertal children. *Obes Res.* 2001;9:179-87.
88. Ohrn K, Al-Kahlili B, Huggare J, Forsberg CM, Marcus C, Dahllof G. Craniofacial morphology in obese adolescents. *Acta Odontol Scand.* 2002;60:193-7.
89. Hilgers KK, Kinane DE, Scheetz JP. Association between childhood obesity and smooth-surface caries in posterior teeth: a preliminary study. *Pediatr Dent.* 2006;28:23-8.
90. Hilgers KK, Akridge M, Scheetz JP, Kinane DE. Childhood obesity and dental development. *Pediatr Dent.* 2006;28:18-22.
91. Mack KB, Phillips C, Jain N, Koroluk LD. Relationship between body mass index percentile and skeletal maturation and dental development in orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013;143:228-34.

92. Huang JS, Becerra K, Walker E, Hovell MF. Childhood overweight and orthodontists: results of a survey. *J Public Health Dent.* 2006;66:292-4.
93. Ball G, Woodside D, Tompson B, Hunter WS, Posluns J. Relationship between cervical vertebral maturation and mandibular growth. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011;139:455-61.
94. Fishman LS. Chronological versus skeletal age, an evaluation of craniofacial growth. *Angle Orthod.* 1979;49:181-89.
95. Alkhal HA, Wong RWK, Rabie ABM. Correlation between chronological age, cervical vertebral maturation and Fishman's skeletal maturity indicators in southern Chinese. *Angle Orthod.* 2008;78:591-96.
96. Sierra AM. Assessment of dental and skeletal maturity. A new approach. *Angle Orthod.* 1987;57:194-8.
97. Fishman LJ. Maturation patterns and predictions during adolescence. *Angle Orthod.* 1987; 57:178-93.
98. Grave KC, Brown T. Skeletal ossification and the adolescent growth spurt. *Am J Orthod.* 1976;69:611-9.
99. Suri S, Prasad C, Tompson B, Lou W. Longitudinal comparison of skeletal age determined by the Greulich and Pyle method and chronologic age in normally growing children, and clinical interpretations for orthodontics. *Am J Orthod. Dentofacial Orthop.* 2013;143:50-60.
100. San Román P, Palma JC, Oteo MD, Nevado E. Skeletal maturation determined by cervical vertebrae development. *Eur J Orthod.* 2002; 24:303-11.
101. Smith DW. *Growth and Its Disorders.* Saunders: Philadelphia, p6; 1977.
102. Froesch ER, Hussain MA, Schmid C, Zapf J. Insulin-like growth factor I: physiology, metabolic effects and clinical uses. *Diabetes Metab Rev.* 1996;12:195-215.
103. Juul A. Serum levels of insulin-like growth factor I and its binding proteins in health and disease. *Growth Horm IGF Res.* 2003;13:113-70.
104. Hintz RL, Liu F. A radioimmunoassay for insulin-like growth factor II specific for the C-peptide region. *J Clin Endocrinol Metab.* 1982;54:442-6.
105. Kemp SF, Rosenfeld RG, Liu F, Gaspich S, Hintz RL. Acute somatomedin response to growth hormone: radioreceptor assay versus radioimmunoassay. *J Clin Endocrinol Metab.* 1981;52:616-21.

106. Salmon WD Jr, Daughaday WH. A hormonally controlled serum factor which stimulated sulfate incorporation by cartilage in vitro. *J Lab Clin Med.* 1957;49:825-36.
107. Yakar S, Liu JL, Le Roith D. Growth hormone/insulin-like growth factor-1 system: implication for organ growth and development. *Pediatr Nephrol.* 2000;14:544-9.
108. Bala M, Lopatka J, Leung A, McCoy E, McArthur RG. Serum immunoreactive somatomedin levels in normal adults, pregnant women at term, children at various ages, and children with constitutionally delayed growth. *J Clin Endocrinol Metab.* 1981;52:508-12.
109. Furlanetto RW, Underwood LE, Van Wyk JJ, D'Ercole AJ. Estimation of somatomedin-C levels in normals and patients with pituitary disease by radioimmunoassay. *J Clin Invest.* 1977;60:648-57.
110. Luna AM, Wilson DM, Wibbelsman CJ, Brown RC, Nagashima RJ, Hintz RL, Rosenfeld RG. Somatomedins in adolescence: a cross-sectional study of the effect of puberty on plasma insulinlike growth factor I and II levels. *J Clin Endocrinol Metab.* 1983;57:268-71.
111. Juul A, Ryvberg A, Frystyk J, Muller J, Shakkebaek NE. Serum concentrations of free and total insulin-like growth factor-I, IGF binding protein-1 and -3 and IGFBP-3 protease activity in boys with normal or precocious puberty. *Clin Endocrinol.* 1996;44:515-23.
112. Masoud M, Masoud I, Kent RL Jr, Gowharji N, Cohen LE. Assessing skeletal maturity by using blood spot insulin-like growth factor I (IGF-I) testing. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008;134:209-16.
113. Juul A, Bang P, Hertel NT, Main K, Dalgaard P, Jergansen K, et al. Serum insulin-like growth factor-I in 1030 healthy children, adolescents, and adults: relation to age, sex, stage of puberty, testicular size, and body mass index. *J Clin Endocrinol Metab.* 1994;78:744-52.
114. Hussain MZ, Talapaneni AK, Prasad M, Krishnan R. Serum PTHrP level as a biomarker in assessing skeletal maturation during circumpubertal development. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013;143:515-21.
115. Daughaday WH, Mariz IK, Blethen SL. Inhibition of access of bound somatomedin to membrane receptor and immunobinding sites: a comparison of

- radioreceptor and radioimmunoassay of somatomedin in native and acid-ethanol extracted serum. *J Clin Endocrinol Metab.* 1980;51:781-8.
116. Ishaq RA, Soliman SA, Foda MY, Fayed MM. Insulin-like growth factor 1: a biologic maturation indicator. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2012;142:654-61.
117. Nayak S, Bhad Patil WA, Doshi UH. The relationship between salivary insulin-like growth factor I and quantitative cervical maturational stages of skeletal maturity. *J Orthod.* 2014;41:170-4.
118. Kronenberg HM. Developmental regulation of the growth plate. *Nature.* 2003;423:332-6.
119. Rabie AB, Hägg U. Factors regulating mandibular condylar growth. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2002;122:401-9.
120. Kindblom JM, Nilsson O, Hurme T, Ohlsson C, Savendahl L. Expression and localization of Indian hedgehog (Ihh) and parathyroid hormone related protein (PTHrP) in the human growth plate during pubertal development. *J Endocrinol.* 2002;174:1-6.
121. Rabie ABM, Tang GH, Xiong H, Hägg U. PTHrP regulates chondrocyte maturation in condylar cartilage. *J Dent Res.* 2003;82:627-31.
122. Lamparski DG. Skeletal age assessment utilizing cervical vertebrae. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1975;67:458-459.
123. O'Reilly MT, Yanniello GJ. Mandibular growth changes and maturation of cervical vertebrae - A longitudinal cephalometric study. *Angle Orthod.* 1988;58:179-84.
124. Bick EM, Copel JW. Longitudinal growth of the human vertebra. *J Bone Joint Surg.* 1950;32:803-14.
125. Gooding CA, Neuhauser EB. Growth and development of the vertebral body in the presence of and absence of normal stress. *Am J Roentgenol.* 1965;93:388-97.
126. Knutsson F. Growth and differentiation of the postnatal vertebrae. *Acta Radiol.* 1961;55:401-5.
127. Bradford DS. *Moe's text of scoliosis and other spinal deformities.* 2nd ed. Philadelphia: WB Saunders; 1987.
128. Cave AJ. On fusion of the atlas and axis vertebrae. *J Anat.* 1930;64:337-43.

129. Southwick WO, Keggy K. The normal cervical spine. *J Bone Joint Surg.* 1964; 46:1767-77.
130. Cattell H, Filtzer D. Pseudoluxation and other normal variations in the cervical spine in children. *J Bone Joint Surg.* 1965;47:1295-309.
131. Hirsch C, Schajowicz F, Galante J. Structural Changes in the cervical Spine. *Acta Orthop Scand.* 1967;109:7-77.
132. Bench R. Growth of the cervical vertebrae as related tongue, face and the venture behavior. *Am J Orthod.* 1963;3:183-214.
133. Hellsing E. Cervical vertebral dimensions in 8-, 11-, and 15- year-old children. *Acta Odontol Scand.* 1991;49:207-13.
134. Lanier R. Presacral vertebrae of white and black males. *Am J Phys Anthropol.* 1939; 25:341-417.
135. Mitani H, Sato K. Comparison of mandibular growth with other variables during puberty. *Angle Orthod.* 1992;62:217-22.
136. Sato K A. Study of growth timing of mandibular length, body height, hand bones and cervical vertebrae during puberty. *Nippon Kyosei Chika Gakkai zasshy.* 1987;46:517-33.
137. Franchi L, Bacetti T, McNamara JÁ. Mandíbula growth as related to cervical vertebral maturation and body height. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.*2000;118:335-40.
138. Bridges PS. Vertebral arthritis and physical activities in the prehistoric southeastern United States. *AJPA.* 1994;93:83-93.
139. Baccetti T, Franchi L, Cameron CG, McNamara JA. Treatment timing for rapid maxillary expansion. *Angle Orthod.* 2001;71:343-50.
140. Gu Y, McNamara JA. Mandibular Growth changes and cervical vertebral maturation. *Angle Orthodontist.* 2007;77:947-53.
141. Perinetti G, Contardo L, Castaldo A, McNamara JA Jr, Franchi L. Diagnosis reliability of the cervical vertebral maturation method and standing height in the identification of the mandibular growth spurt. *Angle Orthod.* 2016;86:599-609.
142. Engel TP, Renkema AM, Katsaros C, Pazera P, Pandis N, Fudalej PS. The cervical vertebrae maturation (CVM) method cannot predict craniofacial growth in girls with clase II malocclusion. *Eur J Orhtod.*2016;38:17-7.
143. Chen F, Terada K, Hanada K. A new method of predicting mandibular length incremento n the basis of cervical vertebrae. *Angle Orthod.* 2004;74:630-24.

144. Sato K, Mito T, Mitani H. An accurate method of predicting mandibular growth potential based on the bone maturity. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.*2001;120:286–93.
145. Gray S, Bennahi H, Kieser JA, Farella M. Morphometric analysis of cervical vertebrae in relation to mandibular growth. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2016;149:92-8.
146. Baptista RS, Quaglio CL, Mourad LM, Hummel AD, Caetano CA, Ortolani CL, et al. A semi-automated method for bone age assessment using cervical vertebral maturation. *Angle Orthod.*2012;82:658-62.
147. Gabriel D, Southar K, Qian F, Marshall S, Franciscus R, Southard E. Cervical vertebrae maturation method: poor reproducibility. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009;136:478.e1-7.
148. Nestman T, Marshall SD, Qian F, Holton N, Franciscus RG, Southard TE. Cervical vertebrae maturation method morphologic criteria: poor reproducibility. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2001;140:182-8.
149. Zhao XG, Lin J, Jiang JH, Wang Q, Ng SH. Validity and reliability of a method for assessment of cervical vertebral maturation. *Angle Orthod.* 2012;82:229-34.
150. Sohrabi A, Babay Ahari S, Moslemzadeh H, Rafighi A, Aghzadeh Z. The reliability of clinical decisions based on cervical vertebrae maturation staging method. *Eur J Orthod.* 2016;38:8-12.
151. Joshi V, Yamaguchi T, Matsuda Y, Kaneko N, Maki K, Okano T. Skeletal maturity assessment with the use of cone-beam computerized tomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2012;113:841-9.
152. Bonfim MA, Costa AL, Fuziy A, Ximenez ME, Cotrim-Ferreira FA, Ferreira-Santos RI. Cervical vertebrae maturation index estimates on cone beam CT: reconstructions vs sagittal sections. *Dentomaxillofac Radiol.* 2016;45:20150162.
153. Shim JJ, Heo G, Lagravère MO. Assessment of skeletal maturation based on cervical vertebrae in CBCT. *Int Orthod.* 2012;10:351-62.
154. Santiago RC, de Miranda Costa LF, Vitral RW, Fraga MR, Bolognese AM, Maia LC. Cervical vertebral maturation as a biologic indicator of skeletal maturity. *Angle Orthod.*2012;82:1123-31.
155. Cericato GO, Bittencourt MA, Paranhos LR. Validity of the assessment method of skeletal maturation by cervical vertebrae: a systematic review and meta-analysis. *Dentomaxillofac Radiol.*2015;44:20140270.

156. Santiago RC, Cunha AR, Júnior GC, Fernandes N, Campos MJS, Costa LFM, et al. New software for cervical vertebral geometry assessment and its relationship to skeletal maturation- a pilot study. *Dentomaxillofac Radiol.* 2014;43:20130238.
157. Gandini P, Mancini M, Andreani F. A comparison of hand-wrist bone and cervical vertebral analyses in measuring skeletal maturation. *Angle Orthod.* 2006;76:984-9.
158. Pryor JW. The hereditary nature of variation in the ossification of bones. *Anat Rec.* 1907;1:84-8.
159. Rotch TM. Chronologic and anatomic age in early life. *J Am Med Assoc.* 1908;51:1197-203.
160. Crampton CW. Anatomic or physical age versus chronological age. *Pediatr Sem.* 1908;15:230-7.
161. Todd TW. Atlas of skeletal maturation. 1st ed. St. Louis: The CV Mosby Company; 1937.
162. Driezen S, Snodgrass RM, Webbpeploe H, Parker G, Spits TD. Bilateral symmetry of skeletal maturation in the human hand-wrist. *Am J Dis Child.* 1957;93:122-7.
163. Safer AN, Homel P, Chung DD. Lateral comparisons using Fishman's skeletal maturation assessment. *Angle Orthod.* 2015;85:408-12.
164. Gam SM, Rohman CC. Variability in the order of ossification of the bony centers of the hand-wrist. *Am J Phys Anthropol.* 1960;18:219-30.
165. Leite HR, O'Reilly MT, Close J. Skeletal age assessment using the first, second, and third fingers of the hand. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 1987;92:492-8.
166. Flores-Mir C, Nebbe B, Major PW. Use of skeletal maturation based on hand-wrist radiographic analysis as a predictor of facial growth: a systematic review. *Angle Orthod.* 2004;74:118-24.
167. Hellman M. Ossification of epiphysial cartilage in the hand. *Amer J Phys Anthropol.* 1928;11:223-57.
168. Moss ML, Noback CR. A longitudinal study of digital epiphyseal fusion in adolescence. *Anat Rec.* 1958;131:19-32.
169. Verma D, Petomäki T, Jäger A. Reliability of growth prediction with hand-wrist radiographs. *Eur J Orthod.* 2009;31:438-42.

170. Mansourvar M, Ismail MA, Raj RG, Kareem SA, Aik S, Gunalan R, et al. The applicability of Greulich and Pyle atlas to assess skeletal age for four ethnic groups. *J Forensic Leg Med.* 2014;22:26-9.
171. Ontell F, Ivanovic M, Ablin DS, Barlow TW. Bone age in children of diverse ethnicity. *Am J Roentgenol.* 1996;167:1395-8.
172. Levine E. Contribution of the carpal bones and epiphyseal centres of the hand to the assessment of skeletal maturity. *Hum Biol.* 1972;44:317-27.
173. Acheson RM, Vicinus JH, Fowler GB. Studies in the reliability of assessing skeletal maturity from x-rays. Part III. Greulich- Pyle atlas and Tanner-Whitehouse method contrasted. *Hum Biol.* 1966;38:204-18.
174. Ruf S, Pancherz H. Development of the frontal sinus in relation to somatic and skeletal maturity. A cephalometric roentgenographic study at puberty. *Eur J Orthod.* 1996;18:491-49.
175. Meredith HV. Childhood interrelations of anatomic growth rates. *Growth.* 1962;26:23-39.
176. Sato K, Mitani H. Evaluation of bone maturation with a computer. *Clin Pediatr Endocrinol.* 1999;8:13-6.
177. Thodberg HH, Kreiborg S, Juul A, Pedersen KD. The BoneXpert method for automated determination of skeletal maturity. *IEEE Trans Med Imaging.* 2009;28:52-66.
178. Thodberg HH, van Rijn RR; Jenni OG, Martin DD. Automated determination of bone age from hand X-rays at the end of puberty and its applicability for age estimation. *Int J Legal Med.* 2017;131:771-780.
179. Chapman SM. Ossification of the adductor sesamoid and the adolescent growth spurt. *Angle Orthod.* 1972;42:236-44.
180. Rajagopal R, Kansal S. A comparison of modified MP3 stages and the cervical vertebrae as growth indicator. *J Clin Orthod.* 2002;36:398-406.
181. Özer T, Kama JD, Özer SY. A practical method for determining pubertal growth spurt. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006;130:131.e1-6.
182. Pasciuti E, Franchi L, Baccetti T, Milani S, Farronato G. Comparison of three methods to assess individual skeletal maturity. *J Orofac Orthop.* 2013;74:397-408.

183. Kumar S, Singla A, Sharma R, Viridi MS, Anupam A, Mittal B. Skeletal maturation evaluation using mandibular second molar calcification stages. *Angle Orthod.* 2012;82:501-6.
184. Chertkow S. Tooth mineralization as an indication of the pubertal growth spurt. *Am J Orthod.* 1980;77:79–91.
185. Anderson DL, Thompson GW, Popovich F. Interrelationships of dental maturity, skeletal maturity, height and weight from age 4 to 14 years. *Growth.* 1975;39:453–62.
186. Coutinho S, Buschang PH, Miranda F. Relationship between mandibular canine calcification stages and skeletal maturity. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1993;104:262–68.
187. Engström C, Engström H, Sagne S. Lower third molar development in relation to skeletal maturity and chronological age. *Angle Orthod.* 1983;53:97–106.
188. Garn SM, Lewis AB, Bonne B. Third molar formation and its developmental course. *Angle Orthod* 1962; 44:270–76.
189. Willershausen H, Löffler N, Schulze R. Analysis of 1202 orthopantograms to evaluate the potential of forensic age determination based on third molar development stages. *Eur J Med Res.* 2001;6:377-84.
190. Nolla CM. The development of the permanent teeth. *J Dent Child.* 1960;27:254–63.
191. Moorrees CF, Fanning EA, Hunt EE Jr. Age variation of formation stages for ten permanent teeth. *J Dent Res.* 1963;42:1490-502.
192. Demirjian A, Goldstein H, Tanner JM. A new system of dental age assessment. *Human Biol.* 1973;45:211–27.
193. Demirjian A, Levesque G. Sexual differences in dental development and prediction of emergence. *J Dent Res.* 1980;59:1110-22.
194. Hagg U, Matsson L. Dental maturity as an indicator of chronological age: the accuracy and precision of three methods. *Eur J Orthod.* 1985;7:25-34.
195. Mörnstad H, Reventlid M, Tevens A. The validity of four methods for age determination in Swedish children: a multicentre study. *Swedish Dent J.* 1995;19:121-30.
196. Alqahtani SJ, Hector MP, Liversidge HM. Accuracy of dental age estimation charts: Schour and Massler, Ubelaker and the London Atlas. *Am J Phys Anthropol.* 2014;154:70-8.

197. Schour L, Massler M. The development of the human dentition. *J Am Dent Assoc.* 1941;28:1153–60.
198. Ubelaker DH. 1978. *Human skeletal remains: excavation, analysis, interpretation.* Chicago: Aldine Publishing Co. Inc; 1978.
199. Blenkin M, Taylor J. Age estimation charts for a modern Australian population. *Forensic Sci Int.* 2012;55:1504–8.
200. www.atlas.dentistry.qmul.ac.uk
201. Başaran G, Ozer T, Hamamci N. Cervical vertebral and dental maturity in Turkish subjects. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007;131:447.e13-20.
202. Filipson R. A new method for assessment of dental maturity using the individual curve of number of erupted permanent teeth. *Ann Hum Biol.* 1975;2:13-24.
203. Wieslander L. Early or late cervical traction therapy of Class II malocclusion in the mixed dentition. *Am J Orthod.* 1975;67:432-9.
204. Tassi NG, Franchi L, Baccetti T, Barbato E. Diagnostic performance study on the relationship between the exfoliation of the deciduous second molars and the pubertal growth spurt. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007;131:769-71.
205. Franchi L, Baccetti T, De Toffol L, Polimeni A, Cozza P. Phases of the dentition for the assessment of skeletal maturity: a diagnostic performance study. *Am J Dentofacial Orthop.* 2008;133:395-400.
206. Mappes MS, Harris EF, Behrents RG. An example of regional variation in the tempos of tooth mineralization and hand-wrist ossification. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1992;101:145-51.
207. Nystrom M, Haataja J, Kataja M, Evalarhi M, Peck L, Kleemola-Kujala E. Dental maturity in Finnish children. Estimated from the development of seven permanent mandibular teeth. *Acta Odontol Scand.* 1986;44:193-98.
208. Davis PJ, Hagg U. The accuracy and precision of the Demirjian system when used for age determination in Chinese children. *Swed Dent J.* 1994;18:113-6.
209. Prieto JL, Barbería E, Ortega R, Magaña C. Evaluation of chronological age based on third molar development in the Spanish population. *Int J Legal Med.* 2005;119:349-54.
210. Olze A, Solheim T, Schulz R, Kupfer M, Pfeiffer H, Schmeling A. Assessment of the radiographic visibility of the periodontal ligament in the lower third molars for the purpose of forensic age estimation in living individuals. *Int J Legal Med.* 2010;124:445-8.

211. Lajolo C, Giuliani M, Cordaro M, Marigo L, Marcelli A, Fiorillo F, et al. Two new oro-cervical radiographic indexes for chronological age estimation: a pilot study on an Italian population. *J Forensic Leg Med.* 2013;20:861-6.
212. Krailassiri S, Anuwongnukro N, Dechkunakorn S. Relationship between dental calcification stages and skeletal maturity indicators in Thai individuals. *Angle Orthod.* 2002;72:155–66.
213. Uysal T, Sari Z, Ramoglu SI, Basciftci FA. Relationships between dental and skeletal maturity in Turkish subjects. *Angle Orthod.* 2004;74:657–64.
214. Surendran S, Thomas E. Tooth mineralization stages as a diagnostic tool for assessment of skeletal maturity. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2014;145:7-14.
215. Lopes LJ, de Oliveira Gamba T, Visconti MA, Ambrosano GM, Haiter-Neto F, Freitas DQ. Utility of panoramic radiography for identification of the pubertal growth period. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2016;149:509-15.
216. Ambarkova V, Galić I, Vodanović M, Biočina-Lukenda D, Brkić H. Dental age estimation using Demirjian and Willems methods: cross sectional study on children from the former Yugoslav Republic of Macedonia. *Forensic Sci Int.* 2014; 234:187.e1-7.
217. Khorate MM, Dinkar AD, Ahmed J. Accuracy of age estimation methods from orthopantomograph in forensic odontology: a comparative study. *Forensic Sci Int.* 2014;234:184.e.1-8.
218. O'Halloran RL, Lundy MD, Lundy JK. Age and ossification of the hyoid bone: forensic implications. *J Forensic Sci.* 1987;32:1655-9.
219. Shimizu Y, Kanetaba H, Kim YH, Okayama K, Kano M, Kikuchi M. Age-related morphological changes in the human hyoid bone. *Cells Tissues Organs.* 2005;180:185-92.
220. Tallgren A, Solow B. Long-term changes in hyoid bone position and craniocervical posture in complete denture wearers. *Acta Odontol Scand.* 1984;42:257–67.
221. Stepovich M. A cephalometric positional study of the hyoid bone. *Am J Orthod.* 1965;51:882–900.
222. Reesink EM, Van Immerseel AAH, Brand R, Bruintjes TJD. Sexual dimorphism of the hyoid bone?. *Int J Osteoarchaeol.* 1999;9:957-60.

223. Gupta A, Kohli A, Aggarwal NK, Banerjee KK. Study of age of fusion of hyoid bone. *Legal Med (Tokyo)*. 2008;10:253-6.
224. Shim J, Heo G, Lagravère MO. Correlation between three-dimensional morphological changes of the hyoid bone with other skeletal maturation methods in adolescents. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*. 2013;116:511-17.
225. Harris AM, Wood RE, Nortje CJ, Thomas CJ. Gender and ethnic differences of the radiographic image of the frontal region. *J Forensic Odontostomatol*. 1987;5:51-7.
226. Brown WAB, Molleson TI, Chinn S. Enlargement of the frontal sinus. *Ann Hum Biol*. 1984;11:221-6.
227. Sharer WG, Hine MK, Levy BM. *A textbook of oral pathology*. 3rd ed. Philadelphia: WB Saunders; 1974:606-7.
228. Rossouw PE, Lombard CJ, Harris AMP. The frontal sinus and mandibular growth prediction. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 1991;100:542-6.
229. Ricketts RM. A principal of parcial growth of the mandible. *Angle Orthod*. 1972;42:368-86.
230. Ruf S, Pancherz H. Frontal sinus development as an indicator for somatic maturity at puberty. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 1996;110:476-82.
231. Patil AA, Revankar AV. Reliability of the frontal sinus index as a maturity indicator. *Indian J Dent Res*. 2013;24:523.
232. Singh S, Sandhu N, Puri T, Gulati R, Kashyap R. A study of correlation of various growth indicators with chronological age. *Int J Clin Pediatr Dent*. 2015;8:190-5.
233. Mentzel H-J, Vilser C, Eulenstein M, Schwartz T, Vogt S, Bottcher J, Yaniv et al. Assessment of skeletal age at the wrist in children with a new ultrasound device. *Pediatr Radiol*. 2005;35:429–33.
234. Shimura N, Koyama S, Arisaka O, Imataka M, Sato K, Matsuura M. Assessment of Measurement of Children's Bone Age Ultrasonically with Sunlight BonAge. *Clinical Pediatric Endocrinology*. 2005;14:24.
235. Utczas K, Muzsnai A, Cameron N, Zsakai A, Bodzsar EB. A comparison of skeletal maturity assessed by radiological and ultrasonic methods. *Am J Hum Biol*. 2017;29.doi:10.1002/ajhb.22966.

236. Hillewig E, De Tobel J, Cuche O, Vandemaele P, Piette M, Verstraete K. Magnetic resonance imaging of the medial extremity of the clavicle in forensic bone age determination: a new four-minute approach. *Eur Radiol* 2001; 21:757-67.
237. Schmidt S, Mühler M, Schmeling A, Reisinger W, Schulz R. Magnetic resonance imaging of the clavicular ossification. *Int J Legal Med.* 2007;21:321-24.
238. Risser JC. The iliac apophysis; an invaluable sign in the management of scoliosis. *Clin Orthop.* 1958;11:111-19.
239. Wittschieber D, Vieth V, Domnick C, Pfeiffer H, Schmeling A. The iliac crest in forensic age diagnostics: evaluation of the apophyseal ossification in conventional radiography. *Int J Legal Med.* 2013;127:473-79.
240. O'Connor JE, Coyle J, Bogue C, Spence LD, Last J. Age prediction formulae from radiographic assessment of skeletal maturation at the knee in a Irish population. *Forensic Sci Int.* 2014; 234:188.e1-8.
241. Zabet D, Rérolle C, Pucheux J, Telmon N, Saint-Martin P. Can the Greulich and Pyle method be used on French Contemporary individuals?. *Int J Legal Med.* 2015;129:171-7.
242. Camacho-Basallo P, Yáñez-Vico RM, Solano-Reina E, Iglesias-Linares A. Five radiographic methods for assessing skeletal maturity in a Spanish population: is there a correlation?. *Acta Odontol Scand.* 2017;75:106-12.
243. Gungor OE, Celikoglu M, Kale B, Gungor AY, Sari Z. The reliability of the Greulich and Pyle atlas when applied to a Southern Turkish population. *Eur J Dent.* 2015;9:251-4
244. Soegiharto BM, Moles DR, Cunningham SJ. Discriminatory ability of the skeletal maturation index and the cervical vertebrae maturation index in detecting peak pubertal growth in Indonesian and White subjects with receiver operating characteristics analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008;134:227-37.
245. Cameriere R, Giuliadori A, Zampi M, Galic I, Cingolani M, Pagliara F, et al. Age estimation in children and young adolescents for forensic purposes using fourth cervical vertebra (C4). *Int J Legal Med.* 2015;129:367-55.

246. Chaumoitre K, Saliba-Serre B, Adalian P, Signoli M, Leonetti G, Panuel M. Forensic use of the Greulich and Pyle atlas: prediction intervals and relevance. *Eur Radiol.* 2017;27:1032-43.
247. Rayney BJ, Burnside G, Harrison JE. Reliability of cervical vertebral maturation staging. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2016;150:98-194.
248. Frucht S, Schnegelsberg C, Schulte-Mönting J, Rose E, Jonas I. Dental age in southwest Germany. A radiographic study. *J Orofac Orthop.* 2000;61(5):318-29.
249. Leurs IH, Wattel E, Aartman IH, Elty E, Prahl-Andersen B. Dental age in Dutch children. *Eur J Orthod.* 2005;27:309-14.
250. Liliequist B, Lundberg M. Skeletal and tooth development. A methodologic investigation. *Acta Radiol Diagn (Stockh).* 1971;11:97-112.
251. Caleza C, Yañez-Vico RM, Mendoza A, Iglesias-Linares A. Childhood obesity and delayed gratification behavior: a systematic review of experimental studies. *J Pediatr.* 2016;169:201-7.
252. Zhai Y, Park H, Han J, Wang H, Ji F, Tao J. Dental age assessment in a northern Chinese population. *J Forensic Leg Med.* 2016;38:43-9.
253. Aissaoui A, Salem NH, Mougou M, Maatouk F, Chadly A. Dental age assessment among Tunisian children using the Demirjian method. *J Forensic Dent Sci.* 2016;8:47-51.
254. Litsas G, Lucchese A. Dental and chronological ages as determinants of peak growth period and its relationship with dental calcification stages. *Open Dent J.* 2016;10:99-108.
255. Valizadeh S, Eil N, Ehsani S, Bakhslan deh H. Correlation between dental and cervical vertebral maturation in Iranian females. *Iran J Radiol.* 2012;10:1-7.
256. Domínguez-Almendros S, Benítez-Parejo N, González-Ramírez AR. Logistic regression models. *Allergol Immunopathol.* 2011;39:295-305.

9. ANEXOS

9. ANEXOS**9.1. ANEXO I. INFORME DEL COMITÉ ÉTICO DE INVESTIGACIÓN CLÍNICA.**

Servicio Andaluz de Salud
CONSEJERÍA DE SALUD

Informe Dictamen Favorable
Proyecto Investigación Biomédica

C.P. PAUCAMBAS - C.I.

15 de mayo de 2017

CEI de los Hospitales Universitarios Virgen Macarena y Virgen del Rocío

Dr. Víctor Sánchez Margalet
Presidente del CEI de los Hospitales Universitarios Virgen Macarena y Virgen del Rocío

CERTIFICA

1º. Que el CEI de los Hospitales Universitarios Virgen Macarena y Virgen del Rocío en su reunión del día 28/04/2015, acta 04/2015 ha evaluado la propuesta del promotor referida al estudio:

Título: CORRELACIÓN DE LA VALORACIÓN DE LA MADUREZ ÓSEA EN BASE A DIVERSOS MÉTODOS DE DETERMINACIÓN EN POBLACIÓN ESPAÑOLA

Código Promotor: PAUCAMBAS **Código Interno:**
Promotor: Investigador

1º. Considera que

- El estudio se plantea siguiendo los requisitos de la Ley 14/2007, de 3 de julio, de Investigación Biomédica y su realización es pertinente.
- Se cumplen los requisitos necesarios de idoneidad del protocolo en relación con los objetivos del estudio y están justificados los riesgos y molestias previsibles para el sujeto.
- Son adecuados tanto el procedimiento para obtener el consentimiento informado como la compensación prevista para los sujetos por daños que pudieran derivarse de su participación en el estudio.
- El alcance de las compensaciones económicas previstas no interfiere con el respeto a los postulados éticos.
- La capacidad de los Investigadores y los medios disponibles son apropiados para llevar a cabo el estudio.

2º. Por lo que este CEI emite un **DICTAMEN FAVORABLE**.

3º. Este CEI acepta que dicho estudio sea realizado en los siguientes CEI/Centros por los Investigadores:

CEI de los Hospitales Universitarios Virgen Macarena y Virgen del Rocío

Alejandro Iglesias Linares
Universidad de Sevilla

Lo que firmo en Sevilla, a 15 de mayo de 2017

Fdo:


NOMBRE
SANCHEZ
MARGALET
VICTOR MANUEL
- NIF 28691159Q

Firmado digitalmente
por NOMBRE SANCHEZ
MARGALET VICTOR
MANUEL - NIF
28691159Q
Fecha: 2017.05.15
16:28:37 +02'00'

Dr. Víctor Sánchez Margalet
Presidente del CEI de los Hospitales Universitarios Virgen Macarena y Virgen del Rocío

9.2. ANEXO II. PUBLICACIONES.


- Publicación de artículo en revista indexada en el *Journal Citation Reports (JCR)*; Acta Odontologica Scandinavica “Five radiographic methods for assessing skeletal maturity in a Spanish population: is there a correlation?”



ACTA
ODONTOLOGICA
SCANDINAVICA

Acta Odontologica Scandinavica

ISSN: 0001-6357 (Print) 1502-3850 (Online) Journal homepage: <http://www.tandfonline.com/loi/iode20>




Taylor & Francis
Taylor & Francis Group

Five radiographic methods for assessing skeletal maturity in a Spanish population: is there a correlation?


Paula Camacho-Basallo, Rosa-María Yáñez-Vico, Enrique Solano-Reina & Alejandro Iglesias-Linares

To cite this article: Paula Camacho-Basallo, Rosa-María Yáñez-Vico, Enrique Solano-Reina & Alejandro Iglesias-Linares (2017) Five radiographic methods for assessing skeletal maturity in a Spanish population: is there a correlation?, Acta Odontologica Scandinavica, 75:2, 106-112, DOI: [10.1080/00016357.2016.1265145](https://doi.org/10.1080/00016357.2016.1265145)


To link to this article: <http://dx.doi.org/10.1080/00016357.2016.1265145>




Published online: 09 Dec 2016.




Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 32



View related articles [↗](#)



View Crossmark data [↗](#)

Full Terms & Conditions of access and use can be found at
<http://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=iode20>

Download by: [185.13.202.162]

Date: 19 January 2017, At: 04:07

ORIGINAL ARTICLE

Five radiographic methods for assessing skeletal maturity in a Spanish population: is there a correlation?

Paula Camacho-Basallo^{a,b}, Rosa-María Yáñez-Vico^{a,b}, Enrique Solano-Reina^{a,b} and Alejandro Iglesias-Linares^{a,b}

^aDepartment of Stomatology, Craniofacial Research Group CTS353, University of Seville, Seville, Spain; ^bDepartment of Stomatology IV, School of Dentistry, Complutense University of Madrid, Madrid, Spain

ABSTRACT

Objectives: The need for accurate techniques of estimating age has sharply increased in line with the rise in illegal migration and the political, economic and socio-demographic problems that this poses in developed countries today. The methods routinely employed for determining chronological age are mainly based on determining skeletal maturation using radiological techniques. The objective of this study was to correlate five different methods for assessing skeletal maturation.

Materials and methods: 606 radiographs of growing patients were analyzed, and each patient was classified according to two cervical vertebral-based methods, two hand-wrist-based methods and one tooth-based method. Spearman's rank-order correlation coefficient was applied to assess the relationship between chronological age and the five methods of assessing maturation, as well as correlations between the five methods ($p < 0.05$).

Results: Spearman's rank correlation coefficients for chronological age and cervical vertebral maturation stage using both methods were 0.656/0.693 ($p < 0.001$), respectively, for males. For females, the correlation was stronger for both methods. The correlation coefficients for chronological age against the two hand-wrist assessment methods were statistically significant only for Fishman's method, 0.722 ($p < 0.001$) and 0.839 ($p < 0.001$), respectively for males and females.

Conclusions: The cervical vertebral, hand-wrist and dental maturation methods of assessment were all found to correlate strongly with each other, irrespective of gender, except for Grave and Brown's method. The results found the strongest correlation between the second molars and females, and the second premolar and males.

Clinical relevance: This study sheds light on and correlates with the five radiographic methods most commonly used for assessing skeletal maturation in a Spanish population in southern Europe.

ARTICLE HISTORY

Received 19 June 2016
Revised 11 November 2016
Accepted 18 November 2016

KEYWORDS

Orthodontics; skeletal maturity; radiographic; age

Introduction

Age assessment is an important aspect of medicolegal, paediatric and forensic science. Estimating the age of a living individual who cannot prove his/her birth date poses a challenge, which results in a fairly common legal practice. The need for accurate techniques of estimating skeletal maturation has sharply increased in line with the increase in illegal migration, which is a growing political, economical and socio-demographical problem in developed countries today. In cases involving criminal proceedings, the evaluation of imputability or asylum is essential to be able to find out the age of someone who has no identification documents, since the chronological age limits defining full or legal responsibility vary considerably in different countries around the world.[1,2] In most European countries, the legal age limit falls between the 14 and 21 years of life; in the case of Spain, the age of criminal responsibility is 14 years.[3]

The methods routinely used to determine chronological age are mainly based on determining biological age.[2,4–7] Various indicators of maturity such as sexual maturation

characters,[8–10] dental development,[5,11–13] hand-wrist maturity [14,15] and cervical vertebral maturation [16–18] have been reported in the specialized literature for estimating the chronological age of children and adolescents. Voice change needs to be continuously monitored in order to detect changes, while the menarche has little predictive value if it has not occurred or if the patient cannot remember exactly when the first menstrual period was. To date, therefore, the use of radiographic growth parameters has been the most commonly used method of assessing biological age and so determining chronological age. Hand-wrist radiography has been one of the most commonly used methods of determining skeletal maturity, although cervical vertebral maturation and dental development have been proposed as valid alternatives to the hand-wrist method. Many authors have reported a significant correlation between the size and shape of the cervical vertebrae, weight and body height [19] and hand-wrist maturation.[17,20,21]

In Greulich and Pyle's [6] and Tanner et al.'s [22] methods, bone age is assessed by comparing the X-ray image of an unknown subject with a standard reference.[23] Among the

CONTACT Alejandro Iglesias-Linares  aleigl01@ucm.es, aiglesiaslinares@gmail.com 

© 2016 Acta Odontologica Scandinavica Society

methods used to identify the events of ossification, the most frequently used are Fishman's method [24] and Grave and Brown's method,[15] which are mainly used for orthodontics diagnosis but have been applied for forensic purposes. The first involves 11 skeletal maturity indicators (SMIs) in six anatomical regions, and the second evaluates 14 ossification events. Hassel and Farman [17] established a significant relationship between Fishman's method of using hand-wrist radiography to assess skeletal maturity and assessing maturity with lateral cephalometric radiography taking only the second, third and fourth cervical vertebrae, unlike Lamparski's method, which used C2-C6.[16] Another simplified method, Baccetti's method,[25] assesses the shape of the inferior border of C2-C3 and C4 and their body structure. Dental age is one of the many physiological characteristics that have been established as individual diagnostic methods.[26–28] Many authors have highlighted the association between dental age (eruption and/or calcification) and skeletal age.[29–33] In this respect, there is considerable controversy in the literature,[34–36] although numerous studies agree that there is substantial inter-population variation within this association.[13] The research objective therefore was to evaluate the relationships between five different methods described in the literature for assessing skeletal maturation in a selected population. More specifically, the objective of the present study was to associate chronological age, stage of tooth calcification, skeletal maturation of the hand and wrist and cervical vertebral maturation on lateral, hand-wrist and panoramic radiographs, in order to determine whether or not these methods are valid clinical tools for assessing skeletal maturation and the degree of correlation between them.

Materials and methods

Ethics statement

This research follows ethical guidelines governing medical research, as described in the Helsinki Declaration (www.wma.net/e/policy/b3.htm/2002 version), along with approval for experimentation by the designated Institutional Ethical Committee of the US.

Population

From 6200 radiographs (taken from a total of 2068 patients), 606 radiographs (lateral, panoramic and hand-wrist radiographs of each patient) of 202 growing subjects (104 boys and 98 girls) were finally selected from the Department of Orthodontics in the University of Seville, Spain, who provided informed consent. The selected subjects were Spanish Caucasian, of middle-class socio-economic status, and their mean age was 12 years and 9 months [SD: ±1 year and 8 months] (13 years and 4 months for males [SD: ±1 year and 7 months], 12 years and 7 months for females [SD: ±1 year and 9 months]). The criteria for inclusion for the selected patients were as follows: (1) Spanish subject (three generations of Spanish ancestry); (2) subjects with normal systemic growth and no serious illnesses; (3) no previous tooth

trauma; (4) no agenesis, root canal treatment or alteration of evaluated teeth; (5) no history of injury or malformation to the craniofacial or hand-wrist region; (6) no previous orthodontic treatment; and (7) bones and teeth showed up clearly on radiographs. Subjects with one or more poorly recorded radiographs were excluded from the study, as were those wearing a lingual arch.

Radiographic records and skeletal maturation assessment

Lateral, hand-wrist and panoramic radiographs were taken of each subject on the same visit. The same machine was used for all radiographic projections.

Radiographic cervical vertebrae assessment

Cervical vertebral maturation stage (CVMS) was evaluated using the two well-described methods of Hassel and Farman [17] and Baccetti et al.[18] Briefly, CVMS assessment with Hassel and Farman's method involved evaluating morphological modifications to the second to the fourth cervical vertebrae with six categories of cervical vertebral skeletal maturation: initiation (CVM1); acceleration (CVM2); transition (CVM3); deceleration (CVM4); maturation (CVM5); completion (CVM6).[17]

Baccetti et al.'s adaptation of this method of vertebral assessment [18] fuses Hassel and Farman's CVM1 and CVM2 stages into one and defines them as follows: cervical stage 1 (CS1); cervical stage 2 (CS2); cervical stage 3 (CS3); cervical stage 4(C41); cervical stage 5(CS5); and cervical stage 6(CS6).[18]

Radiographic hand-wrist assessment

Two methods were used to evaluate skeletal maturity from hand-wrist radiographs: Björk's method,[37] as modified by Grave and Brown,[15] and referred to henceforth as Grave and Brown's method. Briefly, 14 ossification events on the pisiform, radius, hamate and the first, second and third fingers were evaluated, which were then grouped into 9 stages of maturation.[21,38,39] The second method was Fishman's.[8] In summary, this method involves 11 SMIs in six regions situated on the thumb, radius, and third and fifth fingers. Individual maturity indicators were classified according to 11 stages of maturity.

Radiographic dental age assessment

Skeletal maturity of different stages of tooth calcification was evaluated on panoramic radiographs on the first and second premolars and the first and second molars, following Demirjian's measurement technique.[5] Dental stage was calculated using mandibular teeth on the left side; no maxillary teeth were used since superimposed anatomical structures in this area (overlap of palate, zygomatic arch, maxillary sinus, root) make it difficult to assess the calcification stage of the teeth. This method uses eight stages of calcification, from A to H, in its classification.[5]

Statistics

To calculate intra/interexaminer reproducibility of the ratings of each of the five methods, the Spearman–Brown formula was used. The hand-wrist, panoramic and lateral radiographic records of 15 randomly selected patients were examined and evaluated by the same experienced operators five-weeks after the initial rating. Another three experienced examiners tested interexaminer reliability, by analyzing 15 randomly chosen radiographic records.

To quantify the association between the different methods, Spearman's coefficient of correlation was applied to calculate the association between chronological age and the five methods of assessing maturation, as well as the correlations between the five methods. Significance level was set at a p value of 0.05. All statistical analyses were performed with SPSS software version 17.0.0 (SPSS Inc., Chicago, IL).

Results

The reproducibility of all evaluations was reliable, with good concordance coefficients. The reliability coefficients ranged between 0.832 and 0.961 for the cervical vertebral evaluations, between 0.801 and 0.941 for the hand-wrist assessments, and between 0.79 and 0.898 for the dental assessments, for both inter-examiner and intra-examiner reliability.

Frequencies of cervical vertebrae stage using Hassel and Farman's and Baccetti et al.'s methods are shown in Table 1. Spearman's rank correlation coefficients for chronological age and CVMS for males, using Hassel and Farman and Baccetti et al., were 0.656 and 0.693 ($p < 0.001$), respectively. For females, the correlation was stronger for both methods, at 0.713 and 0.747 ($p < 0.001$), respectively (Table 2).

The most frequently occurring stages of hand-wrist skeletal maturation using Fishman's method were stage 11 (21.4%) in females, and stage 3 (25.5%) for males (Table 1). Using Grave and Brown's method, the most frequent stages of hand-wrist maturation in females were, in descending order: stage 5 (24.0%), 3 (24.0%), 9 (16.7%) and similarly for

males: 5 (31.1%), 3(24.3%), 9 (23.3%) (Table 1). The correlation coefficients for chronological age against the two hand-wrist assessment methods of Fishman and Grave and Brown were 0.722 ($p < 0.001$) and 0.82 ($p = 0.41$), respectively, for males, and 0.839 ($p < 0.001$) and 0.54 ($p = 0.6$), respectively, for females (Table 2). The association between Fishman's assessment and chronological age ($p < 0.001$) was stronger in females than in males. No statistically significant association ($p > 0.05$) between age and Grave and Brown's method was found however for either gender (Table 2).

For evaluating dental age using Demirjian, the most frequently observed stages for first premolars in males were stage H (45.2%) and G (31.7%), and in females, stage H (46.9%) and G (30.6%). For second premolars, the results for males were: stage G (36.5%) and F (34.6%), and for females: stage F (41.8%) and G (28.6%). For the first molar in males and females, the results were: stages H (84.6% and 85.7%) and G (7.7% and 8.2%), respectively, and for the second molar in males and females: stages G (39.4% and 34.7%) and F (26.9% and 31.6%), respectively (Table 1). For the association between chronological age and dental maturation according to Demirjian, the coefficients for those teeth measured for males and females, respectively, were: first molar 0.378 ($p < 0.001$) and 0.311 ($p = 0.002$); second molar 0.748 and 0.767 ($p < 0.001$); first premolar 0.636 and 0.675 ($p < 0.001$); second premolar 0.634 and 0.462 ($p < 0.001$). Statistically significant associations were found for males and females, with a strong correlation for all teeth in males, and with all teeth except for the first molar in females, which correlated less strongly (Table 2).

The association between the hand-wrist and cervical vertebral maturation methods is shown in Table 3. In summary, the two cervical vertebrae methods obtained coefficients of 0.826 ($p < 0.001$) for Hassel and Farman's method against Fishman's method, and 0.831 ($p < 0.001$) for Baccetti et al.'s method against Fishman's method. Whereas a statistically significant association was observed for the Fishman method, there was none between Grave and Brown's method and either of the two cervical vertebral assessments ($p > 0.05$) (Table 3).

Table 1. Sample distribution according to cervical vertebrae stages (Hassel and Farman's and Baccetti et al.'s methods), hand-wrist stages (Fishman and Grave and Brown's methods) and dental calcification stages (Demirjian's method).

Maturation/ Calcification stages	Cervical vertebrae M				Hand-wrist M				Dental M							
									Dmjn's (m/f)							
	H&F's (m/f)		B's (m/f)		Fishman's (m/f)		G&B's (m/f)		1PM		2PM		1M		2M	
Stg 1/Stg A	25	15	7	5	6	2	1	1			3	6	0	0	0	0
Stg 2/Stg B	25	14	21	13	8	2	1	1			0	0	0	0	0	0
Stg 3/Stg C	28	20	31	17	26	10	25	23			1	0	0	0	0	1
Stg 4/Stg D	10	13	26	19	18	14	5	12	2	0	1	1	0	0	5	3
Stg 5/Stg E	7	27	10	34	7	5	32	23	0	2	5	5	0	0	21	16
Stg 6/Stg F	9	9	9	10	6	6	6	6	22	20	30	39	1	1	28	31
Stg 7/Stg G					11	8	5	9	33	30	37	28	8	8	41	34
Stg 8/Stg H					2	11	4	5	47	46	20	17	88	84	8	11
Stg 9					5	9	24	16								
Stg 10					5	10										
Stg 11					8	21										
TOTAL	202		202		200		199		202		193		190		199	

Stg: stage; H&F's: Hassel and Farman's method; B's: Baccetti et al.'s method; G&B's: Grave and Brown's method; Dmjn's: Demirjian's method; (m/f): males sample/females sample; 1PM: first premolar; 2PM: second premolar; 1M: first molar; 2M: second molar; M: methods.

Table 2. Distribution and correlation coefficients between cervical maturation, hand-wrist maturation or dental calcification stages and chronological age of subjects.

Chronological age (years old)	Cervical vertebrae CC			Hand-wrist CC					Dental CC							
	H&F's (m/f)			Fishman's (m/f)			G&B's (m/f)			Dmj's (m/f)						
	r(m/f)	B's (m/f)	r(m/f)	r(m/f)	r(m/f)	r(m/f)	r(m/f)	r(m/f)	r(m/f)	r(m/f)	r(m/f)	r(m/f)	r(m/f)	r(m/f)		
5-9	2/3	.656**/.713**	2/3	.693**/.747**	2/3	.722**/.839**	2/3	.827.54	2/3	.636**/.675**	2/3	.654**/.462**	2/3	.378**/.311*	2/3	.748**/.767**
9-12	25/38		25/38		24/37		24/37		25/37		25/37		22/36		25/37	
12-15	64/45		64/45		64/44		64/44		61/42		61/42		61/43		63/44	
15-18	13/12		13/12		13/12		13/12		13/10		13/10		12/11		13/12	
TOTAL	202		202		200		199		202		193		190		199	

CC: correlation coefficients with chronological age of subjects; H&F's (m/f): Hassel and Farman's method frequencies for males and females; B's (m/f): Baccetti et al.'s method frequencies for males and females; G&B's: Grave and Brown's method frequencies for males and females; Dmj's (m/f): Dermjanyans method frequencies for males and females; r (m/f): r significance for males/r significance for females (Spearman's rho coefficient analysis); * $p < 0.05$. ** $p < 0.001$.

Table 3 shows Spearman's correlation coefficients for cervical vertebral maturation against dental maturation. The coefficients ranged between 0.620 ($p < 0.001$) and 0.257 ($p < 0.05$) in males, and between 0.611 ($p < 0.001$) and 0.167 ($p > 0.05$) in females. The level of significance was similar for all coefficients ($p < 0.001$ or $p < 0.05$), except for the first molar maturation assessment in girls, which was not statistically significant. For male patients, the sequence, from lowest to highest, against the two methods of cervical vertebral maturation was: first molar, first premolar, second molar and premolar. For female patients, the sequence, from lowest to highest, was: first molar, second bicuspid, first premolar and second molar (Table 3).

The results of the correlation between hand-wrist assessment methods and dental maturation are compiled in Table 3. There was no statistical association, for girls or boys, between Grave and Brown's method and dental maturation ($p > 0.05$); Fishman's method was significantly associated with all stages of maturation in boys and girls, with the exception of the first molar in boys ($p = 0.6$).

In addition, the two cervical vertebrae maturation methods correlated well in boys (0.949; $p < 0.001$) and girls (0.963; $p < 0.001$). Nonetheless, the two hand-wrist evaluation methods showed no association, irrespective of gender ($p > 0.05$) (Table 3).

Discussion

The association between different methods of assessing skeletal and dental maturation has been studied in various populations. Several authors have suggested that ethnic origin and region-dependent factors such as climate, among others, may play some part in influencing associations in methods of assessing maturation used in dentofacial orthopedics.[13,38] Based on this assumption, our aim was to determine whether there were correlations between the five different methods of assessing maturation in a southern European (Spanish) population.

Although the hand-wrist and cervical vertebral maturation methods of assessing biological age are mainly used in the field of orthodontics, they have also been used to determine chronological age for forensic purposes. We examined two well-known methods for evaluating hand-wrist maturation, two well-described methods of assessing cervical vertebral maturation and finally, the stage of dental maturation. Many authors have supported the efficacy of cervical vertebral analysis, with various available methods of assessing skeletal age.[17,18] Baccetti's and Hassel and Farman's methods were chosen because they use the number of vertebrae that can be evaluated with a protective collar.[16-18,39]

Many other authors have found statistically significant correlations in various populations between methods of assessing skeletal maturation in the hand-wrist and cervical vertebrae.[16,17,38,39] As was the case in those publications, our results in a Spanish population showed a strong statistical correlation between hand-wrist maturation (Fishman) and the two approaches for evaluating the shape of cervical vertebrae (Baccetti et al. and Hassel & Farman), irrespective

Table 3. Correlation coefficients between cervical maturation, hand-wrist maturation and dental maturation stages of subjects.

		Tooth	Cervical vertebrae CC		Hand-wrist CC	
			H&F's (m/f)	B's (m/f)	Fishman's (m/f)	G&B's (m/f)
Dental methods	Demirijyan's method	1PM	.519**/.560**	.532**/.561**	.482**/.672**	.010/-.053
		2PM	.613**/.386**	.620**/.405**	.594**/.465**	.040/-.002
		1M	.613**/.167	.257**/.176	.187/.263*	-.045/-.069
		2M	.613**/.582**	.584**/.611**	.569**/.711**	.111/-.055
Cervical Vertebrae methods	H&F's	-	-	0.826**	0.03	
	B's (m/f)	-	-	0.831**	0.12	

CC: correlation coefficients with dental maturation stages according to Demirijyan's method; H&F's: Hassel and Farman's method; B's: Baccetti et al.'s method; (m/f): r significance for males/ r significance for females (Spearman's rho coefficient analysis); Fishman's: Fishman's method G&B's: Grave and Brown's method; 1PM: first mandibular premolar; 2PM: second mandibular premolar; 1M: first mandibular molar; 2M: second mandibular molar.

* $p < 0.05$.

** $p < 0.001$.

of gender. However, we found none in our population between Grave and Brown's method and either of the cervical vertebral maturation methods.

Several researchers have found a relatively high correlation between chronological age and skeletal maturation, with coefficients ranging from 0.58 to 0.71 for Caucasian children in an American population,[40] and from 0.72 for cervical vertebral assessment to 0.79 using hand-wrist assessment, in a Turkish population.[38] Similarly, in a southern Chinese population,[41] there were correlations between cervical vertebral maturity and chronological age (0.74 for males; 0.787 for females) and between hand-wrist maturity and chronological age (0.7492 for males; 0.7758 for females). Other authors found no correlation between the hand-wrist method and chronological age.[42] In accordance with previous findings in the populations mentioned, our study found that chronological age correlated with a hand-wrist assessment (Fishman's method, but not Grave & Brown's), cervical vertebral maturation (Hassel & Farman and Baccetti et al.) and with dental maturation (Demirjian method) in a Spanish population.

With respect to gender, many authors have suggested that the association between vertebral stage of development and hand-wrist development is more reliable in women than in men.[16,38,39] Although we found a strong correlation in both females and males, females showed a slightly stronger association using these two methods. Gender differences in our population were found for the association between the cervical vertebral assessment methods and the calcification stage of the first molar according to Demirjian, which did not correlate in females but did in males ($p < 0.05$). Conversely, Fishman's hand-wrist assessment did not correlate with tooth calcification in males, but did in females ($r = 0.263$; $p = 0.009$).

To determine dental age, several methods can be used.[5,43,44] The most relevant in the literature are fundamentally concerned with those based on time of eruption,[45] calcification or root formation.[46] The disadvantages of methods based on time of eruption are that they depend on local factors and systemic diseases (environmental influence) [47] and that it is very difficult to determine the exact time of eruption. In our study, we took Demirjian's method, which is based on using measurements from radiographs with objective shape criteria and proportions of root length versus crown height (not absolute length).[5,48] The mandibular first/second premolars and first/second molars were considered in

this study. Previous studies used either mandibular canines [49] or third molar examination,[50] although we declined to use these teeth since they did not come out clearly on radiographs, showed wide variability and were also commonly missing teeth.

The lack of unanimous agreement in the literature about the association between teeth calcification stage and SMI's could be due, at least in part, to the different approaches used to determine skeletal and dental stage, as well as to population differences. Some authors have found a strong association [13,40,43] between them and others a low one.[51,52] The results of this study found the strongest correlation between second molars and females, which coincide with other studies.[53–55] Nevertheless, differences were found for males, with the strongest correlation found being with the second mandibular premolar. Differences in data compared with other studies may be due to differences in ethnicity or methodology.

It is essential to find an efficient, accurate and reliable tool for estimating the age of living people because of the legal consequences, such as penal prosecution, criminal responsibility and refusal of asylum, facing migrants without valid identity papers. Because of the increase in illegal immigration, particularly in the Mediterranean area (in other words, Italy, Malta, Greece and Spain), estimating age has become an important issue in forensic anthropology.[4] Contemporary forensic reports have suggested a multidisciplinary approach that takes into account many different methods, like physical examination, tooth and skeletal development, in order to obtain more reliable age assessments.[2,53] As limitations of the present study, it should be borne in mind that the results obtained in this study may be valid only for the Spanish population due to the ethnic variation mentioned above and it is recommended that the sample be extended due to the variation in age distributions and the different stages of maturation. As future objectives, the assessment of other methods, such as those assessing the middle phalanx of the third finger (MP3 method) [56] or Greulich and Pyle's method, may be of interest for the line of research followed in the present study.[6]

Conclusions

The cervical vertebrae (Hassel & Farman or Baccetti et al.), hand-wrist (Fishman) and dental maturation (Demirjian)

methods of assessment were all found to correlate strongly with each other, irrespective of gender, in the subjects of southern European (Spanish origin) used in this study. There was lack of correlation only between Fishman's method and first molar stage in males, and between the first molar and the two methods of assessing cervical vertebrae examined (Hassel & Farman and Baccetti et al.) in females. Chronological age showed good correlation with all methods, except Grave and Brown's. This correlation is stronger in females, except for the first molar in the dental method. The mandibular second molar and the mandibular second premolar offered the most reliable maturation index for females and males respectively, which makes the panoramic radiograph an easy, useful and valid tool for identifying skeletal and chronological age. Furthermore, while there was a strong correlation between Fishman's method for hand-wrist assessment and the vertebral assessment methods, there was none between Grave and Brown's and any of the other four methods used in the population of this study.

Disclosure statement

The authors declare that they have no conflict of interest.

Funding

Consejería de Igualdad, Salud y Políticas Sociales. Junta de Andalucía [PI-0044-2013].

References

- [1] Corradi F, Pinchi V, Barsanti I, et al. Optimal age classification of young individuals based on dental evidence in civil and criminal proceedings. *Int J Legal Med.* 2013;127:1157-1164.
- [2] Schmelting A, Grundmann C, Fuhrmann A, et al. Criteria for age estimation in living individuals. *Int J Legal Med.* 2008;122:457-460.
- [3] Pinchi V, De Luca F, Ricciardi F, et al. Skeletal age estimation for forensic purposes: a comparison of GP, TW2 and TW3 methods on an Italian sample. *Forensic Sci Int.* 2014;238:83-90.
- [4] Lajolo C, Giuliani M, Cordaro M, et al. Two new oro-cervical radiographic indexes for chronological age estimation: a pilot study on an Italian population. *J Forensic Leg Med.* 2013;20:861-866.
- [5] Demirjian A, Goldstein H, Tanner JM. A new system of dental age assessment. *Hum Biol.* 1973;45:211-227.
- [6] Greulich WW, Pyle SI. Radiographic atlas of the skeletal development of the human hand and wrist. Stanford (CA): Stanford University Press; 1959.
- [7] Cunha E, Baccino E, Martrille L, et al. The problem of aging human remains and living individuals: a review. *Forensic Sci Int.* 2009;193:1-13.
- [8] Fishman LS. Radiographic evaluation of skeletal maturation. A clinically oriented method based on hand-wrist films. *Angle Orthod.* 1982;52:88-112.
- [9] Hägg U, Taranger J. Maturation indicators and the pubertal growth spurt. *Am J Orthod.* 1982;82:299-309.
- [10] Hägg U, Taranger J. Menarche and voice change as indicators of the pubertal growth spurt. *Acta Odontol Scand.* 1980;38:179-186.
- [11] Hägg U, Matsson L. Dental maturity as an indicator of chronological age: the accuracy and precision of three methods. *Eur J Orthod.* 1985;7:25-35.
- [12] Tanner JM, Whitehouse RH, Marubini E, et al. The adolescent growth spurt of boys and girls of the Harpenden growth study. *Ann Hum Biol.* 1976;3:109-126.
- [13] Mappes MS, Harris EF, Behrents RG. An example of regional variation in the tempos of tooth mineralization and hand-wrist ossification. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1992;101:145-151.
- [14] Hägg U, Taranger J. Skeletal stages of the hand and wrist as indicators of the pubertal growth spurt. *Acta Odontol Scand.* 1980;38:187-200.
- [15] Grave KC, Brown T. Skeletal ossification and the adolescent growth spurt. *Am J Orthod.* 1976;69:611-619.
- [16] Lamparski D. Skeletal age assessment utilizing cervical vertebrae [thesis]. Pittsburgh (PA): University of Pittsburgh; 1972.
- [17] Hassel B, Farman AG. Skeletal maturation evaluation using cervical vertebrae. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1995;107:58-66.
- [18] Baccetti T, Franchi L, McNamara JA. Jr. An improved version of the cervical vertebral maturation (CVM) method for the assessment of mandibular growth. *Angle Orthod.* 2002;72:316-323.
- [19] Hellsing E. Cervical vertebral dimensions in 8-, 11-, and 15-year-old children. *Acta Odontol Scand.* 1991;49:207-213.
- [20] Garcia-Fernandez P, Torre H, Flores M, et al. The cervical vertebrae as maturational indicators. *J Clin Orthod.* 1998;32:221-259.
- [21] Gandini P, Mancini M, Andreani F. A comparison of hand-wrist bone and cervical vertebral analyses in measuring skeletal maturation. *Angle Orthod.* 2006;76:984-989.
- [22] Tanner JM, Whitehouse RH, Marshall WA, et al. Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height. TW 2 method. London: Academic Press; 1975.
- [23] Mansourvar M, Ismail MA, Raj RG, et al. The applicability of Greulich and Pyle atlas to assess skeletal age for four ethnic groups. *J Forensic Leg Med.* 2014;22:26-29.
- [24] Fishman LJ. Maturation patterns and prediction during adolescence. *Angle Orthod.* 1987;57:178-193.
- [25] Baccetti T, Franchi L, McNamara JA. The cervical vertebral maturation (CVM) method for the assessment of optimal treatment timing in dentofacial orthopedics. *Semin Orthod.* 2005;11:119-129.
- [26] Tassi N, Franchi L, Baccetti T, et al. Diagnostic performance study on the relationship between the exfoliation of the deciduous second molars and the pubertal growth spurt. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007;131:769-771.
- [27] Franchi L, Baccetti T, De Toffol L, et al. Phases of the dentition for the assessment of skeletal maturity: a diagnostic performance study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008;133:395-400.
- [28] Uysal T, Sari Z, Ramoglu SI, et al. Relationships between dental and skeletal maturity in Turkish subjects. *Angle Orthod.* 2004;74:657-664.
- [29] Kumar S, Singla A, Sharma R, et al. Skeletal maturation evaluation using mandibular second molar calcification stages. *Angle Orthod.* 2012;82:501-506.
- [30] Kraiassiri S, Anuwongnukroh N, Dechkunakorn S. Relationships between dental calcification stages and skeletal maturity indicators in Thai individuals. *Angle Orthod.* 2002;72:155-166.
- [31] Chertkow S. Tooth mineralization as an indicator of the pubertal growth spurt. *Am J Orthod.* 1980;77:79-91.
- [32] Chertkow S, Fatti P. The relationship between tooth mineralization and early radiographic evidence of the ulnar sesamoid. *Angle Orthod.* 1979;49:282-288.
- [33] Coutinho S, Buschang PH, Miranda F. Relationships between mandibular canine calcification stages and skeletal maturity. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1993;104:262-268.
- [34] Green LJ. The interrelationship among height, weight and chronological age, dental and skeletal ages. *Angle Orthod.* 1961;31:189-193.
- [35] Nykänen R, Espeland L, Kvaal SI, et al. Validity of the Demirjian method for dental age estimation when applied to Norwegian children. *Acta Odontol Scand.* 1998;56:238-244.
- [36] Engström C, Engström H, Sagne S. Lower third molar development in relation to skeletal maturity and chronological age. *Angle Orthod.* 1983;53:97-106.
- [37] Björk A. Timing of interceptive orthodontic measures based on stages of maturation. *Trans Eur Orthod Soc.* 1972;61-74.

- [38] Uysal T, Ramoglu SI, Basciftci FA, et al. Chronologic age and skeletal maturation of the cervical vertebrae and hand-wrist: is there a relationship? *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2006;130:622-628.
- [39] Roman PS, Palma JC, Oteo D, et al. Skeletal maturation determined by cervical vertebrae development. *Eur J Orthod.* 2002;24:303-311.
- [40] Sierra AM. Assessment of dental and skeletal maturity. A new approach. *Angle Orthod.* 1987;57:194-208.
- [41] Al khal HA, Wong RWK, Rabie ABM. Correlation between chronological age, cervical vertebral maturation and Fishman's skeletal maturity indicators in southern Chinese. *Angle Orthod.* 2008;78:591-596.
- [42] Fishman LS. Chronological versus skeletal age, an evaluation of craniofacial growth. *Angle Orthod.* 1979;49:181-189.
- [43] Frucht S, Schnegelsberg C, Schulte-Mönting J, et al. Dental age in southwest Germany. A radiographic study. *J Orofac Orthop.* 2000;61:318-329.
- [44] Leurs IH, Wattel E, Aartman IHA, et al. Dental age in Dutch children. *Eur J Orthod.* 2005;27:309-314.
- [45] Filipson R. A new method for assessment of dental maturity using the individual curve of number of erupted permanent teeth. *Ann Hum Biol.* 1975;2:13-24.
- [46] Lilliequist B, Lundberg M. Skeletal and tooth development. A methodologic investigation. *Acta Radiol Diagn (Stockh).* 1971;11:97-112.
- [47] Caleza C, Yañez-Vico RM, Mendoza A, et al. Childhood obesity and delayed gratification behavior: a systematic review of experimental studies. *J Pediatr.* 2016;169:201-207.
- [48] Iglesias-Linares A, Morford LA, Hartsfield JK. Jr. Bone density and dental external apical root resorption. *Curr Osteoporos Rep.* 2016;14:292-309.
- [49] Hareesha KB, Babu NC. Correlation between mandibular canine calcification stages and skeletal maturity. *J Int Oral Health.* 2010;2:41-47.
- [50] Prieto JL, Barbería E, Ortega R, et al. Evaluation of chronological age based on third molar development in the Spanish population. *Int J Legal Med.* 2005;119:349-354.
- [51] Lewis AB, Garn SM. The relationship between tooth formation and other maturational factors. *Angle Orthod.* 1960;30:70-77.
- [52] Garn SM, Lewis AB, Bonne B. Third molar formation and its developmental course. *Angle Orthod.* 1962;32:270-276.
- [53] Cameriere R, Gioliodori A, Zampi M, et al. Age estimation in children and young adolescents for forensic purposes using fourth cervical vertebra (C4). *Int J Legal Med.* 2015;129:367-355.
- [54] Lopes LJ, de Oliveira Gamba T, Visconti MA, et al. Utility of panoramic radiography for identification of the pubertal growth period. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2016;149:509-515.
- [55] Valizadeh S, Eil N, Ehsani S, et al. Correlation between dental and cervical vertebral maturation in Iranian females. *Iran J Radiol.* 2013;10:1-7.
- [56] Pasciuti E, Franchi L, Baccetti T, et al. Comparison of three methods to assess individual skeletal maturity. *J Orofac Orthop.* 2013;74:397-408.

- Comunicación Oral “Correlación de la valoración de la madurez ósea en base a diversos métodos de determinación en población española” 59 Congreso de la Sociedad Española de Ortodoncia. Oviedo.

The image shows a certificate of presentation for an oral communication. At the top right, there is a logo consisting of three overlapping semi-circles in blue, green, and orange. Below this logo, the text reads: "59 CONGRESO SOCIEDAD ESPAÑOLA DE ORTODONCIA" and "OVIEDO'13" with a vertical line separating the two. To the right of this, it says "5, 6, 7 y 8 de junio de 2013". Below the logo and text, it states: "La Sociedad Española de Ortodoncia certifica que:" followed by the name "Paula Camacho Basallo" in a large, bold font. Underneath the name, it says "ha presentado la Comunicación Oral". The title of the communication is written in all caps: "CORRELACIÓN DE LA VALORACIÓN DE LA MADUREZ ÓSEA EN BASE A DIVERSOS MÉTODOS DE DETERMINACIÓN EN POBLACIÓN ESPAÑOLA". Below the title, it says "en la 59ª Reunión de la Sociedad Española de Ortodoncia, celebrada en Oviedo del 5 al 8 de junio de 2013". On the left side, there is a signature of "Dr. Luis Llaica" and his title "Presidente del Congreso". Below the signature is a circular blue stamp with the text "SOCIEDAD ESPAÑOLA DE ORTODONCIA" around the perimeter and a stylized logo in the center. At the bottom right, there is a stylized logo of the "SOCIEDAD ESPAÑOLA DE ORTODONCIA" with the letters "SEO" in a bold, blocky font.