



UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE ODONTOLÓGÍA  
DEPARTAMENTO DE PREGRADO  
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS ODONTOLÓGICAS  
ÁREA DE ANATOMÍA  
LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN TRASLACIONAL CRANEOFACIAL  
CENTRO DE ANÁLISIS CUANTITATIVO EN ANTROPOLOGÍA DENTAL

**RELACIÓN MORFOLÓGICA DE LOS ARCOS DENTALES MAXILAR Y MANDIBULAR, Y ENTRE LOS ARCOS DENTALES Y LAS POSICIONES EXCÉNTRICAS MANDIBULARES. ESTUDIO MEDIANTE MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA.**

**María Jesús Muñoz Repetto.**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN  
REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
CIRUJANO-DENTISTA**

**TUTORA PRINCIPAL**

**Dra. Viviana Toro Ibacache**

**Adscrito a Proyecto “Estudio Piloto: Forma y Función del esqueleto Craneofacial humano: Relación entre Forma Craneal, Forma del Arco Dental, Grado de Movilidad Mandibular y Fuerza de Mordida”  
Santiago – Chile  
2020**





UNIVERSIDAD DE CHILE  
FACULTAD DE ODONTOLÓGÍA  
DEPARTAMENTO DE PREGRADO  
INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS ODONTOLÓGICAS  
ÁREA DE ANATOMÍA  
LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN TRASLACIONAL CRANEOFACIAL  
CENTRO DE ANÁLISIS CUANTITATIVO EN ANTROPOLOGÍA DENTAL

**RELACIÓN MORFOLÓGICA DE LOS ARCOS DENTALES MAXILAR Y MANDIBULAR, Y ENTRE LOS ARCOS DENTALES Y LAS POSICIONES EXCÉNTRICAS MANDIBULARES. ESTUDIO MEDIANTE MORFOMETRÍA GEOMÉTRICA.**

**María Jesús Muñoz Repetto.**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN  
REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
CIRUJANO-DENTISTA**

**TUTORA PRINCIPAL**

**Dra. Viviana Toro Ibacache**

**Adscrito a Proyecto “Estudio Piloto: Forma y Función del esqueleto Craneofacial humano: Relación entre Forma Craneal, Forma del Arco Dental, Grado de Movilidad Mandibular y Fuerza de Mordida”  
Santiago – Chile  
2020**

## Agradecimientos

A mi mamá Rossana y a mi papá Tito. Gracias por guiarme y apoyarme en todas mis decisiones, dándome un impulso cuando más lo he necesitado. A mis hermanos Javi, Max y Nachín, y a la Nanita, por aportarme diferentes puntos de vista y permitir abrir mi visión sobre la vida, los amo infinito.

A mi Seba, que saca lo mejor de mí y está en todas siempre. A mis amigos y amigas que han hecho que mi paso por la U sea una experiencia única e invaluable, junto a ustedes me llevo los mejores recuerdos. Mención especial a Cote, Anita Nocera y Anita Molina, por su gran amistad y apoyo en estos años.

A mi tutora Viviana, por transmitirme su deseo de explorar siempre más allá y por mostrarme lo increíble que llega a ser la naturaleza y la evolución; que todo tiene una razón de ser. Gracias por estar presente a pesar de todos los inconvenientes ajenos a la tesis que se han presentado este tiempo.

A los integrantes de CA2, por recibirme con mucho cariño y ayudarme cuando pudiesen. Finalmente, a todos los docentes que me han marcado en mi formación académica.

# ÍNDICE

1. RESUMEN.....	1
2. MARCO TEÓRICO .....	2
2.1 Introducción .....	2
2.2 Crecimiento y desarrollo del aparato masticatorio.....	3
2.3 Anatomía funcional del aparato masticatorio.....	11
2.3.1 Componentes esqueléticos del aparato masticatorio.....	11
2.3.2 Músculos y ligamentos del aparato masticatorio.....	13
2.4 Movimientos mandibulares.....	15
2.5 Movimientos mandibulares y morfología de los arcos dentales.....	19
2.6 Morfometría geométrica .....	21
2.7 Justificación y relevancia actual .....	22
3. HIPÓTESIS .....	23
4. OBJETIVO GENERAL .....	23
5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	23
6. METODOLOGÍA.....	23
6.1 Muestra .....	24
6.2 Obtención de reconstrucciones tridimensionales de los modelos maxilares y mandibulares .....	25
6.3 Representación de la morfología del arco dental y posiciones mandibulares excéntricas.....	26
6.4 Análisis:.....	30
6.4.1 Análisis preliminares.....	31
6.4.2 Análisis exploratorios y confirmatorios.....	31
7. RESULTADOS.....	33
7.1 Análisis preliminares.....	33
7.2 Análisis exploratorios y confirmatorios .....	34
7.2.1 Análisis de la morfología del arco dental .....	34
7.2.2 Análisis de las posiciones mandibulares excéntricas .....	39
7.2.3 Análisis de covariación entre el arco dental maxilar y el arco dental mandibular .....	44
7.2.4 Análisis estadístico y relación entre la morfología de los arcos dentales y las posiciones mandibulares excéntricas.....	48

8. DISCUSIÓN .....	49
9. CONCLUSIONES.....	57
10. BIBLIOGRAFÍA .....	58
11. ANEXOS.....	63

## 1. RESUMEN

Toda estructura anatómica se caracteriza por poseer una conformación que está en estrecha relación con su expresión funcional. El movimiento mandibular es guiado por determinantes anatómicos posterior y anterior. Este último, en personas dentadas, es proporcionado por cualquier diente que entre en contacto con su antagonista al realizar movimientos protrusivos o de lateralidad. Cómo contactan los dientes antagonistas al realizar los movimientos excéntricos, depende en parte de la relación interarcada de los arcos dentales. Al lograr el contacto dentario entre ambos arcos, se brinda una orientación para el movimiento mandibular, por lo que si estos arcos presentan variaciones, la función también lo haría.

La presente tesis tiene como objetivo principal relacionar las morfologías de los arcos dentales maxilar y mandibular entre sí, y entre estos arcos y las posiciones excéntricas mandibulares. De esta manera, se busca contribuir al conocimiento del funcionamiento en conjunto de los elementos del aparato masticatorio del hombre moderno.

Esta tesis corresponde a un estudio piloto transversal y observacional, en el cual se utilizó una muestra de 19 individuos. En cada individuo, se obtuvieron modelos de yeso del maxilar y de la mandíbula, los cuales fueron escaneados en las posiciones mandibulares de máxima intercuspidad (MIC) y excéntricas en vis a vis (protrusión, lateralidad derecha y lateralidad izquierda), obteniendo reconstrucciones 3D digitales. Se definió en estos últimos la morfología de los arcos dentales a través de 28 coordenadas espaciales (hitos o *landmarks*). Adicionalmente, se registraron mediante un hito dental, las coordenadas de cada posición mandibular, que sirvieron como una aproximación a la forma del movimiento mandibular. Estas configuraciones de hitos fueron analizadas mediante la técnica de morfometría geométrica.

Los resultados arrojaron un grado de covariación alto entre el arco dental maxilar y el arco dental mandibular. Sin embargo, no se encontró una relación estadísticamente significativa entre los arcos dentales con las posiciones mandibulares excéntricas.

A pesar de existir un grado de integración alto entre los arcos dentales, la relación espacial entre sus partes y la morfología de los arcos dentales, no determinan en este estudio la ubicación tridimensional de las posiciones mandibulares.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Introducción

Durante la evolución humana, la dentición ha sido un factor de presión selectiva, ya que ésta interviene en funciones tan importantes como la digestión y la respiración, generando un impacto en la supervivencia de antropoides, prehomínidos y homínidos. No obstante, desde la revolución tecnológica experimentada desde *Homo habilis* y *Homo erectus*, la relevancia de los cambios producidos en la dentición del hombre no tiene, comparativamente con sus ancestros, un carácter tan vital (Labajo y cols., 2005). Este hecho ha permitido la variabilidad genética y morfológica del aparato masticatorio en el humano moderno, obviando en ocasiones la selección natural y la supervivencia a expensas de otros factores (Labajo y cols., 2005).

El cambio de alimentación, y por consiguiente, la reducción del estrés masticatorio sobre dientes, huesos y músculos sería uno de los factores que explican el cambio morfológico craneofacial que ha sufrido el humano durante su evolución (Lieberman, 2011; Teaford y Ungar, 2000; Toro-Ibacache y cols., 2019). Centrándonos en la evolución y cambio de la morfología del arco dental, los simios presentan largos arcos prognáticos y en forma de U, con un marcado dimorfismo sexual, caninos prominentes y largas raíces dentales. Mientras que los humanos modernos son caracterizados por tener un arco dental parabólico con caninos pequeños y un menor dimorfismo sexual en comparación a los simios (Stelzer y cols., 2017).

Durante la evolución del ser humano no solo ha existido un cambio a nivel morfológico del aparato masticatorio, sino que también a nivel funcional. Los simios presentan características funcionales que los favorecen durante la caza: mayor fuerza masticatoria, mayor apertura oral y un alto nivel de integración y covarianza del arco maxilar con el arco de la mandíbula,



que les permite movimientos mandibulares específicos de acuerdo al tipo de alimento (Stelzer y cols., 2017). En los humanos sucede el fenómeno contrario: presentan una menor fuerza masticatoria, con menor apertura oral y un nivel más bajo de covariación entre el maxilar y la mandíbula, en comparación a los simios (Stelzer y cols., 2017).

El hombre actual tiene una riqueza anatómica y funcional que hace del aparato masticatorio una entidad no-inmutable, capaz de responder a demandas transitorias y/o permanentes, presentando una mayor variación anatómica y funcional en comparación a sus antepasados (Labajo y cols., 2005). Es así como nos surgen interrogantes sobre cómo es la morfología y la relación e integración entre los arcos dentales en el humano moderno y cómo se comportan con su respectiva función, el movimiento mandibular contactante. La relación espacial entre los arcos dentales y su morfología, que forman parte del determinante anatómico anterior, ejercen función sobre el recorrido de los movimientos mandibulares excéntricos. Derivando así las siguientes interrogantes: ¿cómo varía la morfología del arco dental maxilar y mandibular en el humano moderno?, ¿cómo se relaciona la morfología del arco maxilar y mandibular entre sí?, ¿cómo varía la forma del movimiento mandibular? Y por último, ¿cómo se relaciona la morfología de los arcos dentales con el movimiento mandibular?

En la presente tesis, se abordarán dichas interrogantes a través de herramientas de la morfometría geométrica. Técnica que nos permite analizar y describir la forma de un objeto no en términos de sus dimensiones, sino que tomando en cuenta la relación espacial entre sus partes (Toro Ibacache y cols., 2010). Se busca contribuir de esta manera, al conocimiento de los fundamentos que rigen el funcionamiento en conjunto de los elementos del aparato masticatorio del hombre moderno.

## 2.2 Crecimiento y desarrollo del aparato masticatorio

Durante el desarrollo embrionario, la formación de los primeros cuatro arcos faríngeos es fundamental para el desarrollo craneofacial. Cada arco faríngeo está formado por un núcleo de tejido mesenquimatoso, cubierto superficialmente por epitelio ectodérmico y revestido internamente por epitelio endodérmico. Durante la cuarta semana de desarrollo de vida

intrauterina (VIU), células provenientes de la cresta neural, migran a los arcos faríngeos para contribuir en la formación del mesénquima, tejido que se diferenciará fundamentalmente en células nerviosas craneales, hueso y cartílago (Meruane y cols., 2012; Sadler, 2016). Por otra parte, el mesodermo original de los arcos faríngeos forma la musculatura de la cara y del cuello. Así, cada arco faríngeo se caracteriza por tener un cartílago, componentes musculares que son acompañados por su propio nervio craneal, y un componente arterial (Meruane y cols., 2012; Sadler, 2016).

Durante la cuarta semana de VIU, a partir del día 24 de gestación, el primer arco faríngeo es evidenciable y junto con el proceso frontonasal dan origen a la mayoría de las estructuras faciales (Meruane y cols., 2012; Parada y Chai, 2015). El primer arco faríngeo contribuye sobre todo a la formación de estructuras faciales (tanto maxilares como mandibulares) y del oído. La musculatura del primer arco se asocia con el aparato masticatorio y el oído medio. Una característica común de los músculos masticatorios (masetero, temporal, pterigoideo medial y pterigoideo lateral) es que todos ellos están inervados por el nervio trigémino (Sadler, 2016).

Al final de la cuarta semana de VIU aparecen los procesos faciales que, principalmente, consisten en ectomesénquima procedente de la cresta neural y están formadas en gran parte por el primer par de arcos faríngeos. Los procesos maxilares se ubican en una posición lateral al estomodeo (cavidad oral primitiva formada por una invaginación del ectodermo; Proffit y cols., 2019), y los procesos mandibulares se encuentran en posición caudal respecto a esta estructura. La prominencia frontonasal, constituye el límite superior del estomodeo. A ambos lados del proceso frontonasal se originan unos engrosamientos localizados del ectodermo de superficie, denominadas placodas nasales (olfativas) (Sadler, 2016) (Figura 1).

Durante la quinta semana de VIU, las placodas nasales se invaginan para formar las fosas nasales. En este proceso crean una cresta de tejido que rodea cada fosa y forma, los procesos nasales. Las prominencias del borde exterior de las fosas son los procesos nasales laterales y las del borde interior son los procesos nasales mediales (Sadler, 2016).

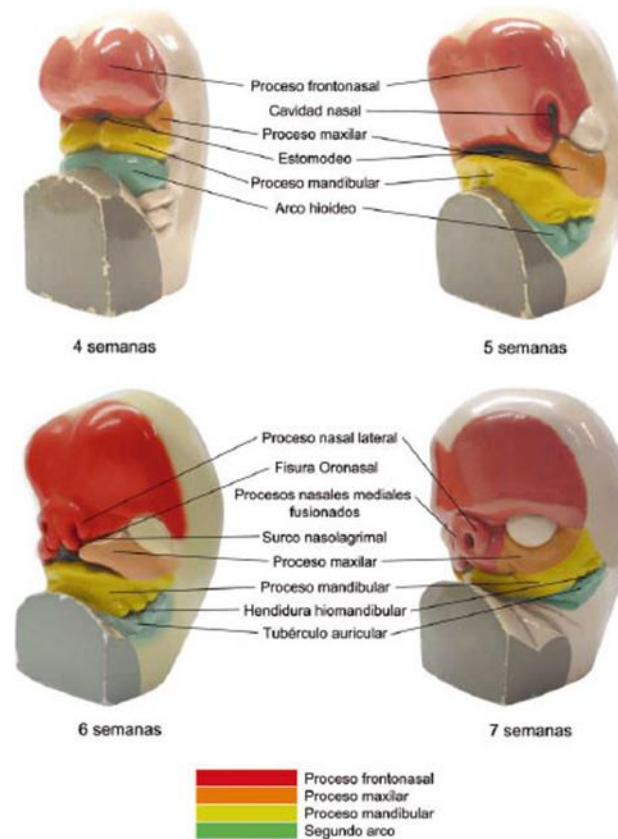


Figura 1. Desarrollo facial del embrión desde la cuarta a la séptima semana. Vistas frontales y sagitales de modelos de cara humana. Cada arco/proceso queda representado por un color. A la cuarta semana se evidencia el estomodeo, y a la séptima la cara ya definida. Meruane y cols. (2012).

En la 6<sup>o</sup> semana de gestación existe una cavidad oral y nasal común, ocupada principalmente por una lengua muy desarrollada (Meruane y cols., 2012). Durante la sexta y séptima semana de VIU, los procesos maxilares continúan creciendo y, de forma simultánea, crecen en dirección medial y comprimen los procesos nasales mediales hacia la línea mediana. La hendidura entre el proceso nasal medial y el proceso maxilar desaparece, y ambos procesos se fusionan. Por lo tanto, el labio superior se forma a partir de los dos procesos nasales mediales y los dos procesos maxilares. Los procesos nasales laterales participan también en la formación del labio superior y de las alas de la nariz. Por otra parte, el labio inferior y la mandíbula se forman a partir de los procesos mandibulares, que convergen en la línea mediana (Carlson, 2019; Sadler, 2016) (Figura 2). Como resultado del crecimiento medial de los procesos maxilares, los dos procesos nasales mediales se invaginan formando el proceso palatino medio. A medida que crece el proceso palatino

medio, se transforma en una estructura ósea triangular, el paladar primario, que soporta a los cuatro dientes incisivos maxilares. Aunque el paladar primario deriva del proceso palatino medio, el paladar secundario está formado por los procesos palatinos laterales. A ambos lados de la lengua se encuentran los procesos palatinos laterales, los cuales emergen desde la cara interna de los procesos maxilares, inicialmente crecen en sentido vertical y luego se horizontalizan, constituyendo el paladar secundario (Carlson, 2019; Sadler, 2016) (Figura 2).

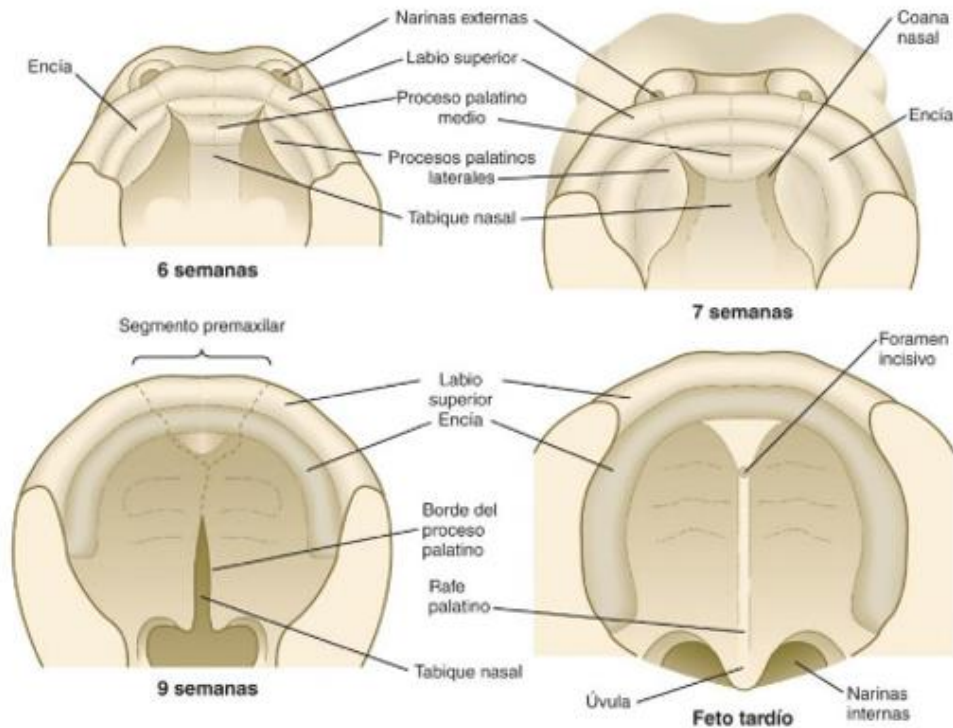


Figura 2. Formación del paladar. El paladar primario es formado por la fusión de los procesos nasomediales. El paladar secundario es formado por los procesos palatinos laterales provenientes de los procesos maxilares.

Carlson (2019).

En la séptima semana de desarrollo embrionario, el maxilar y la mandíbula comienzan sus procesos de osificación. La osificación es el proceso por el cual se forma hueso o sustancia ósea y, dependiendo de la matriz en la cual se forme, se clasifica en osificación endocondral o intramembranosa (Escobar, 2016). La osificación endocondral consta de la formación de tejido óseo a partir de un molde cartilaginoso, mientras que en el proceso de osificación intramembranosa el hueso se forma directamente por osificación del mesénquima (Carlson, 2019; Rouviere, 2005). El maxilar se desarrolla por osificación intramembranosa, a partir de

un condensación mesenquimatosa del proceso maxilar, la cual se encuentra en la superficie lateral de la cápsula nasal (Norton, 2012; Proffit y cols., 2019).

Por otro lado, el desarrollo óseo de la mandíbula se inicia poco antes que la osificación del maxilar y se caracteriza por una combinación de los dos mecanismos de osificación dependiendo del sector: intramembranosa y endocondral (Bishara y Saunders, 2001; Moyers y Leyt, 1992). Presenta una osificación intramembranosa a partir del ectomesénquima que lo conforma condensándose a lo largo del cartílago de Meckel y del nervio dentario inferior que le sirven de guía de estructura (Manns y Biotti, 2011; Proffit y cols., 2019). Por otra parte, tanto la zona de sincondrosis mandibular como la del proceso coronoides desarrollan un proceso de osificación endocondral (Morales, 2018). El proceso condilar es formado a partir de una condensación del mesénquima que también calcifica por osificación membranosa, excepto por el cartílago secundario que recubre la cabeza condilar, el cual permanece como centro de crecimiento y remodelación condilar. Este cartílago reacciona frente a las demandas funcionales que la articulación temporomandibular (ATM) se ve sometida, permitiendo en ella un crecimiento regional adaptativo durante el desarrollo del niño. Su actividad permanece como tal hasta el fin de la adolescencia (Escobar, 2016).

El desarrollo de la cabeza y del cuello continúa hasta el cese del crecimiento postnatal, al final de la adolescencia (Carlson, 2019). Los mecanismos de crecimiento del macizo craneofacial corresponden al crecimiento sutural, cartilaginosa y periostal-endostal. El crecimiento sutural consiste en la aposición ósea a nivel de las suturas que separan los huesos. Este crecimiento es típico de la bóveda craneal y de todos los huesos de la cara que están separados por suturas. El crecimiento cartilaginosa se basa en una proliferación del cartílago y una posterior osificación. Este tipo de crecimiento se ubica en cuatro zonas principales del macizo craneofacial: base del cráneo, tabique nasal, proceso condilar y sincondrosis mandibular. Por último, el crecimiento periostal-endostal consiste en la proliferación ósea a partir de la membrana del periostio y de los espacios medulares internos (Escobar, 2016). Este tipo de crecimiento se produce en el proceso alveolar, el cual va ganando desarrollo posterior al nacimiento frente a requerimientos funcionales alimenticios y de la erupción dentaria (Manns y Biotti, 2011).

El crecimiento postnatal del maxilar es el resultado de un patrón de crecimiento altamente complejo con muchos componentes diferentes (Otaño y cols., 2009). A través de un crecimiento periostal-endostal se modifica la morfología y la posición del maxilar en la arquitectura facial. Hay dos zonas de interés en este sentido; el paladar (produciéndose una reabsorción ósea del piso de la cavidad nasal y una aposición en el lado del paladar) y el proceso alveolar (crecimiento del hueso alveolar coincidente con la erupción dentaria). A nivel de crecimiento sutural, el maxilar crece por aposición ósea en las suturas que conectan el maxilar con la base del cráneo, y aumenta en tamaño transversal por la sutura palatina media. Además, el tabique nasal presenta actividad de crecimiento cartilaginosa, obligando al maxilar desplazarse secundariamente hacia adelante y abajo (Escobar, 2016; Proffit y cols., 2019).

La mandíbula crece por crecimiento cartilaginosa (a nivel del proceso condilar y de la sincondrosis mandibular) y por crecimiento periostal-endostal. Este último es muy importante para la mandíbula ya que permite cambiar a la mandíbula tanto de tamaño como de forma a lo largo de su desarrollo. El crecimiento periostal-endostal permite una reabsorción ósea a nivel anterior de la rama mandibular y una aposición ósea por posterior de la rama mandibular. A nivel del cuerpo mandibular, en la zona posterior, existe una aposición de tejido óseo en la cara vestibular del cuerpo mandibular y una reabsorción lingual (Escobar, 2016; Manns y Biotti, 2011). Con respecto al crecimiento cartilaginosa, la sincondrosis mandibular proporciona un amplio desarrollo transversal de la mandíbula, mientras que el cartílago del proceso condilar crece hacia arriba, atrás y afuera, produciendo un desplazamiento de la mandíbula hacia abajo y adelante.

Durante el crecimiento y desarrollo postnatal, la cara experimenta un desplazamiento hacia abajo y adelante en relación a la base craneal, involucrando tanto a la mandíbula como al maxilar. En este proceso de crecimiento debe existir un preciso ajuste y sincronización del crecimiento y desarrollo entre el maxilar y la mandíbula, en conjunto con sus arcos dentales, para la obtención de una neutroclusión dentaria (Lieberman, 2011; Manns y Biotti, 2011). Por lo tanto, un correcto alineamiento espacial entre los arcos dentales es necesario para una adecuada función masticatoria, de deglución, de verbalización y de respiración (Miller 2016).

La relación forma-función del maxilar y de la mandíbula adquiere una importancia fundamental en la etapa que se inicia con el nacimiento. El neonato comienza a adaptar la forma de sus estructuras faciales según su necesidad vital de alimentarse, a través del reflejo de succión. En la VIU ya existe una práctica de este movimiento a través de la succión del pulgar que permitirá que el niño sepa qué actitud adoptar ante el pezón materno. Como consecuencia de esta función vital, la ATM adquiere características anatómicas adaptadas a la succión, con un tubérculo articular poco desarrollado que permite estos movimientos anteroposteriores (Alonso y cols., 2003). Con el transcurso de los meses, comienza la erupción dentaria de los dientes temporales y gracias a este evento, el tubérculo articular y el proceso alveolar comienzan a desarrollarse. Además se produce una transformación de los movimientos mandibulares (dejan de tener un predominio anteroposterior para transformarse en ciclos complejos con participación de movimientos verticales, laterales y protrusivos), necesarios para alimentarse con una dieta sólida (Alonso y cols., 2003). Por otra parte, la deglución desde el año y medio de vida comienza a madurar, adoptando un patrón deglutorio caracterizado por el cierre labial y con la lengua acoplada al paladar. La lengua en palatoposición permite estimular el crecimiento y desarrollo del maxilar (Piaggio, 2010).

En armonía con el aumento de número de dientes temporales, se produce un descenso del plano oclusal. En el recién nacido el plano oclusal está prácticamente en un mismo nivel con la ATM. En virtud de la dirección de las líneas de desarrollo que determinan los centros de crecimiento del maxilar, el plano oclusal desciende con una resultante hacia abajo y adelante (Alonso y cols., 2003). Los dientes temporales siempre dispondrán sus ejes perpendiculares al plano oclusal, axializando las fuerzas recibidas (Alonso y cols., 2003).

Aproximadamente a los cinco años de edad, los dientes temporales presentan un desgaste de las superficies oclusales al tener una menor cantidad y dureza de su esmalte (Alonso y cols., 2003; Castro y cols., 2015). Es por esta razón, que al sufrir los dientes temporales un desgaste incisal y oclusal, existe un contacto simultáneo de las superficies oclusales en todo movimiento excéntrico, motivo por el cual existe un predominio de movimientos horizontales. No se presentan problemas periodontales ni trauma oclusal por la profundidad de empotramiento que tienen las raíces temporales (Alonso y cols., 2003).

La aparición de los dientes permanentes está relacionada con el aumento de los requisitos alimenticios y metabólicos que presenta el niño en pleno crecimiento. Esto requiere un mayor número de piezas dentales y un mayor tamaño de las superficies oclusales, con un incremento notable de la capacidad masticatoria. Las cúspides erupcionan con puntas agudas que se redondearán hasta llegar a las formas adultas, lo que favorecerá los mecanismos de desoclusión (Alonso y cols., 2003).

La forma del arco dental también varía durante la vida del ser humano. El arco dental corresponde a la alineación de los dientes, los cuales están posicionados en la llamada zona neutra. La zona neutra es el área donde las fuerzas de la lengua presionan hacia afuera siendo neutralizadas por las fuerzas de las mejillas y labios que presionan hacia adentro (Porwal y Sasaki, 2013). Es así como los dientes pueden presentar un cambio de posición según las fuerzas recibidas en estos mismos. La malposición de un diente no necesariamente altera la forma del arco, sin embargo, cuando el desplazamiento afecta a muchos dientes, las irregularidades y asimetrías pueden reflejarse en su forma (Nelson, 2005). Además, el proceso alveolar también sufre cambios dinámicos en función de los requerimientos funcionales. Cabe recordar que el proceso alveolar es aquella parte del maxilar y de la mandíbula que articula con los dientes, encargándose de distribuir y absorber las fuerzas oclusales (Manns y Biotti, 2011). Para ello, esta estructura posee la capacidad de cambiar dinámicamente, según los diferentes requerimientos funcionales a los que está sometido el diente, por medio de reabsorción ósea (si los estímulos funcionales se ven disminuidos) y por aposición (aumentando en espesor y densidad) si las influencias así lo demandan, por lo que el hueso del proceso alveolar está en un continuo estado de remodelación durante la vida del ser humano (Manns y Biotti, 2011). La velocidad de recambio del hueso alveolar es muy rápida, y la reabsorción de este tejido ante la ausencia del diente demuestra la interdependencia de los tejidos periodontales entre sí y su funcionamiento como unidad. La estabilidad dentaria depende en último término del equilibrio entre dos importantes factores; un factor mecánico, representado por las fuerzas a las que son sometidas los dientes (fuerzas oclusales, vestibulares, linguales y labiales) y un factor biológico, representado por la resistencia que ofrecen los tejidos de soporte dentario (Manns y Biotti, 2011). La forma y tamaño final de los arcos dentales están determinados por el crecimiento y desarrollo del hueso basal, la inclinación de los dientes (en especial los



incisivos), las fuerzas musculares intra y extraorales y el crecimiento del hueso alveolar (Manns y Biotti, 2011).

## 2.3 Anatomía funcional del aparato masticatorio

El sistema masticatorio es extremadamente complejo. Está formado sobre todo por huesos, músculos, ligamentos, articulaciones y dientes. El movimiento se regula mediante un intrincado mecanismo de control neurológico que modula y coordina todos estos componentes estructurales (Nelson, 2005; Okeson, 2019). A continuación, se describirán estos componentes anatómicos para poder comprender la función masticatoria.

### 2.3.1 Componentes esqueléticos del aparato masticatorio

Los tres componentes esqueléticos principales que forman el sistema masticatorio son el maxilar y la mandíbula, que dan soporte a los dientes, y el hueso temporal, que soporta la mandíbula a través de su articulación con el cráneo (Okeson, 2019).

Durante el desarrollo postnatal hay dos huesos maxilares que se fusionan en la sutura palatina media (Okeson, 2019). Los huesos maxilares se encuentran superior a la cavidad oral, inferior a la cavidad orbitaria y lateral, de las cavidades nasales, y participan en la formación de las paredes de estas tres cavidades (Rouviere, 2005). Cada hueso maxilar posee un proceso cigomático, que articula lateralmente con el hueso cigomático, y un proceso frontal que articula medialmente con el hueso frontal. Inferiormente, cada hueso maxilar termina en los procesos alveolares, que articulan con los dientes y forman el arco dental maxilar (Figura 3) (Drake y cols., 2018).

El arco dental maxilar es más grande en tamaño que el mandibular. Esta diferencia de tamaño se da porque el arco maxilar tiene un mayor ancho en sentido transversal y los dientes maxilares anteriores tienen una inclinación hacia vestibular mayor que la de los dientes mandibulares anteroinferiores, lo cual origina que los dientes maxilares queden

superpuestos a los mandibulares tanto en sentido vertical como horizontal en oclusión (Okeson, 2019).

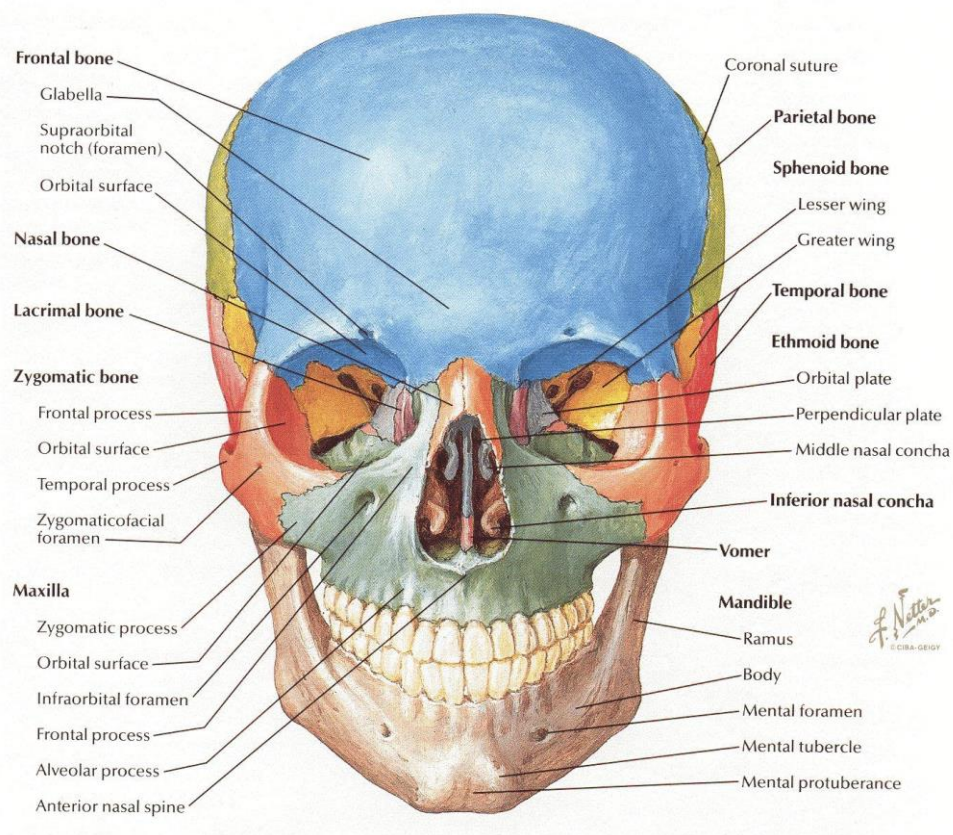


Figura 3. Huesos de la cara en vista frontal. Norton (2012).

La mandíbula está formada por el cuerpo y la rama mandibular. Ambas partes se reúnen posteriormente en el ángulo de la mandíbula (Drake y cols., 2018; Rouviere, 2005). El cuerpo de la mandíbula está incurvado en forma de herradura. Presenta una cara anterior convexa, una cara posterior cóncava, un borde superior o alveolar y un borde inferior libre (Rouviere, 2005). El cuerpo de la mandíbula se divide en dos partes: la base de la mandíbula (parte inferior) y el proceso alveolar de la mandíbula (parte superior) (Drake y cols., 2018). La rama mandibular presenta dos salientes a nivel del borde superior: el proceso condilar y el proceso coronoide. El proceso condilar es una eminencia oblonga cuyo eje mayor se dirige de lateral a medial y de anterior a posterior (Rouviere, 2005). El proceso condilar, a través de la vertiente anterior y la arista de la cabeza mandibular, articula con la fosa mandibular del hueso temporal, formando la ATM (Fuentes y cols., 2015; Okeson, 2019).

Cada hueso temporal se encuentra formado por tres partes: la porción petrosa, la porción timpánica y la porción escamosa. La porción escamosa se segmenta a su vez en tres partes: la cara temporal, el proceso cigomático y la fosa mandibular. La fosa mandibular tiene forma elíptica y su pared anterior está formada por el tubérculo articular. En el fondo de la fosa mandibular se encuentra la fisura timpanoescamosa, que divide la cavidad en dos zonas: la anterior que es articular y pertenece a la porción escamosa del hueso temporal, y la posterior que es no articular y forma parte de la porción timpánica del hueso temporal (Rouviere, 2005).

### 2.3.2 Músculos y ligamentos del aparato masticatorio

Los músculos de la cabeza se dividen en dos grupos: músculos masticatorios y músculos faciales (Rouviere, 2005). Los músculos masticatorios, junto con su respectiva inervación del nervio trigémino, representan a los verdaderos motores del sistema masticatorio y son los responsables directos del control, tanto de la dinámica mandibular como articular, permitiendo la masticación. Los músculos masticatorios se originan en el cráneo y se insertan en la mandíbula. Existen cuatro pares de músculos masticatorios: el masetero, el temporal, el pterigoideo medial y el pterigoideo lateral. Los músculos masticatorios permiten movimientos de elevación, descenso, protrusión, retrusión y lateralidad de la mandíbula (Morales, 2018; Norton, 2012; Okeson, 2019) (Tabla 1). Este grupo muscular se forma a partir del tejido mesenquimático de origen mesodérmico proveniente del primer arco faríngeo (Sadler, 2016). Habitualmente los músculos digástricos no son descritos dentro del grupo de músculos masticatorios (reservado en general para los músculos de inserción craneomandibular), pero tienen un rol importante en la función mandibular, ya que el vientre anterior del digástrico participa en el descenso mandibular (Okeson, 2019).

Los ligamentos por su parte, desempeñan un papel importante en la protección de las estructuras del sistema articular. Los ligamentos constituyen dispositivos de limitación pasiva para restringir el movimiento articular. Los ligamentos funcionales de la ATM se encargan tanto de contener el disco y el proceso condilar en posiciones fisiológicas como de limitar los movimientos excéntricos bordeantes. Éstos corresponden a los ligamentos colaterales discales, el ligamento capsular, el ligamento temporomandibular, el ligamento estilomandibular y esfenomandibular (Norton, 2012; Okeson, 2019).

Tabla 1: Descripción general de los músculos masticatorios (Modificado de Morales, 2018); (Complementado de Okeson, 2019).

Músculo	Origen	Inserción	Acción principal	Inervación
Masetero, porción superficial	Borde inferior de los 2/3 anteriores del arco cigomático	Ángulo mandibular; parte inferior y lateral de la rama mandibular	Elevador mandibular La porción superficial participa durante la protrusión y la profunda puede facilitar la retrusión mandibular	Ramo masetérico del nervio mandibular (ramo del nervio trigémino)
Masetero, porción profunda	Borde medial del arco cigomático; borde inferior del 1/3 posterior del arco cigomático	Parte superolateral de la rama mandibular hasta el proceso coronoides		
Temporal	Fosa temporal hasta la línea temporal inferior ; Cresta infratemporal	Proceso coronoides y la cresta temporal	Elevador mandibular Fibras posteriores participan en la retrusión mandibular	Ramos temporales profundos anterior y posterior del nervio mandibular
Pterigoideo medial, porción profunda	Fosa pterigoidea (lámina lateral)	Cara medial de la rama y ángulo mandibular	Elevador mandibular. Se activa bilateralmente en la protrusión y su contracción contralateral facilita la lateroprotrusión	Ramo pterigoideo medial del nervio mandibular
Pterigoideo medial, porción superficial	Tuberosidad del maxilar; proceso piramidal del hueso palatino			
Pterigoideo lateral, porción superior	Ala mayor del esfenoides; Cresta infratemporal	Disco y cápsula de la ATM	Estabiliza el cóndilo y el disco durante la carga mandibular	Ramos pterigoideos laterales del nervio mandibular
Pterigoideo lateral, porción inferior	Cara lateral de la lámina lateral del proceso pterigoideo	Fosita pterigoidea en el cuello mandibular	Protruye la mandíbula. Permite los movimientos de lateralidad y desciende la mandíbula	
Digástrico, vientre anterior	Tendón intermedio del músculo digástrico	Cara inferior del tubérculo mentoniano Fosa digástrica	Desciende la mandíbula	Nervio milohioideo
Digástrico, vientre posterior	Incisura mastoidea	Tendón intermedio del músculo digástrico	Elevación hueso hioides (permite deglución)	Nervio facial

## 2.4 Movimientos mandibulares

La generación del movimiento mandibular es producida gracias a la contracción sinérgica y coordinada de los músculos de la masticación, siendo limitados por los ligamentos, brindando una protección a los componentes de la ATM (Manns y Biotti, 2011). A su vez, el recorrido del movimiento contactante mandibular es determinado por dos grandes factores de control o determinantes anatómicos, el anterior y el posterior (Manns y Biotti, 2011; Okeson, 2019).

El determinante anatómico posterior corresponde a la ATM, tanto en movimientos con contacto dentario como no contactantes. La guía condílea sagital corresponde al movimiento del proceso condilar y del disco articular a través del contorno del tubérculo articular, determinando así el recorrido del movimiento mandibular, generando un desplazamiento mandibular hacia abajo y adelante (Davies y Gray, 2001; Ferro y cols., 2017). La cabeza mandibular del proceso condilar y las superficies de la fosa mandibular guían el movimiento mandibular a través de sus áreas funcionales (vertiente anterior y arista de la cabeza mandibular y la vertiente posterior del tubérculo articular; Fuentes y cols., 2015). El determinante anatómico anterior, en personas dentadas, es proporcionado por cualquier diente que entre en contacto con su antagonista al realizar movimientos excursivos contactantes. Al lograr el contacto dentario entre ambos arcos dentales durante los movimientos descritos, se brinda una orientación para el movimiento mandibular (Davies y Gray, 2001). Por esta razón, la oclusión juega un rol fundamental dentro de los movimientos en los cuales la mandíbula se desliza a través de los contactos dentarios antagonistas.

Los arcos dentales determinan la oclusión dentaria, que corresponde al contacto funcional entre los dientes antagonistas como resultado de la actividad neuromuscular mandibular (Davies y Gray, 2001; Firmani y cols., 2013; Manns y Biotti, 2011; Okeson, 2019). Esta relación de contacto funcional entre los arcos dentales antagonistas, no se da únicamente en posición de máxima intercuspidad (MIC) o estática, sino que también en movimientos excursivos o dinámicos (Firmani y cols., 2013; Manns y Biotti, 2011). La posición de MIC es una relación entre el maxilar y la mandíbula, en la cual los dientes superiores e inferiores ocluyen con un engranaje de máxima coincidencia, existiendo el máximo de puntos de contactos oclusales (Manns y Biotti, 2011). Por otra parte, el movimiento excursivo o

dinámica oclusal mandibular, corresponde al movimiento que ocurre cuando la mandíbula se aleja de MIC (Ferro y cols., 2017), es decir tanto en movimientos con contacto dentario como no contactantes (Manns y Biotti, 2011). Los movimientos excéntricos básicos corresponden al movimiento protrusivo, laterotrusivo y retrusivo (Okeson, 2019).

En pacientes dentados, se realiza un movimiento mandibular de protrusión cuando la mandíbula se desplaza de posterior hacia anterior desde MIC (Okeson, 2019). Al protruir la mandíbula, la guía anterior (relación dinámica que ofrecen los dientes anteroinferiores al deslizarse por la cara palatina de los dientes anterosuperiores; Nagarsekar y Aras, 2008) produce una desoclusión bilateral posterior, protegiendo de esta manera a los dientes posteriores (premolares y molares) frente a fuerzas no axiales, en una relación oclusal normal (Okeson, 2019). Estos contactos excéntricos protrusivos deben estar distribuidos en forma bilateral y simétrica (Alonso y cols., 2003). Existen distintos tipos de guías anteriores según qué dientes anteroinferiores contactan al realizar una protrusión. Los tipos de guía anterior son descritos a continuación (Manns y Biotti, 2006; Miralles y cols., 1987):

- Guía mesioincisiva: contactan los ángulos mesioincisivos de los incisivos centrales inferiores. Es la guía anterior más eficiente porque determina la menor actividad de los músculos elevadores durante la trayectoria de protrusión.
- Guía incisiva: contactan los incisivos centrales inferiores.
- Función de grupo incisiva o guía incisiva completa: contactan los incisivos centrales y laterales inferiores.
- Función de grupo anterior completa o guía anterior completa: contactan los incisivos y caninos inferiores.

El grado de desplazamiento de arriba hacia abajo de la mandíbula al realizar el movimiento de protrusión dependerá de la inclinación del tubérculo articular (determinante anatómico posterior). Si la superficie está muy inclinada, el proceso condilar describe un movimiento muy vertical. Por el contrario, si la superficie es más plana, el proceso condilar sigue un camino con una menor inclinación vertical (Alonso y cols., 2003; Okeson, 2019). Dentro del determinante anatómico anterior, son variados los factores que determinan en conjunto la protrusión. Dado que el movimiento mandibular lo determina en gran parte la guía anterior,

los cambios del overjet (distancia existente entre el borde incisivo maxilar y la superficie vestibular del incisivo mandibular en MIC; Okeson, 2019) y overbite (distancia existente entre los bordes incisivos anteriores antagonistas; Okeson, 2019), causan modificaciones en los patrones de movimiento (Okeson, 2019; Shillingburg, 2000). Un aumento del overjet, da lugar a un componente vertical menor del movimiento mandibular, y unas cúspides posteriores más planas. Por otra parte, un aumento del overbite, genera un mayor componente vertical del movimiento mandibular y una mayor inclinación de las cúspides posteriores (Okeson, 2019).

Por otra parte, el movimiento lateral corresponde al desplazamiento mandibular hacia la derecha o izquierda del plano medio sagital (Ferro y cols., 2017). Durante los movimientos mandibulares laterotrusivos, el lado hacia donde se realiza el movimiento se denomina lado de trabajo o ipsilateral, mientras que el lado contrario del movimiento en la arcada es denominado lado de no trabajo o contralateral, el cual tiene ausencia de contacto dentario en normalidad (Okeson, 2019). Al realizar un movimiento de lateralidad, el proceso condilar del lado de no trabajo se denomina “orbitante”, el cual gracias a la acción del músculo pterigoideo lateral inferior, se desplaza hacia abajo, adelante y hacia la línea mediana, a través del tubérculo articular, teniendo como centro de rotación el proceso condilar del lado de trabajo. El proceso condilar del lado de trabajo se denomina “de rotación”, ya que este rota sobre su eje. Sin embargo, el movimiento de rotación no es puro debido a que también se produce un leve movimiento de traslación lateral (Alonso y cols., 2003; Okeson, 2019).

En la literatura, muchas filosofías rehabilitadoras se han propuesto determinar los esquemas laterotrusivos ideales, es decir cuáles dientes tienen que contactar durante los movimientos laterales de la mandíbula, pero en general, los esquemas más comunes son la guía canina y función de grupo (Abduo y Tennant, 2015; Miralles y cols., 1987; Okeson, 2019). El esquema laterotrusivo más favorable según Okeson (2019) es la guía canina, la cual es definida como el contacto exclusivo de los caninos del lado de trabajo en una laterotrusión, desocluyendo al resto de los dientes. La función de grupo corresponde, además del contacto de los dos caninos, el contacto de al menos dos o más pares de dientes antagonistas posteriores en el lado de trabajo (Aldana, 2008). La función de grupo parcial corresponde al contacto del canino y premolares del lado de trabajo. Por otra parte, la función de grupo completa

corresponde al contacto de los dientes mencionados previamente más el contacto de la cúspide mesiovestibular del primer molar (Okeson, 2019). Todo contacto de laterotrusión más posterior que el de la porción mesial del primer molar no es deseable, dada la mayor fuerza que puede aplicarse sobre los dientes posteriores y, por lo tanto, dañarlos al estar más cerca del fulcro (ATM) (Okeson, 2019). Además, mientras más hacia anterior se encuentre un diente, mayor es la densidad de mecanorreceptores periodontales con un menor umbral de excitabilidad, determinando una menor actividad de los músculos elevadores al entrar los dientes en contacto (Manns y Biotti, 2011; Rodríguez Mayta, 2012).

El recorrido del movimiento mandibular lateral también es guiado por los determinantes anatómicos. La ATM, en conjunto con el ligamento temporomandibular, determinan la magnitud de traslación lateral, ya que si existe una mayor distancia entre la pared medial de la fosa mandibular con el proceso condilar orbitante, existirá una mayor magnitud de traslación (Okeson, 2019). El recorrido que realiza la mandíbula durante la laterotrusión es un movimiento complejo, el cual es determinado por la combinación de los movimientos tridimensionales de traslación y rotación tanto del cóndilo orbitante como del de rotación, los cuales son realizados sobre la fosa mandibular y el tubérculo articular. A su vez, las características anatómicas de los elementos articulares influyen en las alturas cuspídeas y dirección de los surcos de premolares y molares (Okeson, 2019).

Cómo contactan los dientes antagonistas al realizar los movimientos excéntricos dependen en parte de la relación interarcada de los arcos dentales. Al entrar en contacto los arcos dentales, se brinda una orientación para el movimiento mandibular. En la literatura existe evidencia que apunta mayormente a cómo influye la guía condílea, la guía anterior y las posiciones de los dientes en forma individual en los patrones de movimiento. Okeson (2019) establece que la relación interarcada es un factor determinante para el movimiento mandibular, sin embargo en la revisión de la literatura para esta tesis, solo se encontró evidencia sobre la influencia del overjet y overbite en los movimientos mandibulares. Asimismo, tampoco se encontró evidencia sobre cómo influye la morfología de los arcos dentales y la posición espacial de los dientes en conjunto en el movimiento mandibular contactante.



## 2.5 Movimientos mandibulares y morfología de los arcos dentales

La historia evolutiva y la capacidad de cambio plástico de los procesos alveolares son factores relevantes en la anatomía de los arcos dentales. Durante la evolución del ser humano, el esqueleto craneofacial ha sufrido una serie de cambios morfológicos, en donde el cráneo moderno presenta una menor dimensión anteroposterior y altura súpero-inferior (Lieberman, 2008). La especie *Homo sapiens* presenta una reducción facial en comparación con sus ancestros (incluyendo una retrognasia maxilar y mandibular), además de una disminución de la capacidad de resistencia a las cargas masticatorias, pero con un aumento en la eficiencia masticatoria (Godinho y cols., 2018). Se proponen varias causas que explican esta reducción de tamaño, dentro de las que se encuentra la dieta, presentándose así un cambio morfológico craneofacial en función a las propiedades mecánicas de la alimentación (Lieberman y cols., 2004; Toro-Ibacache y cols., 2019).

Centrándonos en la evolución y cambio de la forma del arco dental, los humanos modernos son caracterizados por tener un arco dental de forma parabólica con caninos pequeños mientras que los simios presentan largos arcos prognáticos y en forma de U, con caninos prominentes. Se ha sugerido que con la reducción del tamaño del canino y del espacio de primates, los incisivos se han movido de forma más posterior, creando un arco dental de forma parabólica, experimentando entonces el género *Homo* una reducción continua del arco y tamaño dental (Stelzer y cols., 2017) (Figura 4).

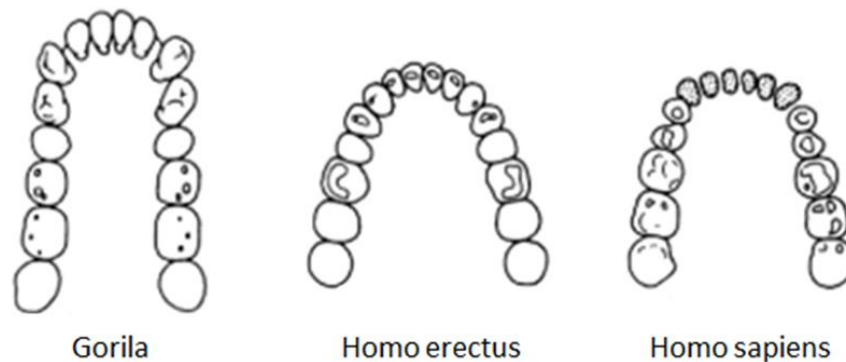


Figura 4. Forma del arco dental mandibular en gorila, homo erectus y homo sapiens. Modificado de Aiello (1990).

Este fenómeno de reducción continua del arco y tamaño dental podría explicarse por diferencias en el comportamiento masticatorio. Entre los primates, las diferencias intra e

interespecíficas en la arquitectura craneal y mandibular se han relacionado con las diferencias en el comportamiento masticatorio, incluyendo la variación del estrés mecánico producido durante la masticación. Estos argumentos biomecánicos enfatizan que la posición y largo del arco dental influyen en la distribución del estrés. En esta perspectiva, la variación fenotípica del maxilar y de la mandíbula es vista como una consecuencia en lugar de una condición previa para la distribución de diferentes fuerzas. Es así como los simios presentan largas raíces dentales y arcos dentales prognáticos los cuales permiten una mayor apertura oral, favoreciendo a los simios durante la caza, mientras que los humanos presentan arcos dentales de formas parabólicas, lo cual sería secundario a una disminución en la apertura oral y de fuerza masticatoria (Stelzer y cols., 2017). A pesar de esta información, la evolución y los mecanismos biomecánicos subyacentes a la forma de la arco dental entre humanos y simios no están bien entendidos (Stelzer y cols., 2017).

En *Homo sapiens* el arco dental, al formar parte del determinante anatómico anterior, ejerce función sobre los movimientos mandibulares excéntricos, por lo que si éste presenta variaciones, la función también lo haría.

Cómo se relacionan los arcos dentales durante los movimientos mandibulares en primates depende en parte de la morfología de éstos. La covariación morfológica es una interrelación estadística de variables que definen la forma de una estructura, es decir, es el grado de variación conjunta entre dos o más variables morfométricas de origen anatómico. Biológicamente, es consecuencia del desarrollo, evolución, genética y procesos funcionales que, combinados, resultan en patrones de variación coordinados de las formas de distintas estructuras (integración). La magnitud de covariación entre el arco maxilar y el arco mandibular estaría relacionada con aspectos funcionales. Así por ejemplo, estudios morfológicos que usan valores que representan la magnitud de covariación morfológica, han mostrado que en simios (cuya función masticatoria implica la generación de grandes fuerzas y movimientos mandibulares específicos de acuerdo al tipo de alimento), el nivel de covariación entre maxilar y mandíbula es alto; en humanos este valor es en comparación, más bajo (Stelzer y cols., 2017). Bajo la aseveración que la covariación entre los arcos dentales es menor en humanos modernos en comparación a simios, cabe preguntarse cómo

se relaciona la morfología de los arcos dentales con los movimientos excéntricos mandibulares.

## 2.6 Morfometría geométrica

En la presente tesis se examinará tanto la relación morfológica de los arcos dentales maxilar y mandibular entre sí, como la relación de estos arcos dentales con las posiciones excéntricas mandibulares (este último como una aproximación a los rangos de movimiento mandibular entre MIC y vis a vis). Cabe destacar que la relación morfológica de los arcos dentales se refiere tanto a la forma propia de los arcos dentales maxilar y mandibular como su relación interarcada, obteniendo de esta manera información sobre la variación general de la forma de los arcos dentales en oclusión.

Habitualmente, el análisis de la forma del arco dental se realiza a través de medidas lineales estandarizadas en modelos de yeso, donde con el uso de un calibrador electrónico, se mide profundidad, ancho y largo del arco dental (Bondevik, 2015). Una limitante de los modelos de yeso es que son propensos a la degradación y rotura (Nawi y cols., 2018). En la presente tesis se estudiarán aspectos de la geometría de los arcos dentales, su nivel de covariación morfológica, y su relación con las posiciones excéntricas mandibulares de protrusión, lateralidad derecha y lateralidad izquierda en vis a vis, a través de morfometría geométrica tridimensional, teniendo como ventaja poder analizar numérica y visualmente la morfología del arco dental y las posiciones excéntricas mandibulares ya mencionadas. Los recientes avances en tecnología han llevado al desarrollo de modelos digitales tridimensionales (3D) como una alternativa a los modelos de yeso. Los modelos digitales 3D son analizados formulando de manera más rápida la planificación del tratamiento. Las mediciones digitales del ancho del arco, la longitud y el análisis del espacio de los modelos digitales 3D de sujetos obtenidos a partir del escáner se consideran tanto confiables como válidos (Nawi y cols., 2018).

La morfometría geométrica es una herramienta que permite describir la forma de un objeto no en términos de sus dimensiones, sino que tomando en cuenta la relación espacial entre sus partes. Esto nos permite visualizar cómo se modifica una estructura en el tiempo, en qué

partes se localizan los cambios y cuáles son éstos (Toro Ibacache y cols., 2010). La forma de la estructura se puede capturar como contornos o hitos, también llamados *landmarks*. Un hito corresponde a un punto del espacio que tiene un nombre y coordenadas cartesianas en formas bidimensionales (x,y) y en formas tridimensionales (x,y,z). Posteriormente se realiza el análisis de Procrusto, en donde la forma con que se está trabajando es ajustada por procesos de rotación, tamaño y traslación, para finalmente obtener una forma “pura”, libre del efecto confundente de dichas propiedades. Cada forma se encuentra entonces definida por su configuración de hitos (*landmarks*). Estas coordenadas son luego sometidas a análisis estadísticos descriptivos y/o confirmatorios de tipo multivariado, con el fin de poner a prueba la hipótesis de trabajo (Toro Ibacache y cols., 2010).

## 2.7 Justificación y relevancia actual

En la presente tesis se analizará la relación morfológica de los arcos dentales maxilar y mandibular entre sí, y la relación de éstos con las posiciones excéntricas mandibulares en vis a vis, representada a través de una figura geométrica tridimensional. Esto tiene como objetivo central contribuir al conocimiento de los fundamentos que rigen el funcionamiento en conjunto de los elementos del aparato masticatorio. Este conocimiento es relevante en la clínica odontológica, en donde la relación entre los arcos dentales y sus movimientos mandibulares puede ser determinante en ortodoncia, cirugía maxilofacial, trastornos temporomandibulares y rehabilitación y, en general, en la mantención de la armonía del sistema estomatognático.

### **3. HIPÓTESIS**

Existe una relación morfológica de los arcos dentales maxilar y mandibular entre sí, y entre los arcos dentales y las posiciones mandibulares excéntricas en vis a vis.

### **4. OBJETIVO GENERAL.**

Estudiar y describir la variación de la morfología y la relación de los arcos dentales maxilar y mandibular entre sí, y entre los arcos dentales y las posiciones excéntricas mandibulares en vis a vis.

### **5. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

1. Describir la morfología de los arcos dentales maxilar y mandibular.
2. Describir la magnitud y el patrón de covariación entre los arcos dentales maxilar y mandibular.
3. Describir la variación de las posiciones mandibulares excéntricas en protrusión y lateralidades en vis a vis mediante una figura geométrica 3D.
4. Describir la relación entre la morfología de los arcos dentales maxilar y mandibular entre sí con las posiciones excéntricas mandibulares en vis a vis.

### **6. METODOLOGÍA.**

La presente tesis se enmarca dentro de un estudio piloto. El diseño metodológico corresponde a un estudio de tipo transversal descriptivo observacional. En esta tesis se estudió la relación morfológica entre el arco dental maxilar y mandibular, y la relación de los arcos dentales con una figura 3D que representa la posición mandibular de MIC y las posiciones mandibulares excéntricas (protrusión, lateralidad derecha y lateralidad izquierda) en vis a vis, los cuales fueron comparados entre los distintos individuos de estudio. El estudio de la relación morfológica de los arcos dentales implica tanto al análisis de la forma propia de los arcos dentales maxilar y mandibular como a su relación interarcada. Ya que esta última

es la más relevante para el objetivo de esta tesis, la hipótesis se puso a prueba mediante el análisis de los arcos dentales en oclusión.

### 6.1 Muestra

La muestra del estudio está constituida por 19 personas (8 hombres, 11 mujeres). Los participantes fueron reclutados en una etapa previa a esta tesis (en el marco del estudio al que pertenece esta tesis). Los participantes del estudio correspondieron a estudiantes de cursos superiores de la carrera de Odontología de la Universidad de Leipzig, Alemania. Los participantes cumplían con los siguientes criterios:

- Criterios de inclusión:
  - Edad entre 23 y 30 años.
  - Índice de Masa Corporal entre 20 y 24,9 para hombres y 19 a 23,9 para mujeres.
  - Dentición completa (sin incluir terceros molares en el cálculo).
  - Ausencia de sintomatología muscular y/o articular (autorreportada).
  
- Criterios de exclusión:
  - Patrones extremos de oclusión alterada (overjet mayor a 5 mm, overbite mayor a 5 mm, mordida invertida, mordida abierta o cruzada bilateral).
  - Historia de cirugía ortognática.
  - Tratamiento de ortodoncia en curso o recientemente completado.
  - Presencia de restauraciones que impidan el reconocimiento de los hitos.
  - Antecedentes o presencia de tratamiento de trastornos temporomandibulares, patología funcional muscular y/o articular.
  - Antecedentes o presencia de periodontitis.
  - Presencia de dolor orofacial.

Los participantes firmaron un consentimiento informado (Anexos a - b), el cual fue aprobado por el comité de ética de la misma universidad (Anexos c - d). Tanto la metodología como la autorización ética se encuentran visadas y registradas en la Dirección de Investigación de la Facultad de Odontología Universidad de Chile.

## 6.2 Obtención de reconstrucciones tridimensionales de los modelos maxilares y mandibulares

Durante una etapa previa a la realización de esta tesis, a cada participante se le tomaron impresiones de alginato del maxilar y de la mandíbula para obtener los modelos de yeso correspondientes. Para poder analizar la morfología de los arcos dentales, los modelos de yeso fueron escaneados por separado mediante el escáner Organizational Scan D250 (3Shape, Berlín, Alemania), obteniendo para esta tesis reconstrucciones tridimensionales de los modelos en formato .stl (archivos de superficie).

Por otra parte, a cada paciente se le solicitó realizar la posición de MIC y los movimientos mandibulares de protrusión, lateralidad derecha y lateralidad izquierda, llegando a las posiciones de vis a vis en cada movimiento. Las posiciones mandibulares de MIC y excéntricas en vis a vis fueron registradas mediante láminas de cera unidas a una lámina metálica delgada, la cual confirió estabilidad y rigidez a esta estructura. En cada caso, las láminas de cera permitieron ubicar el modelo de yeso inferior en el espacio, pudiendo escanear los modelos en cada posición mandibular, obteniendo reconstrucciones tridimensionales de los modelos del maxilar y de la mandíbula en conjunto en las distintas posiciones mandibulares. Los archivos de superficie de los arcos dentales por separado y en conjunto, representando las posiciones mandibulares, fueron importados al software Avizo v9.1 (Science Visualization Group, Burlington, USA).

De los modelos de yeso que fueron escaneados por separado para analizar la morfología del arco, se obtuvieron reconstrucciones tridimensionales nítidas y completas. Al escanear los modelos en conjunto, se generaron reconstrucciones tridimensionales incompletas debido a la presencia de las láminas de cera, por lo que no permitían un claro análisis del movimiento mandibular a partir de la posición de los dientes. Por esta razón, se procedió a superponer los archivos de los modelos del maxilar y de la mandíbula por separado a las posiciones de MIC, protrusión y de lateralidades, para obtener imágenes claras que puedan ser analizadas correctamente. Esto se realizó mediante la ubicación de hitos anatómicos homólogos en ambas superficies (tanto muestras completas como incompletas) de manera de lograr una superposición de alta precisión.

### 6.3 Representación de la morfología del arco dental y posiciones mandibulares excéntricas

Se colocaron 28 hitos que representan la forma del arco dental maxilar y mandibular en las reconstrucciones tridimensionales de los modelos de yeso, seleccionados de acuerdo con los objetivos del estudio y a referencias previas en el software Avizo. El listado completo de hitos de la forma del arco dental se encuentra en Tabla 2 y se muestra en la Figura 5. Por otra parte, las posiciones mandibulares de MIC y excéntricas en vis a vis (protrusión, lateralidad derecha y lateralidad izquierda) fueron registradas mediante 4 hitos en total, colocados en el incisivo inferior derecho en el software Avizo (Figura 7).

En tres individuos de la muestra, un hito anatómico no pudo ser ubicado con precisión debido a que las estructuras anatómicas correspondientes estaban poco definidas. En estos casos, la posición estimada de los hitos fue calculada en base a un algoritmo de “relajación”, en el que los hitos se colocan en relación al promedio general de la muestra y siguiendo el principio de minimización de la energía de torsión (Gunz y cols., 2009). Así, las coordenadas del hito estimado generan la menor distorsión posible de la configuración (Mitteroecker y Gunz, 2009). El procedimiento de estimación de hitos faltantes se realizó utilizando la función `estimate.missing` del paquete `Geomorph` v.2.0 en R (Adams y Otárola-Castillo, 2013).

Para visualizar y describir las variaciones de las formas de los arcos dentales en el software `Morpho J`, se utilizaron wireframes (unión de hitos mediante líneas rectas), en los tres planos del espacio (horizontal, frontal y sagital) (Figura 6). La visualización de las posiciones mandibulares también fue analizada a través de wireframes. Con la unión de los hitos mediante rectas, se generó una pirámide de base triangular que describe las posiciones mandibulares de MIC y excéntricas en vis a vis (protrusión, lateralidad derecha e izquierda), facilitando la descripción de la variación de las posiciones mandibulares mencionadas (Figura 7).



Tabla 2. Hitos seleccionados para el arco dental maxilar y mandibular.

Estructura	Abr.	Hito	Definición	M o R/L	N°
<b>Arco dental maxilar</b>	M2S	Segundo molar superior	Punto ubicado en el centro de la fosa mesial del segundo molar superior	R/L	1/14
	M1S	Primer molar superior	Punto ubicado en el centro de la fosa mesial del primer molar superior	R/L	2/13
	PM2S	Segundo premolar superior	Punto ubicado en el centro del surco principal del segundo premolar superior	R/L	3/12
	PM1S	Primer premolar superior	Punto ubicado en el centro del surco principal del primer premolar superior	R/L	4/11
	CS	Canino superior	Punto ubicado el centro de la cúspide del canino superior	R/L	5/10
	ILS	Incisivo lateral superior	Punto ubicado en el medio del borde incisal del incisivo lateral superior	R/L	6/9
	ICS	Incisivo central superior	Punto ubicado en el medio del borde incisal del incisivo central superior	R/L	7/8
<b>Arco dental mandibular</b>	M2I	Segundo molar inferior	Punto ubicado en el centro de la fosa mesial del segundo molar inferior	R/L	15/28
	M1I	Primer molar inferior	Punto ubicado en el centro de la fosa mesial del primer molar inferior	R/L	16/27
	PM2I	Segundo premolar inferior	Punto ubicado en el centro de la fosa mesial del segundo premolar inferior	R/L	17/26
	PM1I	Primer premolar inferior	Punto ubicado en el centro de la fosa mesial del primer premolar inferior	R/L	18/25
	CI	Canino inferior	Punto ubicado en la cúspide del canino inferior	R/L	19/24
	ILI	Incisivo lateral inferior	Punto ubicado en el medio del borde incisal del incisivo lateral inferior	R/L	20/23
	ICI	Incisivo central inferior	Punto ubicado en el medio del borde incisal del incisivo central inferior	R/L	21/22
	IM	Interincisivo MIC	Punto ubicado en el medio del borde incisal del incisivo central inferior derecho en MIC	M	29
	IP	Interincisivo protrusión	Punto ubicado en el medio del borde incisal del incisivo central inferior derecho en protrusión	M	30
	ID	Interincisivo lateralidad derecha	Punto ubicado en el medio del borde incisal del incisivo central inferior derecho en lateralidad derecha	M	31
II	Interincisivo lateralidad izquierda	Punto ubicado en el medio del borde incisal del incisivo central inferior derecho en lateralidad izquierda	M	32	

\* Abr.: Abreviación del landmark; M: Medial; R: Derecha; L: Izquierda; N°: Número designado al landmark

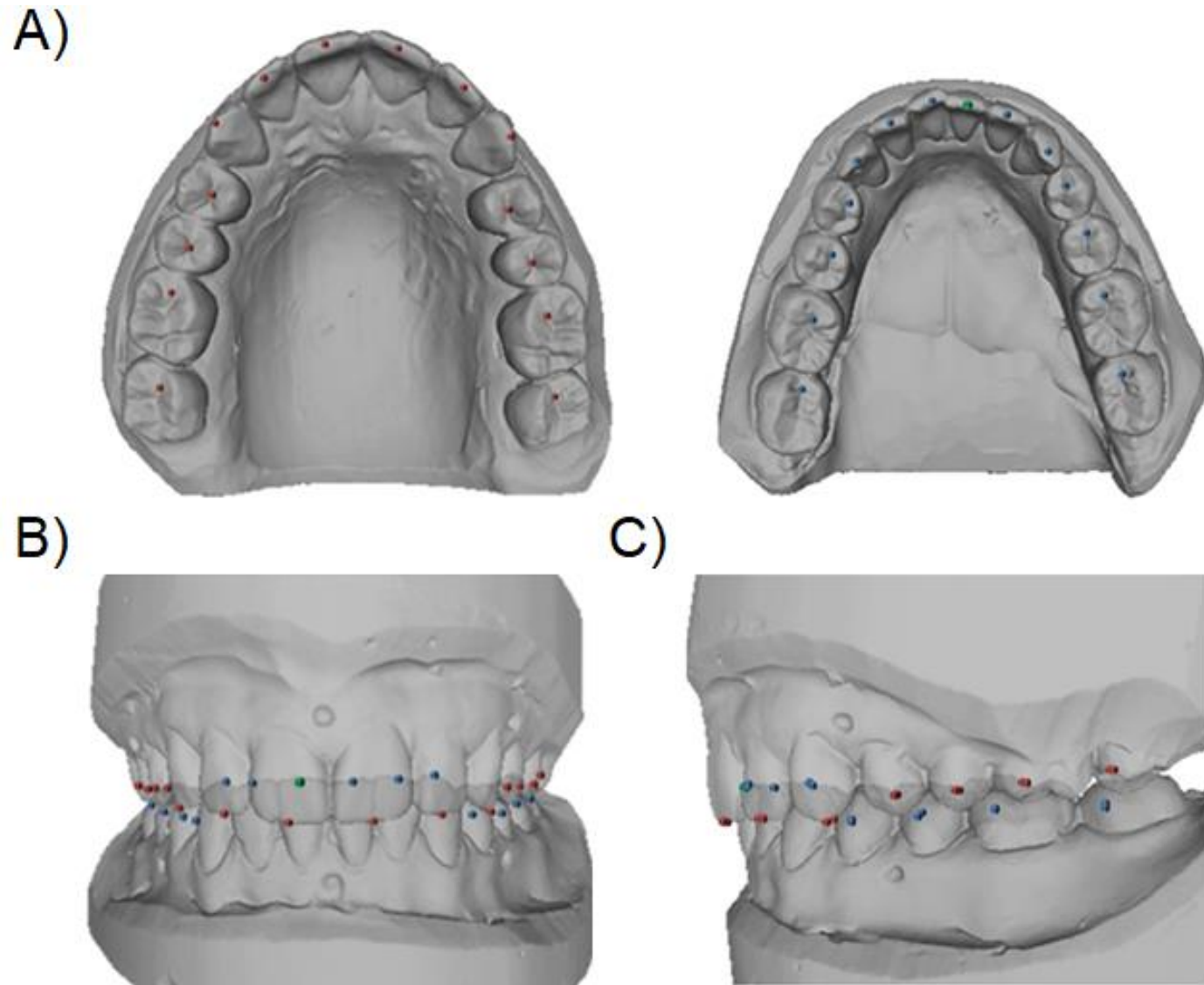


Figura 5. Reconstrucciones 3D de los modelos de yeso en el software Avizo. Hitos que describen la forma del arco dental maxilar en círculos rojos y de la mandíbula en círculos azules. En círculo verde, en el incisivo inferior derecho, se señala el hito que se registró para las distintas posiciones mandibulares. Vistas en los planos A= horizontal, B= frontal y C= sagital.

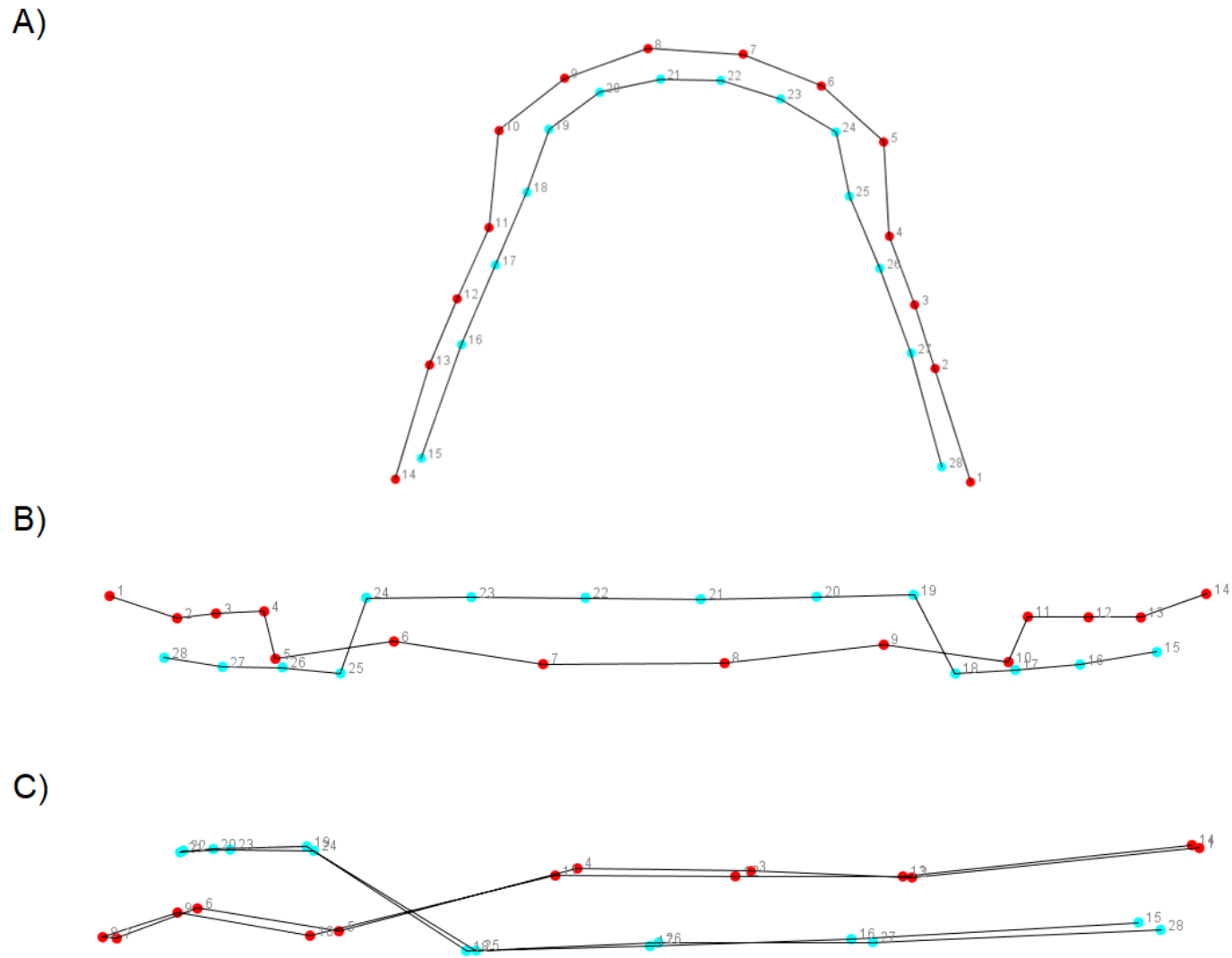


Figura 6. Wireframes que representan la forma de los arcos dentales en Morpho J. Los hitos se encuentran numerados del 1 al 28. Los hitos en rojo corresponden al arco dental maxilar y los azules al arco dental mandibular. Vistas en los planos A= horizontal, B= frontal y C= sagital.

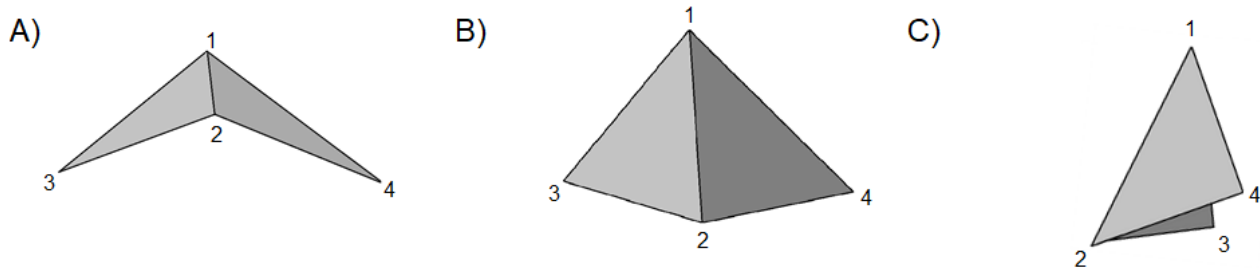


Figura 7. Wireframes que representan las posiciones mandibulares de MIC, lateralidad derecha, lateralidad izquierda y protrusión en vis a vis, a través de una pirámide. Vistas en los planos A= horizontal, B= frontal y C= sagital.; Hitos en las posiciones mandibulares 1= MIC; 2= Protrusión; 3= Lateralidad derecha; 4= Lateralidad izquierda

#### 6.4 Análisis:

Los análisis relativos a la forma del arco dental y las posiciones mandibulares fueron analizados por medio del método de morfometría geométrica a través del software MorphoJ (Klingenberg, 2011) en las dependencias del Laboratorio de Investigación Traslacional Craneofacial de la Facultad de Odontología de la Universidad de Chile.

Las coordenadas de los hitos, tanto de la forma de los arcos como de la pirámide de base triangular que describe las posiciones excéntricas mandibulares, fueron sometidas al análisis generalizado de Procrustes (GPA). Este análisis consiste en extraer información sobre la forma intrínseca de la estructura, para poder ser comparadas entre sí, la cual es independiente de la rotación, traslación y escala. Para esto, cada configuración de hitos, que determinan una forma, tiene un centroide que define la posición de la forma en el espacio. El centroide de cada forma es trasladado a un punto en común, eliminando el efecto de traslación de las formas. Además, cada configuración de hitos, una vez sometida a GPA, posee un tamaño independiente de la forma de la estructura. El tamaño del centroide es definido como la raíz cuadrada de la suma de las distancias al cuadrado de cada hito desde el centroide. Una vez obtenido el tamaño de centroide, éste es escalado, de manera de llevar todas las configuraciones a un tamaño de centroide =1. Por último, las configuraciones resultantes son rotadas de manera tal de llegar a un punto en que todas las formas se encuentren lo más cerca posible de una forma consenso o promedio y, por ende, sus diferencias morfológicas

estén libres de los efectos ya mencionados. De aquí se obtuvieron variables de la forma que se analizaron mediante análisis estadístico multivariado.

Las variables fueron estudiadas utilizando análisis exploratorios (análisis de componentes principales) que muestran los patrones generales de variación de la forma, y análisis confirmatorios (*partial least square analysis*) para testear la hipótesis de este trabajo, para ésto se utilizó el software MorphoJ.

#### 6.4.1 Análisis preliminares

Un potencial factor confundente es el error en la digitalización de hitos, el cual puede llevar a que la geometría de un individuo se altere de tal manera que quede como un dato atípico (*outlier*) que introduzca un error significativo en los resultados. El efecto del error de digitalización de las configuraciones de hitos fue evaluado mediante doble colocación de hitos por la misma operadora en distintas ocasiones (M. Muñoz), y evaluado mediante la función análisis de varianza (ANOVA) de Procusto en MorphoJ como la varianza debida a las diferencias entre individuos en relación a la varianza debida a las digitalizaciones repetidas de hitos (Fruciano, 2016).

Además, las configuraciones de hitos fueron sometidas al análisis de función discriminante (DFA) para estudiar si existe una diferencia significativa entre ambos sexos, y de ser así considerarlo en los análisis posteriores. Debido al reducido tamaño muestral, la significancia estadística se evaluó con test de permutación (10.000 rondas de permutaciones). Para ambos análisis preliminares el valor de significancia estadística fue fijado en  $p < 0,05$  (Eyquem y cols., 2019)

#### 6.4.2 Análisis exploratorios y confirmatorios

##### 6.4.2.1 Análisis de la morfología del arco dental y posiciones mandibulares excéntricas.

Para estudiar las variaciones de la forma de la morfología del arco dental y de la forma piramidal conformada por la unión de las distintas posiciones mandibulares, se realizó el

análisis de componentes principales (PCA). Este análisis muestra de manera decreciente y progresiva el patrón de covariación entre las variables de la forma (Slice, 2007), es decir, este análisis busca las características de la forma que más varían entre los individuos de la muestra, constituyendo los dos o tres primeros componentes principales (PCs) la mayor porción de variación de ésta (Jaramillo, 2011). Se trabajó en base a los PCA de los componentes principales que en conjunto explican la mayor porción de variación de las formas. Las descripciones de las variaciones de la forma representadas por cada PC fueron visualizadas a través de *wireframes* en los tres ejes del espacio, superponiendo cada componente principal sobre la configuración consenso de referencia.

Para la forma de los arcos dentales, se realizó un PCA con la finalidad de explorar la variación general de las formas de los arcos dentales en oclusión. De esta manera se permite la descripción de las variaciones tanto de la forma propia de los arcos dentales como de la relación interarcada.

#### 6.4.2.2 Análisis de covariación entre el arco dental maxilar y el arco dental mandibular.

Se realizó un análisis de *partial least squares* (PLS) para poder cuantificar y caracterizar el grado de covariación entre la morfología del arco maxilar y la morfología del arco mandibular. Ambas variables fueron consideradas en un bloque y tanto la significancia estadística (fijada en  $p < 0,05$ ) como el RV fueron evaluadas mediante 10.000 rondas de permutación. Las descripciones de las covariaciones de la forma entre los arcos dentales de cada PLS fueron visualizadas a través de un esquema de líneas (*wireframes*) en los tres ejes del espacio, superponiendo cada componente principal sobre la configuración consenso.

#### 6.4.2.3 Análisis estadístico y relación entre la morfología de los arcos dentales y las posiciones mandibulares excéntricas.

Se realizó un análisis de *partial least squares* (PLS) para poder cuantificar y caracterizar el grado de covariación entre la morfología de los arcos dentales en oclusión y las posiciones mandibulares excéntricas. Ambas variables fueron consideradas en dos bloques separados y

tanto la significancia estadística (fijada en  $p < 0,05$ ) como el RV fueron evaluadas mediante 10.000 rondas de permutación.

## 7. RESULTADOS

### 7.1 Análisis preliminares

El ANOVA de Procusto mostró que la varianza (cuadrados medios) debida a las diferencias entre individuos es varias veces más grande que la varianza debida a las digitalizaciones repetidas de hitos. Debido a esto, los efectos de error de medición son estadísticamente no significativos en ambos análisis (colocación de hitos de forma del arco y de posiciones mandibulares) (Tabla 3). Así, el error intraobservador no actúa como factor confundente en este estudio.

Tabla 3. Resultados del ANOVA de Procusto para 19 configuraciones de hitos originales y sus repeticiones en formas del arco dental y posiciones mandibulares, respectivamente.

#### ANOVA Forma del arco dental

Efecto	SC	CM	g.l.	F	p
Individual	$1,61 \times 10^{-1}$	$1,16 \times 10^{-4}$	1386	149,3	<b>&lt;0,0001</b>
Digitalización repetida de hitos	$1,14 \times 10^{-3}$	$7,8 \times 10^{-7}$	1463		

#### ANOVA Posiciones mandibulares

Efecto	SC	CM	g.l.	F	p
Individual	2,98	$3,31 \times 10^{-2}$	90	1640,7	<b>&lt;0,0001</b>
Digitalización repetida de hitos	$1,92 \times 10^{-3}$	$2,02 \times 10^{-5}$	95		

SC=Suma de cuadrados; CM=Cuadrados medios; g.l.=grados de libertad; F: estadístico ANOVA de Procusto; Individual=Variación entre individuos

Para estudiar si existe una diferencia significativa entre ambos sexos, las configuraciones de hitos del arco dental maxilar y mandibular fueron sometidas al análisis de función discriminante (DFA) por separado. No existe una diferencia estadísticamente significativa entre ambos sexos al realizar el DFA con 10.000 rondas de permutaciones (Tabla 4). Por esta razón, no se consideró de forma especial la distinción entre sexos al realizar los siguientes análisis.

Tabla 4. Análisis de función discriminante (DFA) para el arco maxilar y mandibular

Arco	Distancia de Procusto	p
Maxilar	0,74	0,98
Mandibular	0,17	0,99

## 7.2 Análisis exploratorios y confirmatorios

### 7.2.1 Análisis de la morfología del arco dental

Para estudiar las variaciones de la morfología del arco dental maxilar y mandibular en conjunto (en oclusión) se realizó el análisis de componentes principales (PCA). La variación de la morfología de los arcos dentales maxilar y mandibular en conjunto se explican mayoritariamente por los primeros tres componentes principales correspondientes al 59% de la varianza total (Figura 8 y Tabla 5).

Tabla 5. Porcentaje de varianza explicada por los primeros cinco componentes principales.

PC	% Varianza	% Varianza acumulada
PC1	30,749	30,749
PC2	17,764	48,513
PC3	10,715	59,228
PC4	7,694	66,922
PC5	6,902	73,823



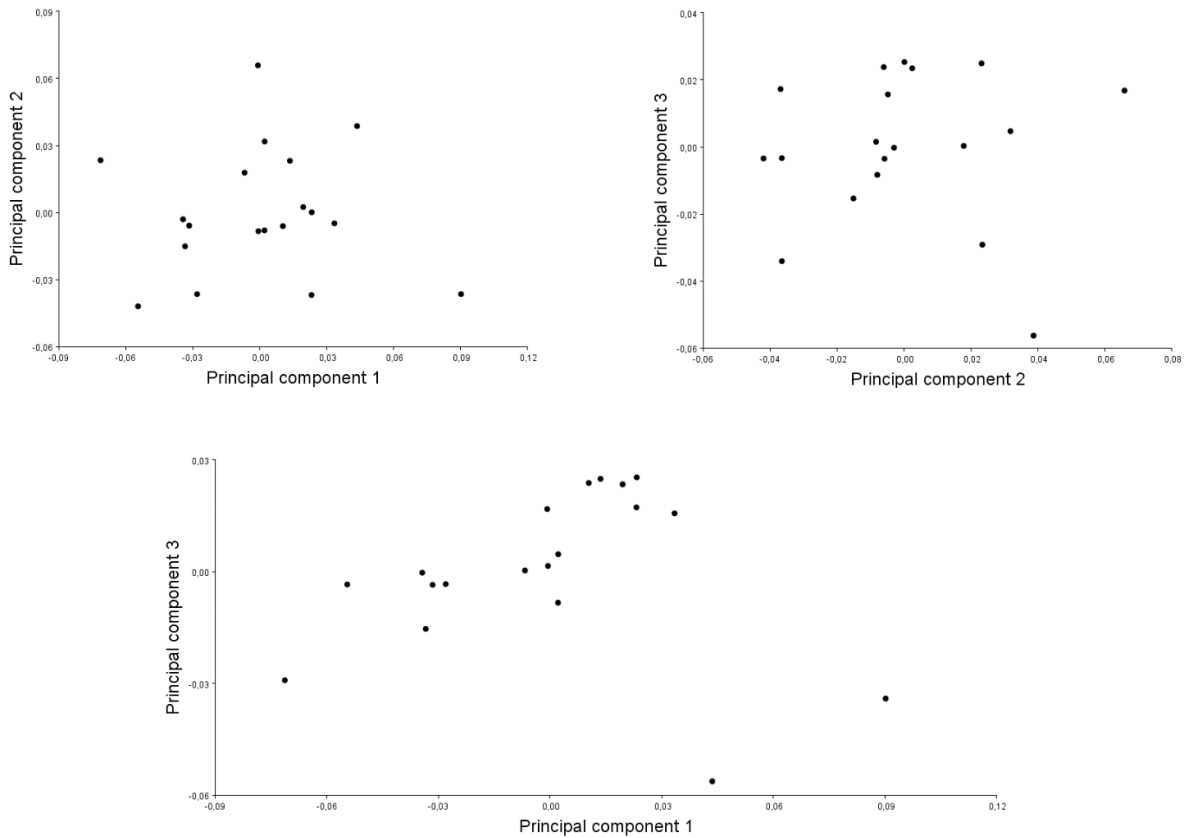


Figura 8. Análisis de componentes principales para la morfología del arco maxilar y mandibular. Gráficos de dispersión de los valores para los primeros tres componentes principales.

A continuación se describirá la variación de la morfología del arco maxilar y mandibular en conjunto de los primeros tres componentes principales (Figuras 8 a 10). Como se trata de una figura 3D, cada descripción compara la morfología que se encuentra hacia los valores extremos positivo y negativo del componente principal, por planos (horizontal, frontal y sagital). Las descripciones son acompañadas con gráficos que muestran dos columnas de imágenes: la izquierda corresponde al valor extremo negativo y la columna derecha, al extremo positivo. Los valores extremos fueron determinados según la posición del último individuo en ambos extremos de cada componente principal (Figura 8). Además, en las figuras 9 a 11, el wireframe de color gris corresponde a la morfología promedio de los arcos de todos los individuos, mientras que el wireframe de color negro representa la variación de la forma asociada a los valores extremos en cada componente principal.

### 7.2.1.1 Morfología de los arcos dentales: Primer componente principal (PC1)

El primer componente principal explica el 30,7% de la varianza total. Con respecto a la Figura 9, en el plano horizontal, los individuos con un valor hacia el extremo negativo presentan una lingualización de los molares inferiores conjunta con una palatinización de los molares superiores, en menor medida. A nivel del plano frontal, existe un mayor entrecruzamiento dentario anterior, con respecto al promedio, y por último, en el plano sagital, se observa una protrusión de los dientes anteriores. Por otro lado, los individuos hacia el extremo positivo presentan caracteres opuestos: se observa una vestibularización de los molares, un menor entrecruzamiento dentario anterior y una retrusión de los dientes anteriores.

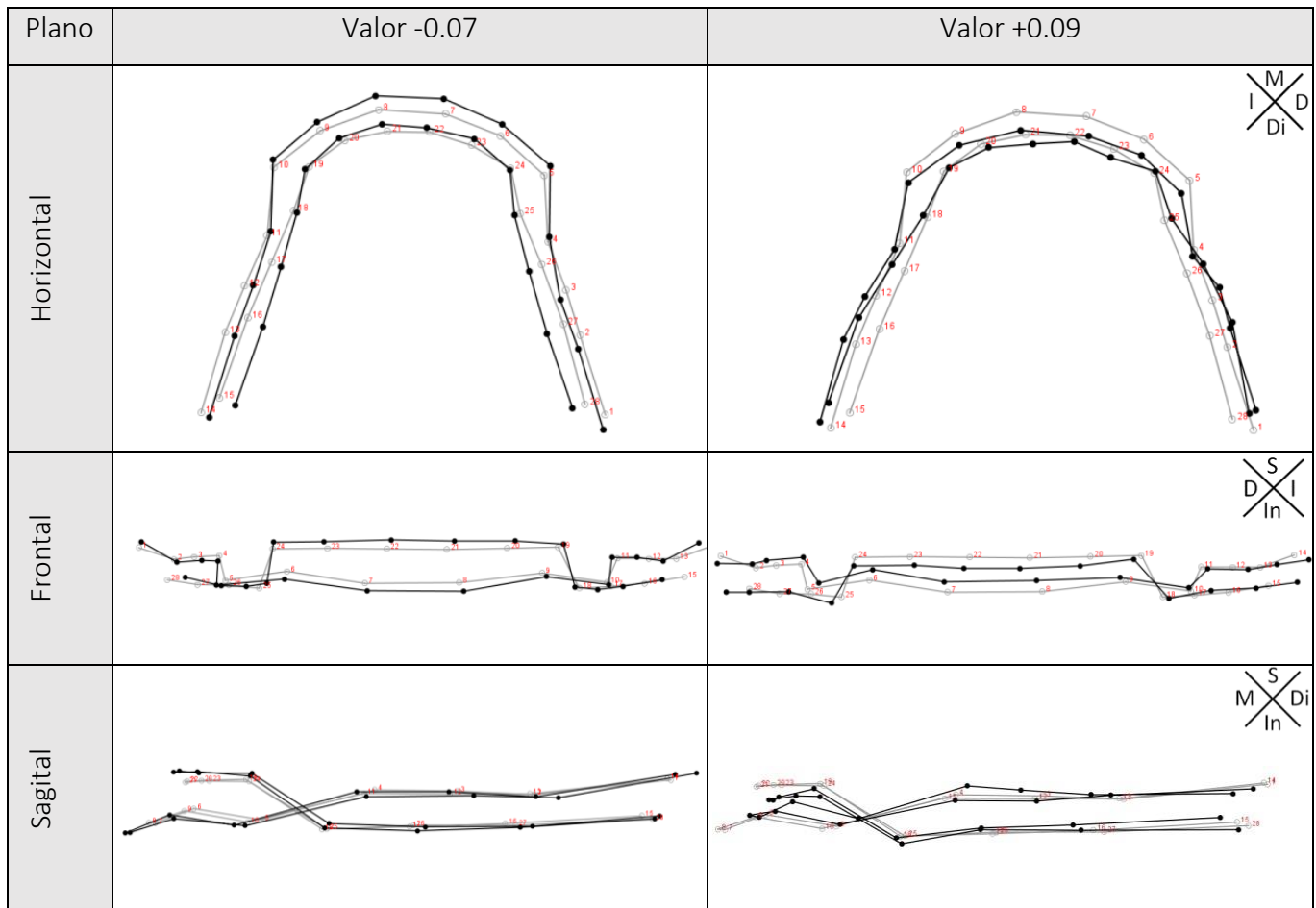


Figura 9. Variación de la forma del arco dental maxilar y mandibular para PC1. En cada vista se muestra la orientación del espacio por plano; M=mesial, Di=distal, D=derecha, I=izquierda, S=superior, In=inferior

### 7.2.1.2 Morfología de los arcos dentales: Segundo componente principal (PC2)

El segundo componente principal corresponde a un 17,7% de la varianza total. En la Figura 10 podemos observar los cambios de morfología de los arcos dentales para PC2. Los individuos con un valor hacia el extremo negativo muestran una leve palatinización de los molares maxilares, sin tener una variación en el plano horizontal de los molares inferiores. En el plano frontal se presenta un menor entrecruzamiento dentario, sugiriendo un menor overbite en el individuo. En el plano sagital se observa una mesialización de los dientes posteroinferiores, sugiriendo una tendencia a clase III de Angle. Por el contrario, los individuos hacia el extremo positivo en el plano horizontal presentan una leve vestibularización de los molares superiores. Además de presentar una imagen sugerente de un mayor overbite y tendencia a clase II de Angle.

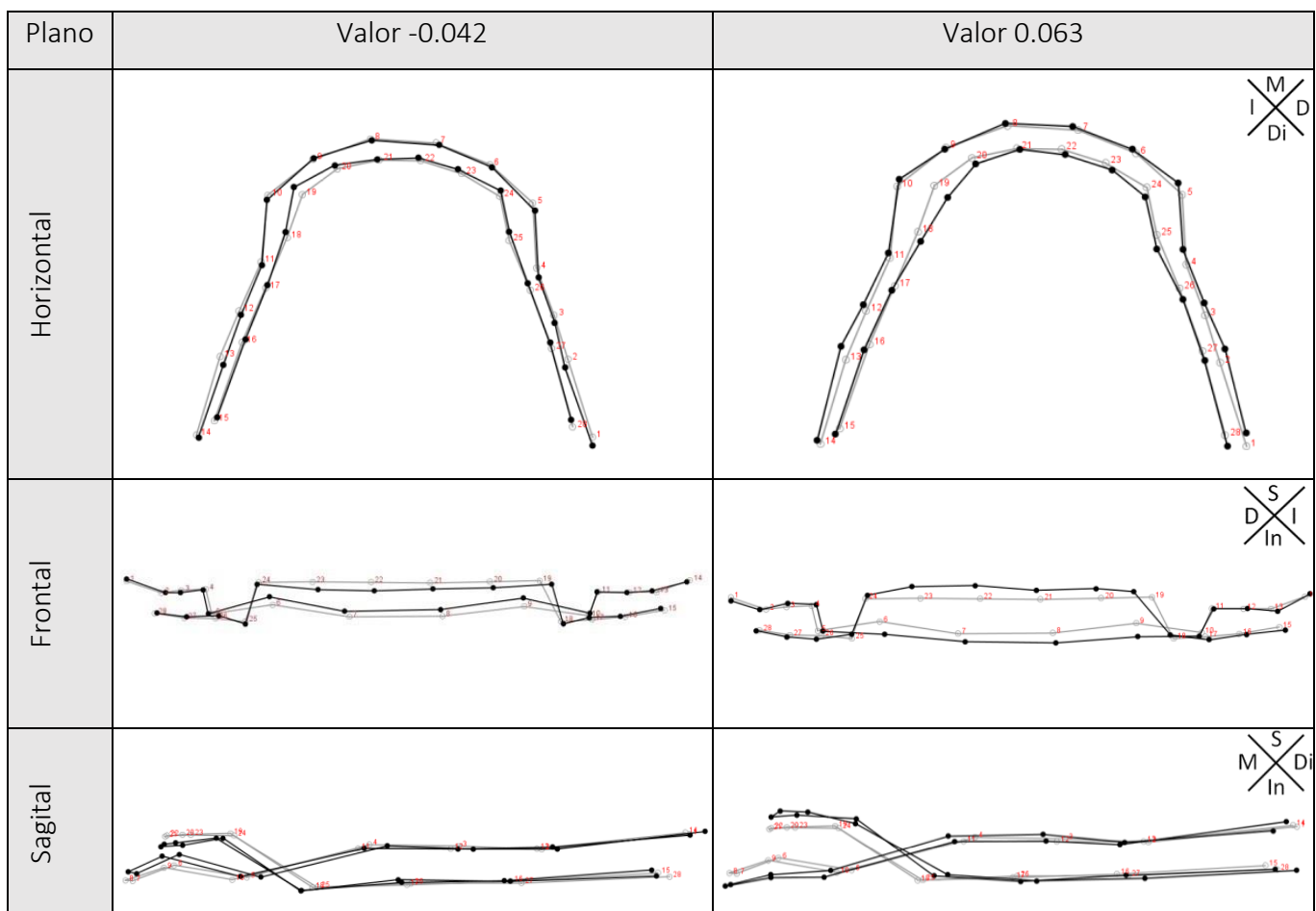


Figura 10. Variación de la forma del arco dental maxilar y mandibular para PC2. En cada vista se muestra la orientación del espacio por plano; M=mesial, Di=distal, D=derecha, I=izquierda, S=superior, In=inferior

### 7.2.1.3 Morfología de los arcos dentales: Tercer componente principal (PC3):

El tercer componente principal corresponde a un 10,7% de la varianza total. A diferencia de los otros dos componentes principales ya descritos, el PC3 presenta una variación de la forma menor en relación con el promedio. La mayor variación se puede observar en el plano horizontal, en los individuos hacia el extremo negativo. Existe una leve lingualización de los dientes posteroinferiores, además de una vestibularización del canino derecho inferior. Por otra parte, los individuos hacia el extremo positivo no muestran grandes variaciones respecto del promedio ya que sus valores absolutos en PC3 son comparativamente menor a los individuos del extremo negativo (Figura 11).

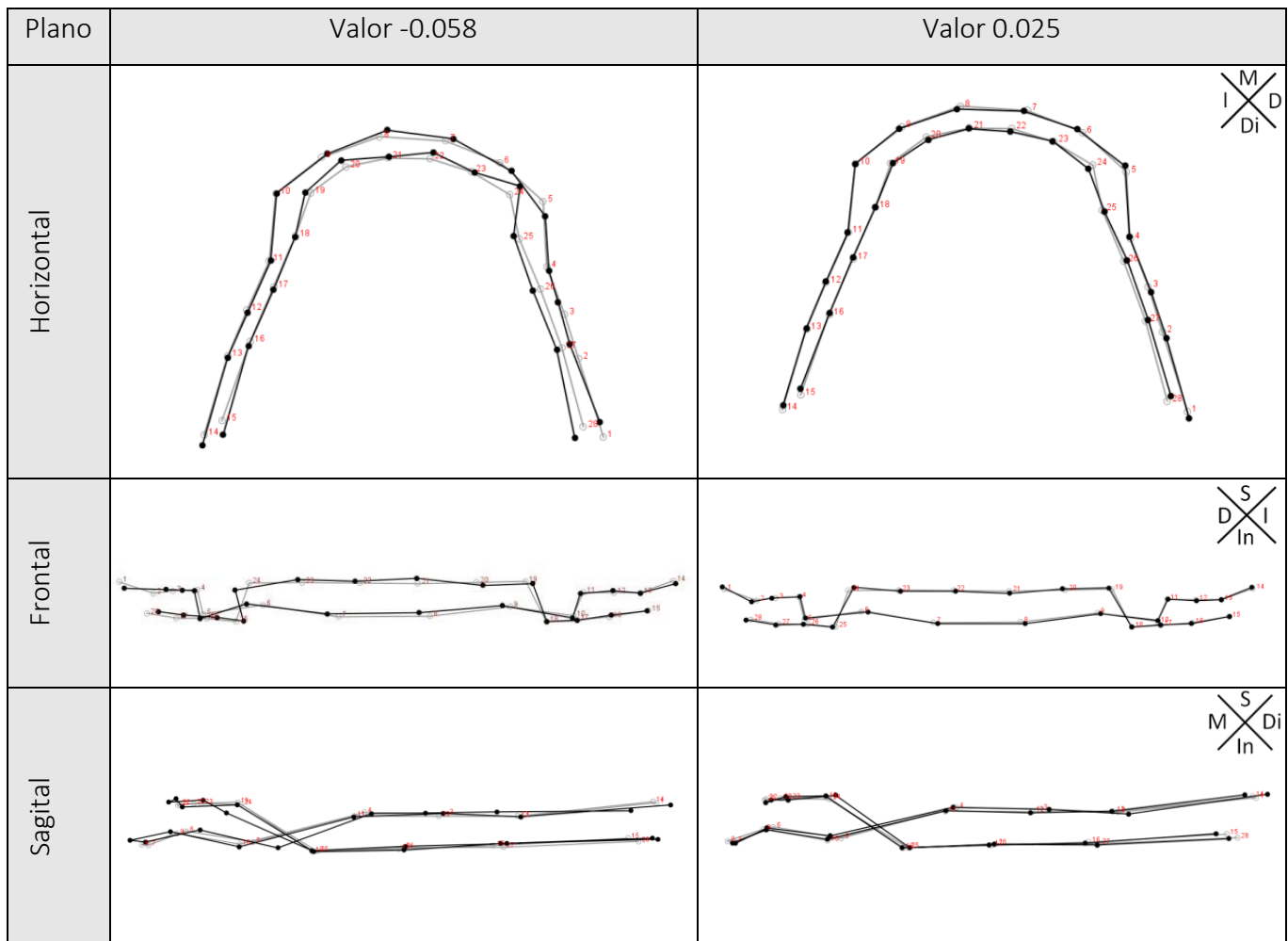


Figura 11. Variación de la forma del arco dental maxilar y mandibular para PC3. En cada vista se muestra la orientación del espacio por plano; A=anterior, P=Posterior, D=derecha, I=izquierda, S=superior, In=inferior

### 7.2.2 Análisis de las posiciones mandibulares excéntricas

Para estudiar cómo varían las posiciones mandibulares de MIC, lateralidad derecha, lateralidad izquierda y protrusión en vis a vis también se realizó un análisis de componentes principales (PCA). Para facilitar la comparación de las posiciones mandibulares, se unió cada posición mediante una recta, formando una pirámide de base triangular. La variación de las posiciones mandibulares en conjunto, se explican mayoritariamente por los primeros dos componentes principales, correspondientes al 70,5% de la varianza total (Figura 12 y Tabla 6).

Tabla 6. Porcentaje de varianza de los cinco componentes principales

PC	% Varianza	% Acumulado
PC1	51,854	51,854
PC2	18,652	70,506
PC3	12,526	83,903
PC4	11,152	94,184
PC5	5,816	100

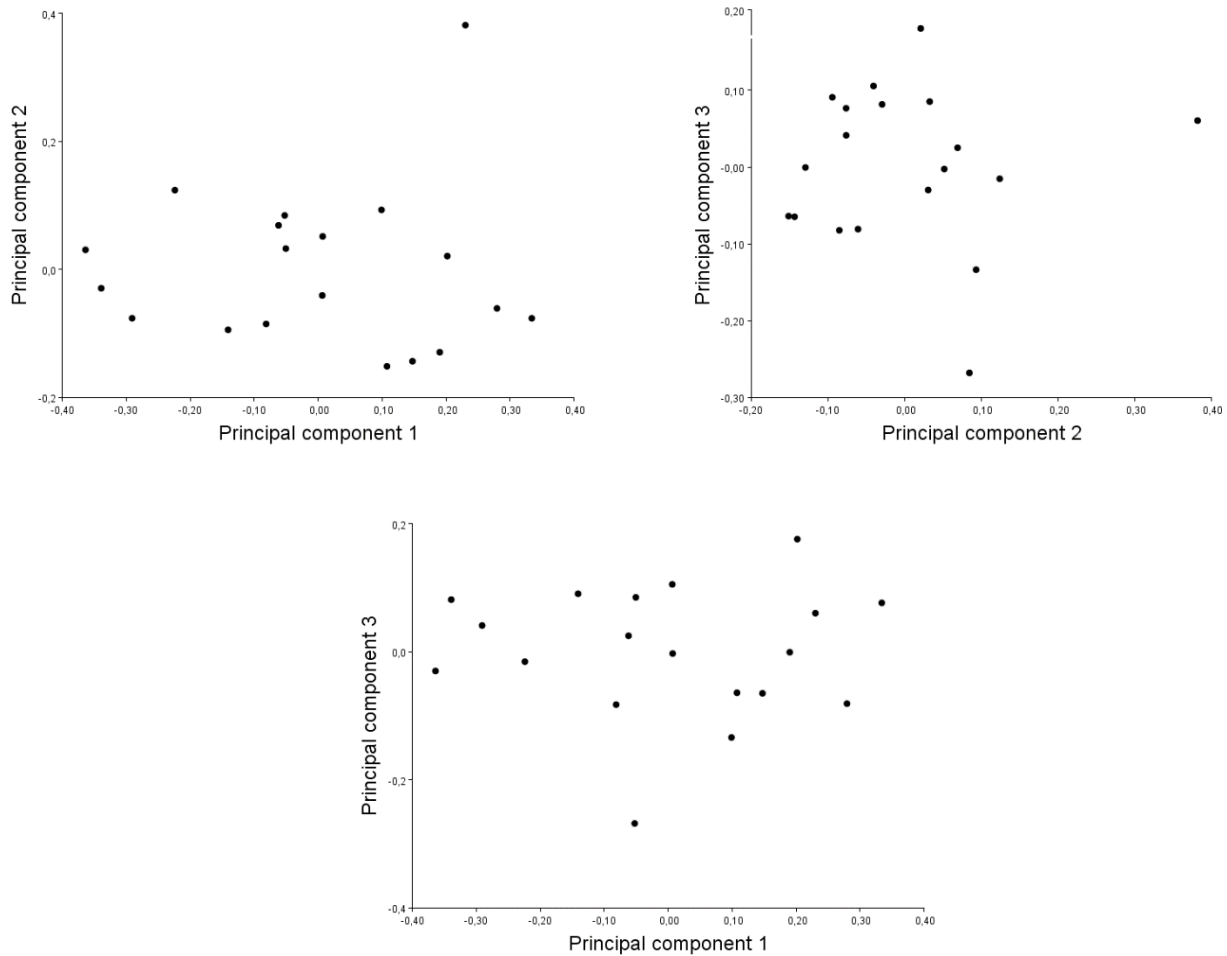


Figura 12. Análisis de componentes principales para las posiciones mandibulares excéntricas. Gráficos de dispersión de los valores para los primeros tres componentes principales. Las figuras corresponden al grado de variación de las posiciones mandibulares de PC1, PC2 y PC3, vistas en el plano frontal.

A continuación, se describirán las figuras obtenidas de los primeros tres componentes principales para las posiciones mandibulares (Figura 13 a 15). Como se hizo para el análisis de morfología del arco, los wireframe representan a las posiciones mandibulares de MIC, protrusión, lateralidad derecha e izquierda a través de una pirámide en los tres planos del espacio (horizontal, frontal y sagital). Los wireframes son comparados con el wireframe promedio.

### 7.2.2.1 Posiciones mandibulares: Primer componente principal (PC1)

El primer componente principal corresponde a un 51,8% de la varianza total. Los individuos con un valor hacia el extremo negativo muestran un menor rango de amplitud en las lateralidades derecha e izquierda en el plano horizontal, mientras que la protrusión tiene un mayor rango de amplitud tanto en el plano frontal como en el plano sagital. Por el contrario, los individuos que presentan un valor hacia el extremo positivo, tienen una mayor amplitud de movimiento horizontal en las lateralidades y una protrusión disminuida en el plano frontal y sagital en comparación a la figura promedio (Figura 13).

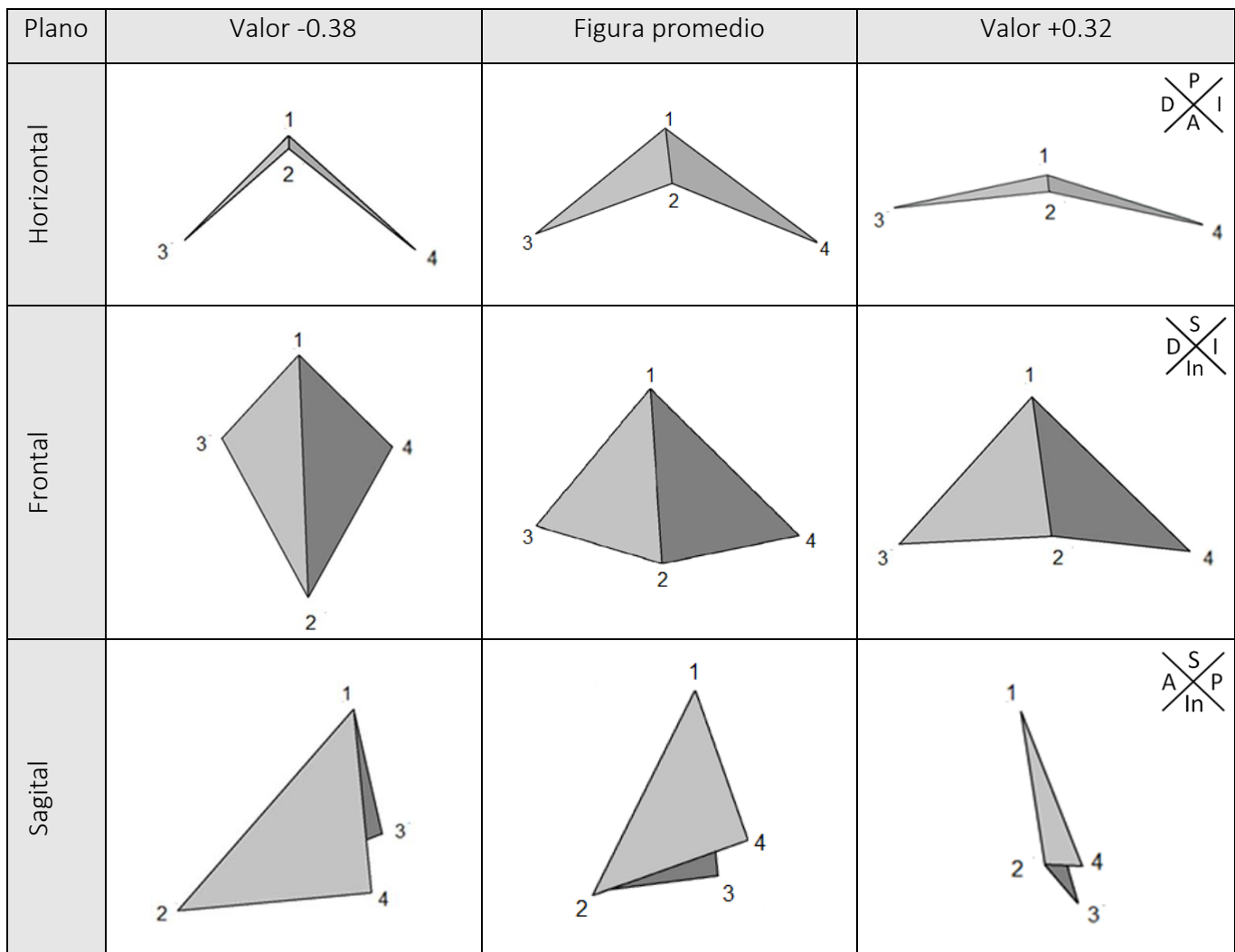


Figura 13. Variación de las posiciones mandibulares para PC1. En cada vista se muestra la orientación del espacio por plano; A= anterior, P= posterior, D= derecha, I= izquierda, S= superior, In= inferior . Hitos; 1= MIC, 2= protrusión, 3= lateralidad derecha, 4= Lateralidad izquierda

### 7.2.2.2 Posiciones mandibulares: Segundo componente principal (PC2)

El segundo componente principal corresponde a un 18,6% de la varianza total. Los individuos con un valor hacia el extremo negativo muestran una disminución de la amplitud de la lateralidad izquierda en el plano horizontal y un aumento en amplitud de la lateralidad derecha. Por el contrario, los individuos hacia el extremo positivo muestran una diferencia mayor en las lateralidades, ya que en términos de valores absolutos el extremo positivo es mayor al extremo negativo. La lateralidad izquierda en el valor positivo presenta una mayor amplitud en el plano horizontal y frontal, mientras que la lateralidad derecha tiene una amplitud menor. La protrusión presenta una leve desviación hacia el lado izquierdo en el plano horizontal (Figura 14).

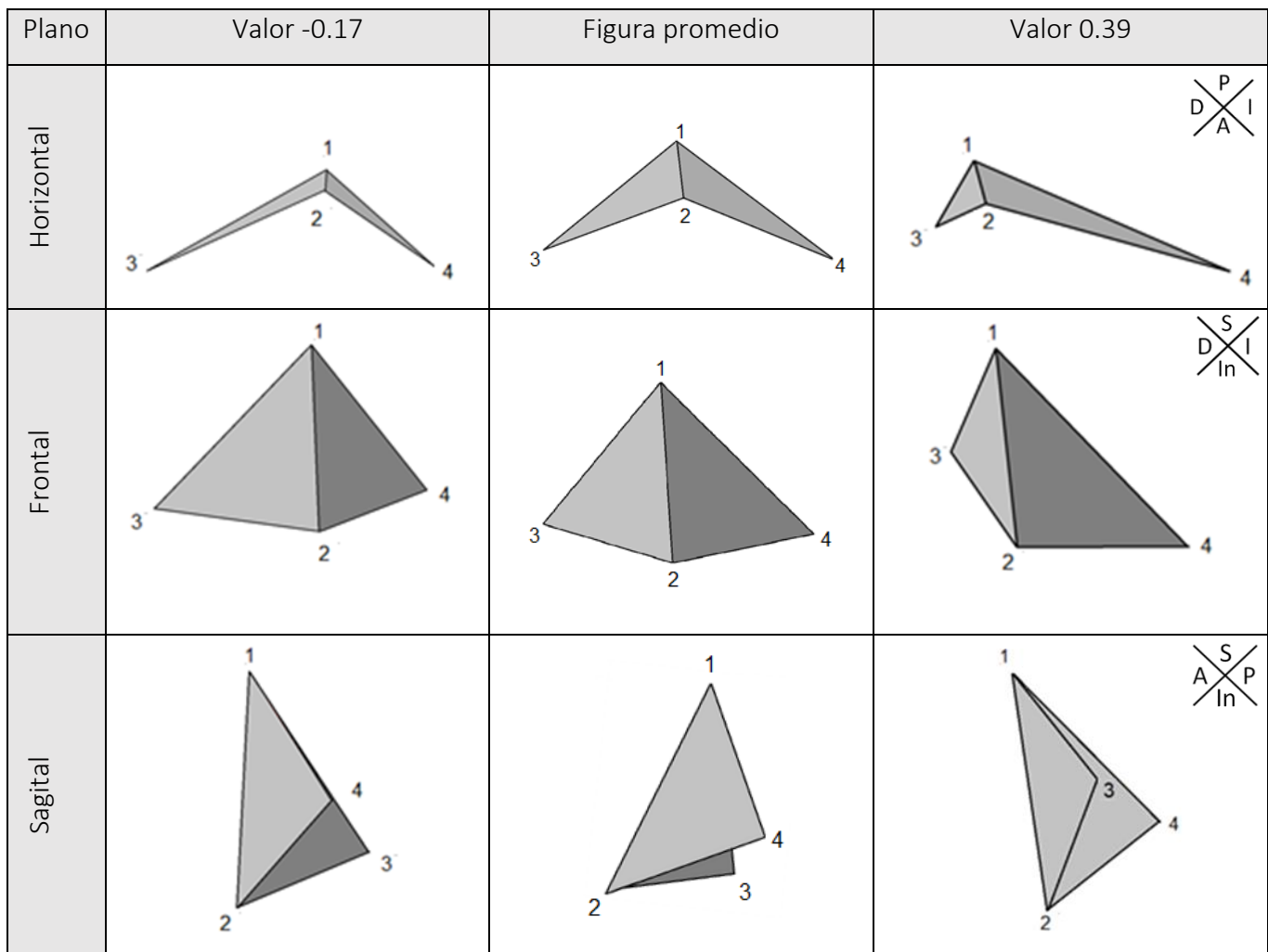


Figura 14. Variación de las posiciones mandibulares para PC2. En cada vista se muestra la orientación del espacio por plano; A= anterior, P= posterior, D= derecha, I= izquierda, S= superior, In= inferior  
 . Hitos; 1= MIC, 2= protrusión, 3= lateralidad derecha, 4= Lateralidad izquierda



### 7.2.2.3 Posiciones mandibulares: Tercer componente principal (PC3)

El tercer componente principal corresponde a un 12,5% de la varianza total. Los individuos hacia el extremo negativo muestran un punto de protrusión con desviación hacia la izquierda con respecto a MIC. En cambio, en los individuos hacia el extremo positivo se muestra una desviación del punto de protrusión hacia la derecha (Figura 15).

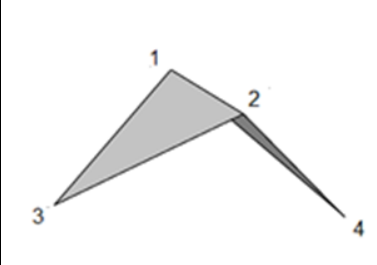
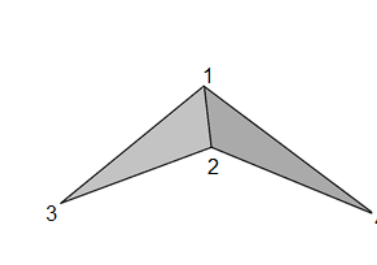
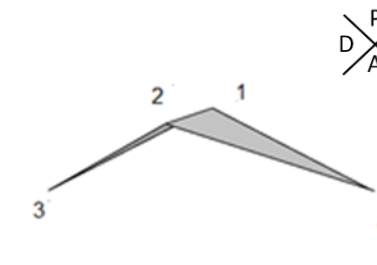

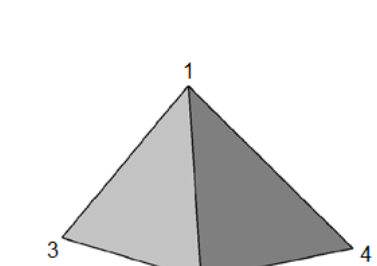
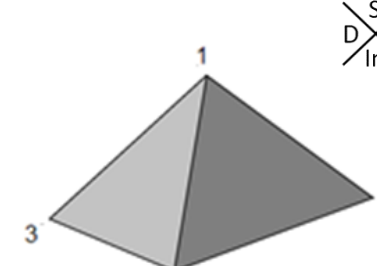
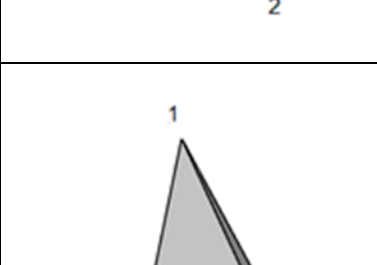
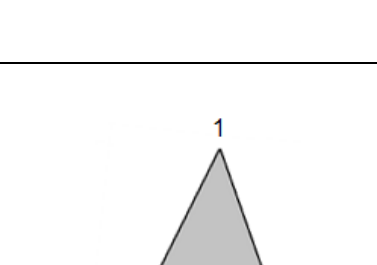
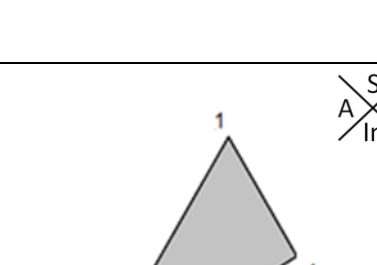
Plano	Valor -0.25	Figura promedio	Valor 0.18
Horizontal			 <div style="text-align: right; font-size: small;"> <del>           P D A I         </del> </div>
Frontal			 <div style="text-align: right; font-size: small;"> <del>           S D In I         </del> </div>
Sagital			 <div style="text-align: right; font-size: small;"> <del>           S P A In         </del> </div>

Figura 15. Variación de las posiciones mandibulares para PC3. En cada vista se muestra la orientación del espacio por plano; A= anterior, P= posterior, D= derecha, I= izquierda, S= superior, In= inferior . Hitos; 1= MIC, 2= protrusión, 3= lateralidad derecha, 4= Lateralidad izquierda

### 7.2.3 Análisis de covariación entre el arco dental maxilar y el arco dental mandibular

Para cuantificar el grado de covariación entre la morfología del arco maxilar y la morfología del arco mandibular, se realizó un PLS, considerando a ambos subsets de hitos como parte de una misma estructura. Respecto de la computación del grado de covariación, es relevante que los datos a analizar sean o no parte de una misma estructura (Klingenberg, 2009). Luego de 10.000 rondas de permutación, el grado de covariación resultó ser significativo ( $p < 0,05$ ) y con una alta fuerza de asociación, ya que el coeficiente RV se encuentra cercano a 1 (Tabla 7).

Tabla 7. PLS del arco maxilar versus el arco mandibular. p= Valor de p; RV= coeficiente de RV.

RV	p
0,749	<0,0001

El grado de covarianza entre los arcos se explica mayoritariamente por los primeros dos PLS principales, correspondientes al 83,5% de la covarianza total (Tabla 8 y Figura 16).

Tabla 8. PLS entre arco dental maxilar y arco dental mandibular

PLS	Valor singular	Valor de p1	% Total covarianza	Correlación (r)	Valor de p2
PLS 1	$6,4 \times 10^{-4}$	<0,0001	60,886	0,882	0,016
PLS 2	$3,9 \times 10^{-4}$	<0,0001	22,649	0,967	<0,0001
PLS 3	$2 \times 10^{-4}$	0,092	5,846	0,895	0,054
PLS 4	$1,5 \times 10^{-4}$	0,024	3,583	0,866	0,173
PLS 5	$1,4 \times 10^{-4}$	<0,0001	3,232	0,93	0,004

Valor de P1= Valor de p del valor singular; Correlación= Correlación entre los PLS de cada block (arco dental maxilar y arco dental mandibular); Valor de P2= Valor de p de las correlaciones de los PLS.

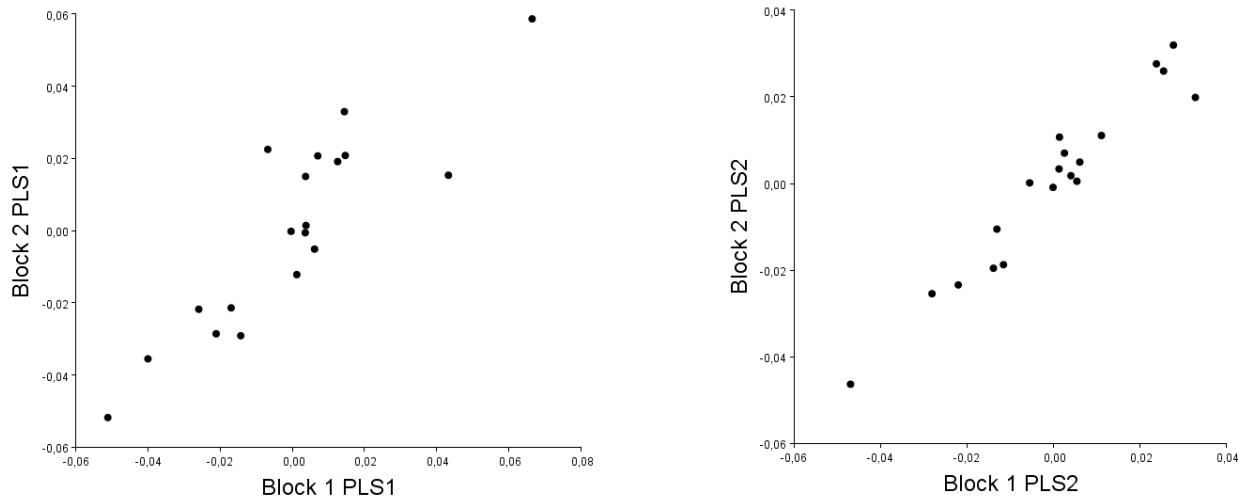


Figura 16. Análisis de PLS entre el arco maxilar y el arco mandibular. Gráficos de dispersión de los valores para PLS1 y PLS2. Block 1= Arco dental maxilar; Block 2= Arco dental mandibular.

A continuación, se describirán las figuras obtenidas del PLS1 y PLS2 (Figuras 17 a 18). Como se hizo para el análisis de componentes principales, las figuras son visualizadas a través de wireframes en los planos horizontal, frontal y sagital. Los wireframes de color negro corresponden a las variaciones de la forma del arco dental, y estos son comparados con el wireframe que representa la forma del arco dental promedio de color gris. Los hitos rojos corresponden a los hitos del maxilar, y los celestes a los hitos de la mandíbula.

## 7.2.3.1 Arco maxilar y arco mandibular: PLS 1

El primer PLS explica la mayoría de la covarianza entre los arcos (60,8%). En sentido horizontal, los individuos que están hacia los valores extremos negativos presentan una lingualización de los dientes posteroinferiores y una palatinización de los posterosuperiores en menor medida. Además, hay un mayor entrecruzamiento dentario anterior en comparación al promedio, y en el plano sagital mantiene una protrusión incisiva. En cambio, en los valores extremos positivos, existe una vestibularización de los dientes posteriores, conjunta con un menor entrecruzamiento dentario anterior y una retrusión incisiva (Figura 17).

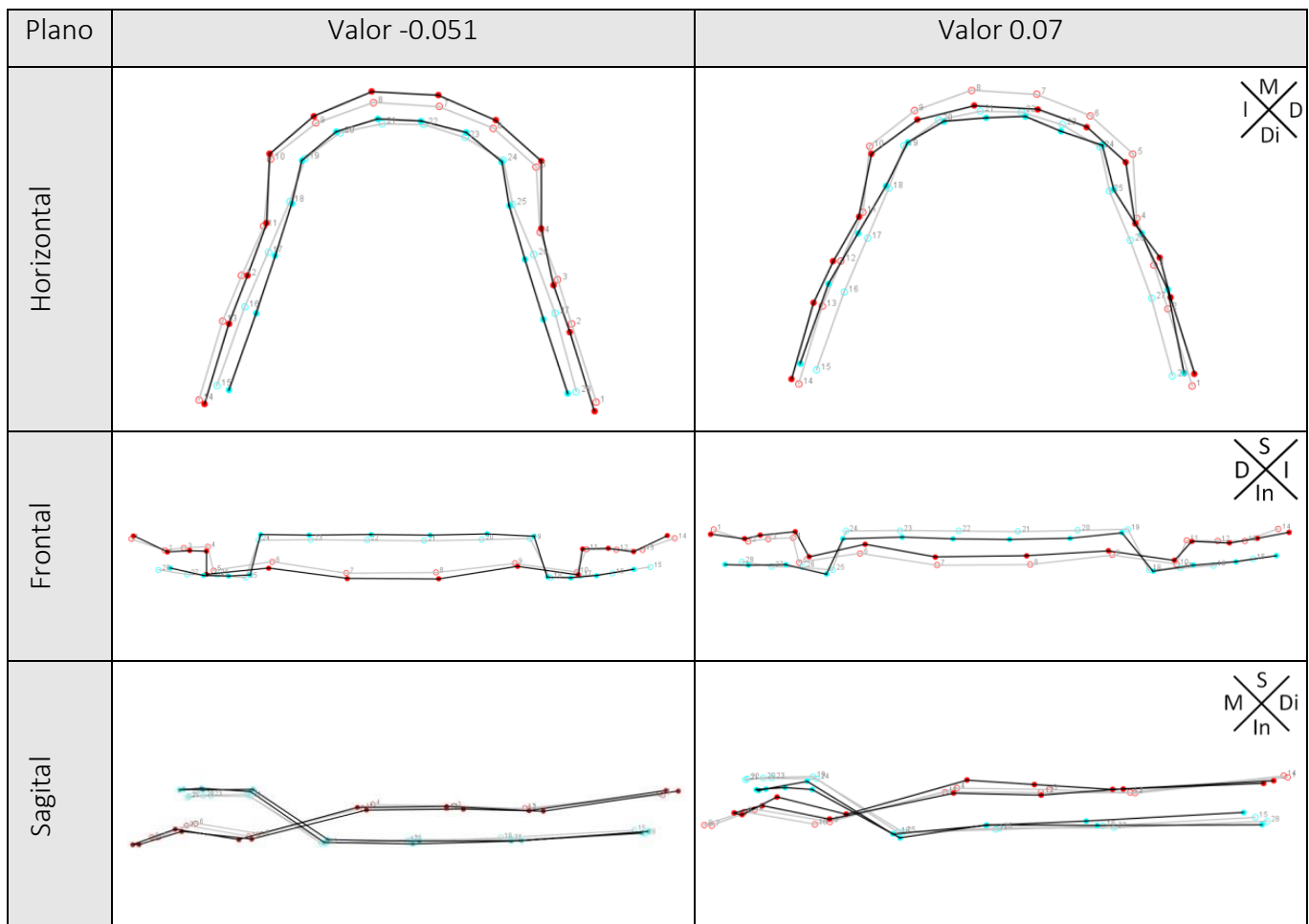


Figura 17. Covariación de la forma entre los arcos dentales en PLS1. En cada vista se muestra la orientación del espacio por plano; M=mesial, Di= distal, D= derecha, I= Izquierda, S= Superior, In= Inferior.

### 7.2.3.2 Arco maxilar y arco mandibular: PLS2

El PLS 2 explica el 22% de la covarianza total de los arcos dentales. Los individuos hacia el extremo negativo muestran una leve vestibularización de los molares superiores en el plano horizontal. Además, un entrecruzamiento dentario anterior aumentado con respecto al promedio, y por último una distalización de los dientes posteroinferiores. Por el contrario, en los valores extremos positivos se muestra una palatinización de los molares superiores, un menor entrecruzamiento dentario anterior y una mesialización de los dientes posteroinferiores (Figura 18).

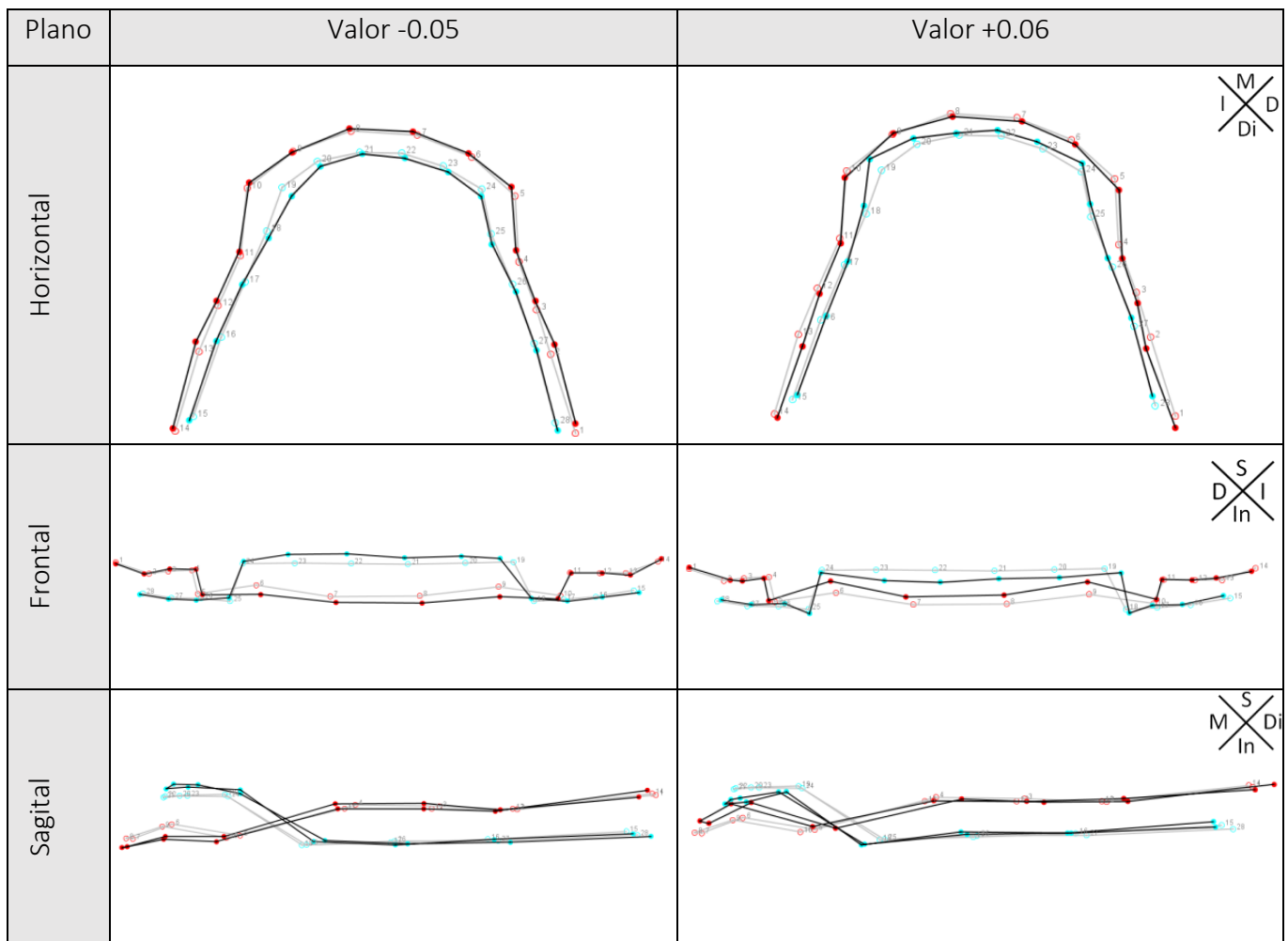


Figura 18. Covariación de la forma entre los arcos dentales en PLS2. En cada vista se muestra la orientación del espacio por plano; M=mesial, Di= distal, D= derecha, I= Izquierda, S= Superior, In= Inferior.

#### 7.2.4 Análisis estadístico y relación entre la morfología de los arcos dentales y las posiciones mandibulares excéntricas

Para cuantificar y caracterizar el grado de covariación entre la morfología de los arcos dentales en oclusión y las posiciones mandibulares excéntricas, se realizó un análisis de partial least squares (PLS), considerando a las dos variables en dos bloques separados. Luego de 10.000 rondas de permutación, el grado de covariación resultó ser estadísticamente no significativo ( $p > 0,05$ ) (Tabla 9).

Tabla 9. PLS de los arcos dentales en oclusión versus las posiciones mandibulares excéntricas.

RV	P
0,266	0,288

## 8. DISCUSIÓN

La presente tesis corresponde a un estudio transversal y observacional cuyo objetivo principal fue estudiar y describir la variación de la morfología y la relación de los arcos dentales maxilar y mandibular entre sí, además de la relación entre los arcos dentales y las posiciones excéntricas mandibulares en vis a vis, mediante la utilización de morfometría geométrica. Se propuso como hipótesis que existe una relación entre los componentes mencionados. Para poner a prueba esta hipótesis, se realizaron distintos tipos de análisis. Dentro de los análisis preliminares, el DFA mostró que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre los sexos en la morfología de los arcos dentales, por lo que se agruparon todos los individuos en los siguientes análisis. Por otra parte, los análisis exploratorios (PCA) permitieron una visualización general y una descripción de las variaciones de las formas de los arcos dentales y de las posiciones mandibulares, evidenciando los patrones de variación general de la forma en ambos. Específicamente en el PCA de los arcos dentales, se obtuvo información tanto de la morfología de los arcos dentales en conjunto, como de su relación interarcada. Por último, los análisis confirmatorios (PLS) revelaron que existe un grado de covariación estadísticamente significativo y alta fuerza de asociación entre el arco dental maxilar y el arco dental mandibular, pero no existe una relación estadísticamente significativa entre la relación morfológica de los arcos dentales y las posiciones mandibulares excéntricas, confirmándose parcialmente la hipótesis planteada. Estos resultados son discutidos a continuación.

En el análisis de componentes principales de la morfología de los arcos dentales, el primer componente principal explica el 30,7% de la varianza total. Éste muestra cómo la morfología de los arcos maxilar y mandibular varía de una forma parabólica (con una sugerente compresión maxilar, protrusión incisiva, un overbite y overjet mayor al promedio y un arco alargado sagitalmente) a un arco de forma ovoide (con amplios arcos dentales en sentido transversal, retrusión incisiva, un overbite y overjet menor al promedio y un arco más corto sagitalmente) (Figura 8). Este primer componente principal se condice con estudios realizados por Nakatsuka y cols. (2004) y Kumabe y cols. (2005), los cuales encontraron por medio de morfometría lineal un patrón similar del primer componente principal (variando de una forma ovoide a una forma parabólica) de las formas de los arcos dentales en humanos.

Cabe destacar que esta variación de la forma del arco dental no solo se relaciona con humanos, sino que también con otros hominoideos.

En el estudio de Stelzer y cols. (2017) el patrón de variación principal de las formas de los arcos de distintos hominoideos (chimpancés, bonobos, gorilas, gibones y humanos) también es similar al primer componente principal que se obtuvo en esta tesis, variando el arco dental de una forma en U a una forma parabólica. El estudio de Stelzer y cols. (2017) muestra que, a pesar de compartir un patrón de variación similar entre los hominoideos, los humanos se encuentran notoriamente separados del resto, ya que el primer componente principal de dicho estudio deja en un extremo a los humanos con arcos cortos y parabólicos y pequeños caninos, y en el extremo opuesto al resto de los primates con un arco dental en forma de U, con la fila de dientes posteriores más paralelas y grandes caninos. Stelzer y cols. (2017) postulan que con la reducción del tamaño del canino y el espacio de primates, los incisivos se han movido de forma más posterior, creando un arco dental de forma parabólica en el humano moderno. Cabe destacar que nuestros resultados coinciden solo en el plano horizontal, ya que los estudios recientemente mencionados no analizan el plano frontal ni sagital. Es pertinente a futuro comparar los patrones de variación de los arcos dentales en distintos hominoideos, incluyendo al hombre contemporáneo, en los tres planos del espacio para aportar y entender de mejor manera la evolución de los arcos dentales. Finalmente, otra diferencia pesquisada en este estudio entre el humano moderno con el resto de los homonideos, corresponde al grado de dimorfismo sexual en los arcos dentales. En términos anatómicos generales, los humanos contemporáneos son dimórficos, pero en menor medida que otros homínidos (gorilas y orangutanes) con un índice de diferencia corporal entre sexos de un 4 a 7% (Larsen, 2003; Moreno-Gómez, 2013).

Enfocándonos en el arco dental y el dimorfismo sexual, durante la evolución del ser humano, el tamaño y los caracteres dimórficos de los arcos dentales y de los dientes han ido decreciendo (Labajo y cols., 2005; Plavcan, 2012). Toro-Ibacache y cols. (2019) postulan que el dimorfismo sexual no es una característica dominante en el humano contemporáneo y que puede llegar a niveles muy sutiles en la mandíbula. Al realizar el análisis de función discriminante por sexo en esta tesis, se obtuvo que no existe una diferencia estadísticamente significativa entre los sexos en la morfología de los arcos dentales maxilar ni mandibular.



Stelzer y cols. (2017) obtuvieron los mismos resultados: mientras existe un dimorfismo sexual marcado en simios, los humanos contemporáneos no presentan una diferencia estadísticamente significativa en la forma de los arcos dentales. Las causas del decreciente dimorfismo sexual pueden involucrar diversos mecanismos. Larsen (2003) establece que los primates con un alto nivel de dimorfismo son aquellos que tienden a tener altos niveles de competencia y enfrentamientos entre machos, método que utilizan para poder aparearse. Con la evolución del género *Homo*, han aprendido a convivir en conjunto sin necesidad de enfrentarse físicamente, disminuyendo ciertos caracteres sexuales que le permitían destacarse sobre sus pares. Por otra parte, Labajo y cols. (2005) sugieren que el desarrollo de la industria lítica y el cambio de alimentación en el humano moderno también son factores que reducen el dimorfismo sexual en los arcos dentales. Estas razones permiten al hombre no necesitar arcos prognáticos que favorecen la prensión de alimentos ni tener caninos prominentes. El cambio de alimentación experimentado en el género *Homo* será detallado más adelante.

El humano contemporáneo, en comparación con los simios, no solo presenta diferencias morfológicas y de dimorfismo sexual, sino que también manifiesta diferencias en el grado de integración entre los componentes craneofaciales. Con respecto a la covariación morfológica entre los arcos dentales maxilar y mandibular, nuestros resultados arrojaron una covariación estadísticamente significativa ( $p < 0,05$ ) y con una alta fuerza de asociación ( $RV = 0,7$ ). Esto quiere decir que ambas estructuras se encuentran altamente integradas. Este alto grado de integración entre los arcos dentales se ve reflejado en el análisis PLS de este estudio; si un arco dental tiene una morfología determinada, el arco dental opuesto mantiene una morfología similar. Para graficarlo, el PLS1 (60,8% de la covarianza total) muestra que los individuos que se encuentran hacia el extremo positivo presentan un arco dental mandibular de forma ovoide, corto sagitalmente y con dientes anteriores intruidos con respecto al promedio, asociado a un arco dental maxilar de características similares (forma ovoide, arco corto y dientes anteriores intruidos) determinando un menor overbite y overjet. Por otra parte, los individuos que se encuentran hacia el extremo negativo del PLS1 presentan tanto un arco dental maxilar y mandibular en forma parabólica, alargado y con dientes anteriores extruidos determinando un mayor overbite y overjet (Fig. 16).

Sin embargo, en el PLS 2 (22% de la covarianza total) la integración de los arcos se refleja de manera distinta; mientras un arco dental presenta dientes anteriores protruidos y posteriores mesializados, el arco opuesto presenta dientes anteriores retruidos y posteriores distalizados. Los individuos hacia el extremo positivo presentan una morfología afín a la clase III de Angle y, por el contrario, los individuos que se encuentran hacia el extremo negativo presentan una morfología afín a la clase II de Angle.

El alto grado de integración de los arcos dentales en humanos obtenidos en este estudio coinciden con los resultados de covariación entre los arcos dentales en el hombre contemporáneo de Miller y cols. (2016) y Stelzer y cols. (2017). Sin embargo, Stelzer y cols. (2017) al comparar en su estudio a los humanos con el resto de los hominoideos, el hombre moderno resultó tener un grado de covariación menor. Lieberman (2011) establece que cuando dos estructuras covarían no es simple determinar cuáles son los mecanismos de selección natural que influyeron en la forma obtenida. Durante la evolución del humano, se ha producido una reducción en la intensidad de la carga masticatoria debido a cambios en la alimentación. Hoy en día, los alimentos son altamente procesados mediante técnicas mecánicas y químicas, lo que permite tener una fuerza masticatoria menor. Los taxones que dependen de una dieta dinámica y mecánicamente desafiante tienen una integración más fuerte del maxilar y de la mandíbula, y viceversa. Esta razón podría explicar el por qué, a pesar de tener un patrón de covariación alto en términos absolutos, los humanos tienen un patrón de covariación más bajo en comparación al resto de los hominoideos.

Otro aspecto que alteraría el cambio de dieta en el hombre contemporáneo es la variación morfológica de los arcos dentales. Toro-Ibacache y cols. (2019) sugirieron que la falta de carga masticatoria reduce las limitaciones funcionales del desarrollo del cráneo, dando un mayor rango de variación morfológica. Respecto al maxilar y la mandíbula, von Cramon-Taubadel (2011) postula que la mandíbula es la estructura más afectada por las fuerzas masticatorias, seguido del maxilar. Eyquem y cols. (2019), por otra parte, mantienen que la forma del maxilar se ve afectada en mayor medida en comparación con el resto del esqueleto craneofacial, pero aun así este efecto no es determinante y la emergencia de otros factores podría ser más relevante que las mínimas fuerzas masticatorias, aumentando así la variación morfológica de los arcos dentales. Este aumento de variación morfológica daría paso a una

variación en el sentido sagital principalmente, como se evidenció en el PC2. Con la industrialización, hubo un gran deterioro de la salud oral. El abandono de una dieta cazadora recolectora se le ha atribuido el origen de maloclusiones dentales, debido a la reducción del estrés masticatorio y con ello un menor tamaño relativo del maxilar y la mandíbula respecto a los dientes (Morales y Toro-Ibacache, 2018). Con lo que respecta a los primates, se ha encontrado que las maloclusiones de clases II y III de Angle tienen menor prevalencia en primates primitivos que en los primates superiores. En comparación a estas especies, los humanos civilizados son los que tienen mayor prevalencia de maloclusiones, además de mantener una tasa mayor de supervivencia a éstas en comparación a sus ancestros (Eyquem y cols., 2019; Mills, 1963). La razón de por qué el hombre mantiene una mayor variación morfológica del arco dental y un mayor porcentaje de maloclusiones podría relacionarse con una falta de selección natural para estos caracteres. Mientras que la dentición es un factor selectivo y de presión natural para antropoides, prehomínidos y homínidos, produciendo un impacto en la supervivencia de éstos, para los humanos modernos la forma de la dentición no es una característica tan vital, obviando en algunos casos la selección natural, ya que presentan una mayor tasa de supervivencia (Mills, 1963). Los humanos modernos al tener diferentes herramientas que permiten la alimentación (procesamiento y molienda de alimentos, intervenciones quirúrgicas, etc), disminuye la necesidad de mantener una oclusión ideal, al poder sobrevivir de igual manera.

Es preciso mencionar que la alimentación no es el único factor que determinaría las variaciones del arco dental en el humano moderno. Toro-Ibacache y cols. (2019) sugieren que bajo la falta de limitaciones mecánicas masticatorias, la nutrición, el ambiente y la genética tienen un efecto importante en la variación de la morfología de la mandíbula.

A pesar de tener un alto grado de covariación morfológica entre los arcos dentales, no se obtuvo una relación estadísticamente significativa entre los arcos dentales y las posiciones mandibulares de MIC y excéntricas en vis a vis.

Okeson (2019) establece que los factores a nivel dental que determinan el patrón de movimiento mandibular contactante son la guía anterior (morfología palatina de los dientes anteriores maxilares y relación del overjet y overbite), las pendientes de las vertientes

cuspidas de los dientes posteriores y la relación interarcada. Sin embargo, en este estudio se observó la inexistencia de una relación significativa entre la alineación y posición tridimensional de los dientes en conjunto, con las posiciones de MIC, y protrusión y laterotrusión en vis a vis. Por lo tanto, y bajo los resultados de esta tesis, la morfología de los arcos dentales no sería un factor determinante en el rango de movimientos mandibulares contactantes. Además, con los 28 hitos usados en este estudio, que representan la forma del arco dental, también se puede visualizar la relación espacial que adoptan los arcos dentales entre sí. En contraste con lo que postula Okeson (2019), este estudio muestra que la relación interarcada tampoco sería un factor determinante en el patrón de movimiento mandibular.

Al observar que no existe una relación de la forma de los arcos dentales ni de su relación interarcada con las posiciones mandibulares, se procedió a realizar un análisis visual de las reconstrucciones tridimensionales de los modelos virtuales de los arcos dentales. Este análisis se hizo con el fin de pesquisar alguna diferencia morfológica del arco dental y relación interarcada que no haya sido considerada para el objetivo de este estudio y que pueda influir en el movimiento mandibular. Se revisaron las reconstrucciones tridimensionales de los arcos dentales de los individuos extremos del análisis de componentes principales. En este análisis, se puede observar que los individuos que se encuentran hacia el extremo positivo presentan un mayor overjet y una mayor angulación o torque positivo de los dientes postero superiores hacia vestibular. Por otra parte, los individuos que se encuentran hacia el extremo negativo, presentan un menor overjet y una menor angulación o torque negativo de los dientes postero superiores, estando más palatinizados. La diferencia de angulación o torque de los dientes posteriores podría ser un factor anatómico que influya en los movimientos de lateralidad, ya que las cúspides vestibulares inferiores del lado de trabajo se deslizan sobre las cúspides vestibulares superiores antagonistas al realizar un movimiento de lateralidad contactante. Esta angulación a su vez podría afectar la forma del arco dental, pero este factor no fue considerado dentro del objetivo del estudio.

Es importante mencionar que la relación espacial de la oclusión (relación interarcada) es determinada por diferentes aspectos. En el plano frontal, sagital y horizontal las relaciones que mantienen las cúspides y fosas de los dientes forman parte de la posición de partida

para el movimiento mandibular contactante. Por este motivo, se sugiere a futuro comparar la relación espacial de los dientes al ocluir (incluyendo análisis de altura e inclinación cuspídea, profundidad de fosas y angulación e inclinación dental) con los movimientos mandibulares a través del análisis de morfometría geométrica, para dilucidar con este tipo de metodología si la relación interarcada es un determinante o no del recorrido del movimiento mandibular contactante. De esta manera, se aportaría más información y se entendería de manera más completa el comportamiento y relaciones del sistema masticatorio.

Otra hipótesis que podría explicar la pobre relación entre la forma del arco dental y las posiciones mandibulares, es el tipo de alimentación. Las poblaciones arqueológicas que se basaban en dietas cazadoras recolectoras necesitaban mayor cantidad de ciclos masticatorios, fuerza masticatoria y movimientos amplios para poder digerir alimentos duros y tenaces, característicos de su dieta. Okeson (2019) establece que mientras más duro es el alimento, más lateral es el cierre del movimiento de masticación. Por otra parte, para fragmentar alimentos tenaces, como la carne cruda, es necesario realizar un efecto de cizalla, es decir, movimientos laterales contactantes que desgarran el alimento. En comparación, el hombre contemporáneo, cuyos alimentos son altamente procesados, blandos y de baja tenacidad, realiza menor cantidad de ciclos masticatorios, menor fuerza y pequeños movimientos mandibulares para alimentarse. Esta posible “independencia” entre movimiento funcional y forma de los arcos dentales además podría estar determinada por mayor variabilidad genética y morfológica del aparato masticatorio mencionada anteriormente.

Es importante mencionar que el método de registro de las posiciones mandibulares fue mediante el uso de una lámina de cera unida a una lámina metálica delgada. Si bien esta lámina metálica confirió estabilidad y rigidez al registro de cera, para mantener los modelos de yeso en posición durante el escaneado, este método de registro pudo haber generado variaciones en la exactitud de las posiciones mandibulares excéntricas alcanzadas por los voluntarios. En otras palabras, un individuo podría perder algo de su propia percepción espacial mandibular en la medida que haya elementos interpuestos entre los arcos dentales. En la literatura, existen diversos mecanismos que registran tanto las posiciones mandibulares como los recorridos de los movimientos mandibulares, por ejemplo, registros a través del uso

de silicona de adición, métodos con dispositivos que analizan el movimiento a través de videos y sensores de movimiento (Martinez-Gomis y cols., 2009; Yu y cols., 2017). Otro método de registro usado en estudios recientes es un dispositivo que utiliza campos electromagnéticos para registrar los movimientos de la mandíbula en las tres dimensiones del espacio, de forma segura y precisa (R. Fuentes y cols., 2017; Lezcano y cols., 2020; Vargas-Agurto y cols., 2020). La información obtenida por este método no registra solo las posiciones estáticas mandibulares, sino que también registra el recorrido del movimiento mandibular. Además, estos datos podrían ser utilizados para realizar diferentes análisis a través de morfometría geométrica. Este tipo de equipos, sin embargo, son poco comunes y con ello su acceso se dificulta. Para futuras investigaciones se recomienda tener a consideración un método de registro que sea estable y reproducible entre los individuos del estudio, para poder comparar fielmente las distintas posiciones mandibulares.

Hay que considerar que existen limitaciones en este trabajo. Esta tesis se encuentra en el marco de un estudio piloto el cual tiene un tamaño reducido de la muestra, por lo que se pueden pasar por alto ciertos resultados o hallazgos que se pueden evidenciar en un estudio a mayor escala. Por otra parte, otra limitación se centra en la metodología de selección de los individuos para ser estudiados. Tanto los signos y síntomas considerados como criterios de inclusión (ausencia de sintomatología muscular y articular) y exclusión (presencia de dolor orofacial y antecedentes o presencia de periodontitis) fueron evaluados por medio de auto reporte, y no se realizó un protocolo clínico o una encuesta validada para realizar un diagnóstico. Además, en las reconstrucciones tridimensionales de los arcos, tres individuos presentaron un hito que no pudo ser colocado por dificultad de reconocimiento por la anatomía dental. Estos últimos fueron considerados en la muestra al hacer una aproximación de su hito ausente al estimar su posición según las orientaciones del resto de sus hitos. Cabe destacar que se evitaron criterios de selección estrictos con el fin de permitir la variación morfológica de los individuos, representando la realidad de la población y no sólo una sección limitada de ésta.

Los resultados obtenidos en esta tesis son relevantes para la clínica odontológica. Hay que tener en consideración que al intervenir la oclusión o modificar la morfología del arco dental, el arco opuesto también presentará cambios, ya que actúan como una unidad al tener un alto

grado de integración entre sus partes. Por lo que al planificar un tratamiento, es necesario tener en cuenta que cualquier cambio realizado en el arco dental puede tener implicancias en el arco opuesto. Por otra parte, el hecho de que este estudio no presente una relación directa entre los arcos dentales y las posiciones mandibulares excéntricas, no significa que si en la clínica se cambia de manera drástica las posiciones de los dientes, no se vean afectados los movimientos mandibulares. Es necesario volver a mencionar que este estudio piloto presenta una muestra reducida de individuos, por lo que es pertinente hacer futuras investigaciones con las recomendaciones ya mencionadas para dilucidar si la relación morfológica de los arcos dentales es un determinante o no del recorrido del movimiento mandibular contactante.

El humano contemporáneo al sobrevivir a las maloclusiones y las patologías de carácter dental, se ha permitido una variabilidad genética y morfológica del aparato masticatorio, obviando en ocasiones las leyes básicas de la selección natural (Labajo y cols., 2005). Esta razón podría explicar el decreciente dimorfismo sexual experimentado en el arco dental durante la evolución del humano, conjuntamente con el menor grado de covarianza entre el arco maxilar y el arco mandibular, lo que podría permitir una variación mayor del movimiento mandibular. Wohlberg y cols. (2012) establecen que hoy en día la variación morfológica y funcional del sistema estomatognático es un principio fisiológico más que un signo de disfunción o enfermedad. Esta variación anatómica y funcional puede tomarse como una ventaja, ya que al ser el aparato masticatorio una entidad no-inmutable, el hombre puede ser capaz de responder a demandas transitorias y/o permanentes.

## **9. CONCLUSIONES**

1. No existe dimorfismo sexual en los arcos dentales en la muestra estudiada.
2. El patrón de variación principal de los arcos dentales en la muestra estudiada varía desde una forma del arco parabólica a una forma ovoide.
3. Existe una relación significativa entre la morfología del arco maxilar y la del arco mandibular.

4. No existe una relación significativa entre la morfología de los arcos dentales maxilar y mandibular con las posiciones mandibulares excéntricas.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- Abduo J, Tennant M. (2015). Impact of lateral occlusion schemes: A systematic review. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 114(2), 193-204.
- Adams DC, Otárola-Castillo E. (2013). Geomorph: an R package for the collection and analysis of geometric morphometric shape data. *Methods in Ecology and Evolution*, 4(4), 393-399.
- Aiello L. (1990). *An introduction to human evolutionary anatomy*. Academic Press.
- Aldana KB. (2008). *Análisis funcional de la guía anterior y de la guía canina en la actividad electromiográfica de la porción anterior del músculo temporal y de los músculos suprahioides, en sujetos sanos* (Trabajo de investigación requisito para optar al título de cirujano dentista), Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Alonso A, Albertini S, Bechelli A. (2003). Oclusión y diagnóstico en rehabilitación oral. *Editorial Medica Panamericana*, 2-8.
- Bishara SE, Saunders W. (2001). *Textbook of orthodontics*: Saunders Book Company.
- Bondevik O. (2015). A longitudinal study of dental arches and occlusal changes in adults from 22 to 33, and 33 to 43 years of age. *Journal of Orofacial Orthopedics*, 76(1), 79-89.
- Carlson BM. (2019). *Embriología humana y biología del desarrollo* (6 ed.): Elsevier.
- Castro E, Alvarez E, Calderón N, Cereceda MA. (2015). *Evolución de la dentición. Actualización "Manual de autoinstrucción"*. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Odontología.
- Davies S, Gray R. (2001). What is occlusion? *British Dental Journal*, 191(5), 235-245.
- Drake RL, Vogl W, Mitchell AM. (2018). *Gray. Anatomía básica* (2 ed.): Elsevier.
- Escobar C. (2016). *Estudio cuantitativo del autoaprendizaje del tema "Crecimiento y Desarrollo Craneofacial"*. (Trabajo de investigación requisito para optar al título de cirujano dentista), Universidad de Chile, Santiago de Chile.
- Eyquem AP, Kuzminsky SC, Aguilera J, Astudillo W, Toro-Ibacache V. (2019). Normal and altered masticatory load impact on the range of craniofacial shape variation: An



- analysis of pre-Hispanic and modern populations of the American Southern Cone. *Plos One*, 14(12).
- Ferro KJ, Morgano S, Driscoll C, Freilich M, Guckes A, Knoernschild K. (2017). The glossary of prosthodontic terms. *J Prosthet Dent*, 117(5S), e1-e105.
- Firmani M, Becerra N, Sotomayor C, Flores G, Salinas J. (2013). Oclusión terapéutica. Desde las escuelas de oclusión a la Odontología Basada en Evidencia. *Revista Clínica de Periodoncia, Implantología y Rehabilitación oral*, 6(2), 90-95.
- Fruciano C. (2016). Measurement error in geometric morphometrics. *Development Genes and Evolution*, 226(3), 139-158.
- Fuentes, Cantín M, Ottone N, Bucchi C. (2015). Caracterización de los componentes óseos de la articulación temporomandibular: una revisión de la literatura. *International Journal of Morphology*, 33(4), 1569-1576.
- Fuentes R, Arias A, Saravia D, Lezcano MF, Dias FJ. (2017). An innovative method to analyse the range of border mandibular movements using 3D electromagnetic articulography (AG501) and MATLAB. *Biomedical Research*, 28(9).
- Godinho RM, Fitton LC, Toro-Ibacache V, Stringer CB, Lacruz RS, Bromage TG, y cols. (2018). The biting performance of Homo sapiens and Homo heidelbergensis. *Journal of Human Evolution*, 118, 56-71.
- Gunz P, Bookstein FL, Mitteroecker P, Stadlmayr A, Seidler H, Weber GW. (2009). Early modern human diversity suggests subdivided population structure and a complex out-of-Africa scenario. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(15), 6094-6098.
- Jaramillo N. (2011). Morfometría geométrica: principios teóricos y métodos de empleo. *Research Gate*, 7(4), 23.
- Klingenberg CP. (2009). Morphometric integration and modularity in configurations of landmarks: tools for evaluating a priori hypotheses. *Evolution & Development*, 11(4), 405-421.
- Klingenberg CP. (2011). MorphoJ: an integrated software package for geometric morphometrics. *Molecular Ecology Resources*, 11(2), 353-357.
- Kumabe S, Nakatsuka M, Iwai-Liao Y, Imbe H, Kim G-S. (2005). Morphological classification of mandibular dental arch forms by correlation and principal component analyses. *Okajimas Folia Anatomica Japonica*, 82(2), 67-78.

- Labajo E, Perea B, Sánchez JA. (2005). Desarrollo y evolución dental: del pez al hombre. *Científica Dental*, 2(2), 141-147.
- Larsen CS. (2003). Equality for the sexes in human evolution? Early hominid sexual dimorphism and implications for mating systems and social behavior. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(16), 9103-9104.
- Lezcano MF, Dias FJ, Chuhuaicura P, Navarro P, Fuentes R. (2020). Symmetry of mandibular movements: A 3D electromagnetic articulography technique applied on asymptomatic participants. *The Journal of Prosthetic Dentistry*.
- Lieberman. (2008). Speculations about the selective basis for modern human craniofacial form. *Evolutionary Anthropology*, 17(1), 55-68.
- Lieberman. (2011). *The evolution of the human head*: Harvard University Press.
- Lieberman, Krovitz GE, Yates FW, Devlin M, Claire MS. (2004). Effects of food processing on masticatory strain and craniofacial growth in a retrognathic face. *Journal of Human Evolution*, 46(6), 655-677.
- Manns. (2011). *Sistema estomatognático* (Primera edición ed.).
- Manns, Biotti J. (2006). *Manual práctico de oclusión dentaria*.
- Manns, Biotti J. (2011). *Sistema estomatognático: bases biológicas y correlaciones clínicas*.
- Martinez-Gomis J, Lujan-Climent M, Palau S, Bizar J, Salsench J, Peraire M. (2009). Relationship between chewing side preference and handedness and lateral asymmetry of peripheral factors. *Archives of Oral Biology*, 54(2), 101-107.
- Meruane M, Smok C, Rojas M. (2012). Desarrollo de cara y cuello en vertebrados. *International Journal of Morphology*, 30(4), 1373-1388.
- Miller SF, Vela KC, Levy SM, Southard TE, Gratton DG, Moreno Uribe LM. (2016). Patterns of morphological integration in the dental arches of individuals with malocclusion. *American Journal of Human Biology*, 28(6), 879-889.
- Mills J. (1963). *Occlusion and malocclusion of the teeth of primates*: Elsevier.
- Miralles R, Manns A, Nass X, Pasini C, Rocabado M. (1987). Influence of protrusive functions on electromyographic activity of elevator muscles. *CRANIO®*, 5(4), 324-332.
- Mitteroecker P, Gunz P. (2009). Advances in geometric morphometrics. *Evolutionary Biology*, 36(2), 235-247.
- Morales. (2018). *Morfología de la sección transversal mandibular en poblaciones actuales y arqueológicas que ejercen distintas intensidades de cargas masticatorias de acuerdo a*

*su dieta*. (Trabajo de investigación requisito para optar al título de cirujano dentista), Universidad de Chile, Santiago de Chile.

- Morales, Toro-Ibacache V. (2018). La transición a la agricultura y la industrialización cambiaron la cara del ser humano. ¿Puede el vegetarianismo ser un nuevo factor de cambio?. Revisión de la literatura. *International Journal of Morphology*, 36(1), 35-40.
- Moreno-Gómez F. (2013). Sexual dimorphism in human teeth from dental morphology and dimensions: a dental anthropology viewpoint. *Sexual Dimorphism. Croatia: InTech Open Science Open Minds*, 97-124.
- Moyers RE, Leyt S. (1992). *Manual de ortodoncia*.
- Nagarsekar A, Aras M. (2008). Role of anterior guidance in esthetic and functional rehabilitation. *The Journal of Indian Prosthodontic Society*, 8(4), 225.
- Nakatsuka M, Iwai Y, Jue S-S, Oh S-H, Guo L, Tominaga Y, y cols. (2004). A morphological study on the classification of maxillary dental arches. *Okajimas Folia Anatomica Japonica*, 81(1), 5-14.
- Nawi N, Mohamed AM, Nor MM, Ashar NA. (2018). Correlation and agreement of a digital and conventional method to measure arch parameters. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*, 79(1), 19-27.
- Nelson SJ. (2005). *Wheeler. Anatomía, Fisiología y Oclusión Dental*: Elsevier España.
- Norton NS. (2012). *Netter. Anatomía de cabeza y cuello para odontólogos*: Elsevier Masson.
- Okeson. (2019). *Tratamiento de oclusión y afecciones temporomandibulares*: Elsevier Health Sciences.
- Otaño R, Otaño G, Fernández R. (2009). Crecimiento y desarrollo craneofacial. *Revista de Ortodoncia*, 3-4.
- Parada C, Chai Y. (2015). *Mandible and tongue development* (Vol. 115): Elsevier.
- Piaggio AZ. (2010). Influencia de las funciones y parafunciones en el crecimiento y desarrollo craneofacial. *J Actas Odontológicas*, 7(1), 15-29.
- Plavcan JM. (2012). Sexual size dimorphism, canine dimorphism, and male-male competition in primates. *Human Nature*, 23(1), 45-67.
- Porwal A, Sasaki K. (2013). Current status of the neutral zone: a literature review. *The Journal of Prosthetic Dentistry*, 109(2), 129-134.
- Proffit WR, Fields HW, Msd DM, Larson B, Sarver DM. (2019). *Ortodoncia contemporánea*: Elsevier.

- Rodríguez Mayta X. (2012). Propiocepción del ligamento periodontal.
- Rouviere H. (2005). *Anatomía humana descriptiva, topográfica y funcional*: Madrid: Elsevier.
- Sadler TW. (2016). *Langman, embriología médica* (13 ed.): Wolters Kluwer.
- Shillingburg HT. (2000). *Fundamentos esenciales en prótesis fija*.
- Slice DE. (2007). Geometric morphometrics. *Annual Review of Anthropology*, 36.
- Stelzer S, Gunz P, Neubauer S, Spoor F. (2017). Hominoid arcade shape: Pattern and magnitude of covariation. *Journal of Human Evolution*, 107, 71-85.
- Teaford MF, Ungar PS. (2000). Diet and the evolution of the earliest human ancestors. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 97(25), 13506-13511.
- Toro-Ibacache V, Ugarte F, Morales C, Eyquem A, Aguilera J, Astudillo W. (2019). Dental malocclusions are not just about small and weak bones: assessing the morphology of the mandible with cross-section analysis and geometric morphometrics. *Clinical Oral Investigations*, 23(9), 3479-3490.
- Toro Ibacache MV, Manriquez Soto G, Suazo Galdames I. (2010). Morfometría geométrica y el estudio de las formas biológicas: de la morfología descriptiva a la morfología cuantitativa. *International Journal of Morphology*, 28(4), 977-990.
- Vargas-Agurto SA, Lezcano MF, Alvarez G, Navarro P, Fuentes R. (2020). Three-Dimensional Analysis of Mandibular Border Movements in Fully Dentate Participants. *International Journal of Morphology*, 38(4), 983-989.
- von Cramon-Taubadel N. (2011). The relative efficacy of functional and developmental cranial modules for reconstructing global human population history. *American Journal of Physical Anthropology*, 146(1), 83-93.
- Wohlberg V, Schwahn C, Gesch D, Meyer G, Kocher T, Bernhardt O. (2012). The association between anterior crossbite, deep bite and temporomandibular joint morphology validated by magnetic resonance imaging in an adult non-patient group. *Annals of Anatomy-Anatomischer Anzeiger*, 194(4), 339-344.
- Yu J-H, Lin C-C, Chen Y-H. (2017). Changes in mandibular border movements in adult patients after correction of functional anterior crossbite. *Journal of Dental Sciences*, 12(2), 139-144.

## 11. ANEXOS

### a) Consentimiento informado (en alemán)

#### Patientenaufklärung

##### Form und Funktion des menschlichen Schädels: Zusammenhang zwischen Schädelform, Zahnbogenform, funktioneller Bewegungskapazität und Beißkraft

Sehr geehrte Studienteilnehmerin, sehr geehrter Studienteilnehmer,

eine bessere Kenntnis des Zusammenhangs zwischen Schädelform und Kaufunktion ist für die Zahnmedizin und Kieferorthopädie von großer Bedeutung. Das Ziel dieser Studie ist, diesen Zusammenhang zu beschreiben und zu erforschen. Dazu möchten wir die Schädel- und Zahnbogenform und deren Zusammenhänge mit der Bewegungskapazität des Unterkiefers sowie der maximalen Beißkraft untersuchen.

Hierfür wird Ihr Gesicht mittels eines fotografischen Verfahrens dreidimensional aufgenommen. Zur Erfassung der Zahnbogenform werden der Ober- und Unterkiefer konventionell abgeformt. Die Bewegungskapazität Ihres Unterkiefers wird mit Wachsplatten registriert und die maximale Beißkraft mit einem Beißkraftnehmer gemessen. Anschließend analysieren wir die Daten mit Spezialsoftware. Ihre Angaben unterliegen selbstverständlich der Schweigepflicht. Die Untersuchung nimmt im Regelfall 2 Stunden in Anspruch.

Wir möchten die erhobenen Befunde *wissenschaftlich* auswerten. Durch Ihr Einverständnis, die Befunde einer wissenschaftlichen Auswertung zugänglich zu machen, helfen Sie mit, dass wir die Zusammenhänge zwischen Schädelform und Kaufunktion besser verstehen.

Falls Sie Fragen zu dieser Untersuchung haben, richten Sie diese bitte an die beiden Leiter dieser Studie:

Dr. med. dent. Oliver Schierz  
Universitätsklinikum Leipzig AöR  
Department für Kopf- und Zahnmedizin  
Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und  
Werkstoffkunde  
Liebigstraße 12, Haus 1, 04103 Leipzig  
Tel.: 0341 – 9721300  
Fax.: 0341 – 9721309  
E-Mail: oliver.schierz@medizin.uni-leipzig.de

Dr. Viviana Toro-Ibacache, DDS, MSc, PhD  
Max Planck Institut für Evolutionäre  
Anthropologie  
Abteilung für Human Evolution  
Deutscher Platz 6, 04103 Leipzig  
Tel.: 0341 - 3550 87  
Facultad de Odontología Universidad de Chile  
Sergio Livingstone Pohlhammer 943  
Independencia, Santiago de Chile.  
E-Mail: mtoroibacache@odontologia.uchile.cl

##### Versicherungsobliegenheiten:

Bedingt durch die hohen Kräfte bei der Beißkraftmessung kann eine Zahnschädigung nicht vollständig ausgeschlossen werden. Deshalb haben wir für Sie eine Versicherung abgeschlossen. Melden Sie bitte jede Verschlechterung des Gesundheitszustandes unverzüglich dem Studienleiter, welcher beurteilt, ob es sich um eine Gesundheitsschädigung handelt, die als Folge der klinischen Prüfung eingetreten sein könnte. Im Schadensfall ermächtigen Sie die behandelnden Ärzte dem Versicherer auf Verlangen Auskunft zu erteilen.

#### Einverständniserklärung

Ich wurde über die Ziele der Studie *Form und Funktion des menschlichen Schädels: Zusammenhang zwischen Schädelform, Zahnbogenform, funktioneller Bewegungskapazität und*

*Beißkraft* durch ..... aufgeklärt.

Ich bin mit der Speicherung und mit der pseudonymen Bearbeitung, der im Rahmen der Studie erhobenen Daten zur wissenschaftlichen Auswertung, einverstanden. Ich kann jederzeit ohne Angabe von Gründen das Untersuchungsprogramm abbrechen, ohne dass mir daraus medizinische oder anderweitige Nachteile entstehen.

Name, Vorname .....

Leipzig, .....

Unterschrift des Teilnehmers: .....

## b) Traducción simple al español del consentimiento informado

**Traducción simple del Consentimiento Informado**

## Información al Paciente

*Forma y función del cráneo humano: relación entre la forma del cráneo, la forma del arco, la capacidad de movimiento funcional y la fuerza de mordida*

Estimado y estimada participante del estudio,

Una mejor comprensión de la relación entre la forma del cráneo y la función de masticación es de gran importancia para la odontología y la ortodoncia. El objetivo de este estudio es describir y explorar esta relación. Para este propósito, nos gustaría examinar la forma del cráneo y el arco y sus relaciones con la capacidad de movimiento de la mandíbula y la fuerza máxima de mordida.

Para esto, la forma de su cara se registrará tridimensionalmente utilizando un proceso fotográfico. Para registrar la forma del arco dental, se utilizarán impresiones convencionales odontológicas en el maxilar y la mandíbula. La capacidad de movimiento de su mandíbula inferior se registrará con placas de cera y la fuerza de mordida máxima se mide con un aparato que registra a fuerza de mordida. Luego analizamos los datos con software especiales. Su información personal está sujeta a confidencialidad. El examen suele durar 2 horas.

Nuestro estudio tiene fines científicos. Al aceptar participar en él, nos ayuda a comprender mejor las relaciones entre la forma del cráneo y la función de masticación. Si tiene preguntas sobre este estudio, comuníquese a los dos investigadores de este estudio:

Dr. med. dent. Oliver Schierz  
Escuela de Odontología Universidad de Leipzig  
Clínica de Prótesis y Ciencias de Materiales  
Liebigstraße 12, Haus 1, 04103 Leipzig  
Tel.: 0341 – 9721300  
Fax.: 0341 – 9721309  
E-Mail: oliver.schierz@medizin.uni-leipzig.de

Dra. Viviana Toro-Ibacache, DDS, MSc, PhD  
Instituto Max Planck de Antropología Evolutiva  
Departamento de Evolución Humana  
Deutscher Platz 6, 04103 Leipzig  
Tel.: 0341 - 3550 87  
Facultad de Odontología Universidad de Chile  
Sergio Livingstone Pohlhammer 943  
Independencia, Santiago de Chile.  
E-Mail: mtoroibacache@odontologia.uchile.cl

## Las obligaciones de seguro:

Debido a las grandes fuerzas en el Beißkraftmessung un daño dental no puede ser excluido por completo. Es por eso que hemos contratado un seguro para usted. Informe inmediatamente al líder del estudio de cualquier deterioro en su condición, quien evaluará si se trata de un problema de salud que puede haber ocurrido como resultado del ensayo clínico. En caso de daños, usted autoriza a los médicos tratantes a proporcionar información a la aseguradora a petición.

## Consentimiento Informado

He sido informado de los objetivos del estudio *Forma y función del cráneo humano: relación entre la forma del cráneo, la forma del arco, la capacidad de movimiento funcional y la fuerza de mordida* por \_\_\_\_\_ (nombre del académico) \_\_\_\_\_.

Estoy de acuerdo con el almacenamiento y el procesamiento anónimo de los datos para la evaluación científica recopilada en el estudio. Puedo cancelar el programa de examen en cualquier momento sin dar razones, sin ninguna desventaja médica o de otro tipo.

Apellido, Nombre \_\_\_\_\_ (nombre del participante) \_\_\_\_\_.

Leipzig, \_\_\_\_\_ (fecha) \_\_\_\_\_.

Firma del participante: \_\_\_\_\_ (firma del participante) \_\_\_\_\_.

## c) Carta de aprobación del comité de ética y bioseguridad (en alemán)

## UNIVERSITÄT LEIPZIG

Ethik-Kommission an der Medizinischen Fakultät  
der Universität Leipzig

Vorsitzender: Professor Dr. R. Preiß

©) Geschäftsstelle der Ethik-Kommission an der Medizinischen Fakultät der Universität Leipzig,  
Haus: Karl-Lothar-Institut für Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften,  
Königs-Roths-Str. 12, 04103 Leipzig

**Unser Az.: 396-15-13072015 (Bitte stets angeben!)****„Pilotstudie – Form und Funktion des menschlichen Schädels: Zusammenhang zwischen Schädelform, Zahnbogen, funktioneller Bewegungskapazität und Bisskraft“**

➤ OA Dr. med. dent. Oliver Schierz, Universitätsklinikum Leipzig AG, Department für Kopf- und Zahnmedizin, Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde, Liebigstr. 12, 04103 Leipzig

Die Ethik-Kommission an der Medizinischen Fakultät der Universität Leipzig erhebt keine ethischen und wissenschaftlichen Bedenken gegen das vorgelegte Studiendesign.

Die Kommission verweist darauf, dass die ethische und wissenschaftliche Verantwortung für die Durchführung der Untersuchungen beim Leiter der Studie verbleibt.

Der Kommission lagen folgende Unterlagen vor:

- Anschreiben\_03.06.2015
- Antrag
- Patientenaufklärung-/einverständniserklärung
- CV OA Dr. med. dent. O. Schierz / Maria Viviana Toro Ibacache
- Fragebogen

Überarbeitung:

- Anschreiben\_02.11.2015
- überarbeiteter Antrag
- Versicherungsbestätigung
- CE-Zertifikate
- Patientenaufklärung-/einverständniserklärung

Leipzig, den 25. November 2015



Professor Dr. R. Preiß  
Vorsitzender der Ethik-Kommission an der Medizinischen Fakultät der Universität Leipzig

Bei Vorlage von überarbeiteten Unterlagen sind sämtliche Änderungen deutlich im **FETTDRUCK ODER UNTERSTRICHEN** kenntlich zu machen und um die Angabe der aktuellen Versionsnummer sowie des Datums wird gebeten. Andernfalls erfolgt keine Bearbeitung durch die Ethik-Kommission.

## d) Traducción simple de carta de aprobación del comité de ética y bioseguridad

**Traducción simple de la aprobación por Comité de Ética**

Universidad de Leipzig  
 Comisión de Ética de la Facultad de Medicina Universidad de Leipzig  
 Presidente: Profesor Dr. R. Preiß

Código interno: N° 396-15-13072015 (siempre entregar como referencia)

"Estudio piloto- Forma y Función del esqueleto craneofacial humano: Relación entre Forma Craneal, Forma del Arco Dental, Grado de Movilidad Mandibular y Fuerza de Mordida"

Dr. Oliver Schierz, Escuela de Odontología Universidad de Leipzig, Clínica de Prótesis y Ciencias de Materiales (N de la R: quien presenta el proyecto al Comité, el Investigador Alterno).

La Comisión de Ética de la Facultad de Medicina Universidad de Leipzig no presenta reparos éticos ni científicos al diseño de estudio.

La Comisión les recuerda que la responsabilidad de velar por el cumplimiento de la ética en la realización del estudio queda en la Investigadora Responsable.

A la Comisión se le han presentado los siguientes documentos:

- Carta de solicitud del 03-06-2015
- Proyecto en formato de postulación
- Consentimiento Informado para los participantes
- Curriculum Vitae del Dr. Oliver Schierz y de la Dra. María Vviiiana Toro Ibacache
- Cuestionario (N. de la R: correspondiente a datos de la persona)

Revisión:

- Carta con revisiones del 02-11-2015
- Proyecto en formato de postulación, revisada y con cambios
- Certificado de seguro (N. de la R: en caso de accidentes durante la adquisición de datos base, que no hubo)
- Certificado de cumplimiento de normas como producto médico del sistema de medición de fuerza de mordida BiteFork
- Consentimiento Informado para los participantes

Leipzig, 25 de noviembre de 2015.

Firma  
 Profesor Dr. R. Preiß  
 Presidente de la Comisión de Ética de la Facultad de Medicina Universidad de Leipzig

Tras la presentación de los documentos revisados, todos los cambios deben estar claramente marcados en negrita o subrayados y se solicita la indicación del número de versión actual y la fecha. De lo contrario, no habrá procesamiento por parte del Comité de Ética