



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
ESCUELA NACIONAL DE ARTES PLÁSTICAS  
POSGRADO EN ARTES VISUALES

“Mecánica muscular y movimiento secundario en la animación 3D”

tesis que para obtener el grado de  
maestro en artes visuales

presenta

Gerardo Raymundo Flores Quiróz

Director de tesis

Maestro Francisco Estrada Rodríguez

México D.F., Marzo 2012





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



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

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

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

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

*A mi Madre, a Taniecita,  
al HB, a Aldo y a René  
que en mayor o menor medida  
siempre me brindaron su apoyo  
en este proyecto.*

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO 1 ¿Qué es la mecánica muscular y el movimiento secundario?.....</b>	<b>11</b>
1.1 Concepto de Mecánica muscular.....	11
1.2 Concepto de movimiento secundario.....	12
1.3 Antecedentes.....	12
1.4 Masahiro Mori: el Valle Inexplicable.....	17
1.5 Metodología.....	18
1.6 Propósitos.....	19
<b>CAPÍTULO 2 Anatomía humana enfocada al diseño de personajes en 3D.....</b>	<b>21</b>
2.1 Columna vertebral.....	24
Articulaciones.....	24
Movilidad.....	24
Sistema Muscular.....	24
2.2 Tórax.....	26
2.3 Cintura Escapular.....	26
Articulaciones.....	26

Sistema muscular del pecho.....	28
Movilidad del brazo: el hombro.....	32
Movilidad del codo y el antebrazo.....	34
Sistema muscular del brazo.....	36
Articulación del codo.....	36
Músculos que mueven la mano y/o los dedos.....	38
Articulaciones de la muñeca y mano.....	44
Músculos de la mano.....	45
2.4 Cabeza.....	49
Sistema de la mímica.....	49
Ojos.....	52
Nariz.....	55
Oído.....	55
Sistema de la masticación.....	56
2.5 Nuca y cuello.....	62
Articulaciones.....	62
Sistema muscular.....	62
2.6 Abdomen.....	66
Sistema muscular.....	66
2.7 Miembro inferior.....	68
Articulación de la cadera.....	70
Músculos del muslo.....	70
Región glútea.....	73
La pierna.....	74
Articulaciones de la pierna y del pie.....	76
Sistema muscular de la pierna.....	79
El pie.....	82
Músculos del pie.....	82

3.1 Modelado poligonal.....	85
Cabeza.....	86
Tronco.....	91
Cuello.....	92
Mano.....	93
Brazo.....	94
Clavícula y espalda.....	96
Pelvis y muslo.....	96
Pierna y pie.....	97
Detalles en el cuerpo antes de usar la herramienta mirror geometry.....	98
3.2 Mapas UV y textura.....	100
3.3 Joints.....	102
3.4 Cinemática Inversa, IK Handles y controladores.....	103
Ventanas Connection Editor y Set Driven Key.....	105
3.6 Esqueleto.....	110
3.7 Smooth Bind.....	111
3.8 Sistema muscular.....	111
Comportamientos erróneos en algunas inserciones anatómicamente correctas.....	124
Conexiones en los tendones.....	125
Colisiones.....	126
3.9 Cabello.....	127
3.10 Sistema de la mímica.Blend Shapes.....	128
3.11 Pruebas del sistema muscular.....	130
<b>Capítulo 4 Animación, timing e integración.....</b>	<b>131</b>
4.1 Timing.....	131
4.2 Animación.....	132
Aplicación interactiva: Animación Facial Referencia.....	132
Iluminación set y renders.....	133
Importancia de la resolución.....	134

Animación facial.....	134
Tensión muscular.....	134
Animación del cabello.....	136
Tensión muscular.....	136
Lip sync.....	137
4.3 Errores y modificaciones.....	137
4.4 Animación Pe-As.....	138
<b>Conclusiones.....</b>	<b>141</b>
<b>Bibliografía.....</b>	<b>145</b>

# INTRODUCCIÓN

El presente trabajo está centrado en la creación de personajes 3D con un sistema motriz que trate de simular las características que poseen los movimientos en la vida real, debido a un interés y observación en el movimiento de los personajes 3D con características humanas. Se ha notado que tienen un extraño comportamiento que suele carecer de ciertos elementos que se dan en el movimiento de los humanos en la realidad por la mecánica que tiene el sistema motriz, esta observación se ha realizado en algunos trabajos y producciones anteriores al 2010. Si los personajes humanos en 3D contienen estructuras internas como músculos, tendones y huesos, cuando se animan, la superficie debería presentar algunas características de los seres vivos y por lo tanto sus movimientos tendrán una mayor congruencia. La investigación de la mecánica muscular y el movimiento secundario en la animación 3D surge como respuesta

a una necesidad en mercado del entretenimiento y de los animadores para poder representar, de una forma más cercana a la realidad, el movimiento corporal del ser humano. Con este proyecto se pretende generar el conocimiento teórico y práctico suficiente para poder crear un modelo tridimensional que tenga las características y comportamientos que se dan en la vida real.

Aunque los softwares están programados para simular hasta cierto punto un movimiento natural y orgánico, el conocimiento anatómico es fundamental para llevar a cabo simulaciones más precisas ya que el personaje es construido con una estructura similar a la de un organismo en la realidad.

Este trabajo explora aspectos de anatomía abordados desde el punto de vista clínico, convirtiendo el carácter de



esta investigación en multidisciplinaria. Quizá pueda parecer extenuante el estudio anatómico, pero como se verá a lo largo de la investigación, implica un sustento teórico sumamente útil para comprender la forma en la que se constituyen los seres vivos, permitiendo generar personajes que tengan movimientos más realistas, debido a que su topología está optimizada para generar deformaciones menos forzadas puesto que sigue una estructura muscular.

El tema no es nuevo y en los últimos años se han desarrollado muchas aplicaciones y herramientas que facilitan la creación de este tipo de producciones. Desde los orígenes del arte, se ha representado la figura humana como uno de los principales temas, con los griegos y sus esculturas, el tema de la proporción y la anatomía correcta juega un papel sumamente importante, Durero emplea la figura humana para realizar su alfabeto y no es de extrañarse que con el surgimiento de las nuevas herramientas tecnológicas se trate de reflejar la realidad en los nuevos soportes, buscando nuevas formas de representar al ser humano.

Podría pensarse que, con todo el avance tecnológico y la existencia del hardware y software para la captura de movimiento -MOCAP<sup>1</sup>-, este estudio y serie de planteamientos no son necesarios. Eso es caer en un error puesto que la animación es un área sumamente abierta que puede abarcar una infinidad de temas y técnicas así como metodologías y herramientas, el MOCAP es solo un recurso que ayuda a generar un timing correcto basado completamente en la realidad, puesto que utiliza sensores estratégicamente colocados, su desventaja son sus altos costos (los cuales oscilan entre 20 000 y 50 000 dólares). No porque existan este tipo de herramientas los animadores dejarán de interesarse en metodologías y procedimientos para crear

1. Dos videos de ejemplos del funcionamiento de esta herramienta y su aplicación se encuentran en videos/introduccion/ 01 MOCAP AvatarJamesCameron.mp4 y 02 MOCAP Crysis 2 - Alien Movement.mp4

2. Janimation (<http://www.janimation.com>) y Pendulum (<http://www.studiopendulum.com/>) videos/introduccion/ 03 MOCAP Janimation Facial animation.mp4 y 04 MOCAP Pendulum Alter Ego Facial Animation.mp4

animaciones sin la necesidad del MOCAP, de la misma forma que siguen existiendo las artes clásicas a pesar del surgimiento de nuevas tecnologías y recursos. El producto final utilizando el MOCAP es una animación con movimientos realistas. Dos estudios que han usado esta herramienta con espectaculares resultados son Janimation y Pendulum<sup>2</sup> los cuales han creado humanos digitales hiperrealistas.

El desarrollo de este proyecto permite crear, además de humanos digitales con un sistema complejo y movimientos basados en la realidad, seres fantásticos que contarán con esas características que definen el movimiento real, todo empleando recursos accesibles a la mayoría de los interesados en el tema. El software utilizado es Maya, pero el trabajo está desarrollado de tal forma que cualquier persona con otro software podrá aplicar los conceptos en sus propios proyectos.

Muchas son las aplicaciones en las que esta investigación puede aportar algo significativo. La principal vertiente se encuentra en la industria del entretenimiento, ya sean películas, comerciales o videojuegos. Se ha comprobado que los niveles de inmersión pueden aumentar si se cuenta, entre otros factores, con personajes realistas. En el caso específico de los videojuegos, hay varios que han desatado un fanatismo que puede caer en lo irracional, como World of Warcraft (WOW), League of Legends (LOL) ó Dofus<sup>3</sup> por mencionar algunos, en los cuales mediante el uso y la interacción con personajes digitales, una buena historia y una comunidad gigantesca en línea, los espectadores pueden pasar horas inmersos en la realidad virtual. La creación de personajes digitales le muestra al público realidades fantásticas asombrándolo, y esos seres ficticios, al tener un comportamiento realista, tienen una mejor recepción y asimilación.

3. videos/introduccion/05 World of Warcraft - Cataclysm Cinematic Trailer.mp4 06 League of Legends - Season One CG Cinematic Trailer.mp4 y 07 Dofus trailer.mp4

# CAPÍTULO 1

## ¿Qué es la mecánica muscular y el movimiento secundario?

### 1.1 Concepto de mecánica muscular.

La definición en el diccionario de la Real Academia Española de la palabra “**mecánica**” es la siguiente:

“Del latín *mechanica*, y del griego *Μηχανική*, es la parte de la física que trata del equilibrio y del movimiento de los cuerpos sometidos a cualquier fuerza”.

Otras definiciones son:

La **mecánica** (o mecánica clásica) es la rama principal de la llamada física clásica, dedicada al estudio de los movimientos y

estados en que se encuentran los cuerpos. Describe y predice las condiciones de reposo y movimiento, bajo la acción de las diferentes fuerzas<sup>1</sup>.

Ambas definiciones dejan en claro que el estudio de la mecánica consiste en el movimiento de los cuerpos y su reacción por la acción de fuerzas, por lo tanto, al agregar la palabra “muscular” al término “mecánica”, la “mecánica muscular” se define como el estudio de la función del sistema muscular y su comportamiento mediante la acción de fuerzas. Esta definición será empleada para esta investigación ya que sintetiza la idea general. Otra definición más elaborada es “biomecánica” la cual, según la Sociedad Americana de Biomecánica (ASB), significa el estudio de la estructura y función de los sistemas biológicos mediante los métodos de la mecánica. En primera instancia parecen conceptos muy similares, la diferencia radica en que la

1. (Castillo Muñoz Manuel, martes 17 abril 2007. Físicauno: ENTROPIA, TERMODINAMICA MECANICA CLASICA, CUESTIONARIO. Consultada el 12 de diciembre del 2009, de <http://fisicauno.blogspot.com/2007/04/mecanica-clasica.html>)

biomecánica es una ciencia muy especializada que engloba a otras áreas de estudio que no son propios de esta investigación (como pueden ser la elaboración de prótesis y la ingeniería). La mecánica muscular solo se encarga del estudio del movimiento de los músculos, su comportamientos y sus relaciones entre sí, por lo tanto este ultimo concepto es más preciso para los fines que esta investigación está buscando. En muchas ocasiones los programas de acondicionamiento físico ó entrenamiento emplean el término “mecánica muscular” para exponer, de una forma más precisa, los métodos y ejercicios a seguir para desarrollar masa muscular. Aunado a la mecánica muscular, y debido a que es una ciencia física, se encuentran formulas y ecuaciones que en esta investigación no serán abordadas puesto que el enfoque es meramente visual y descriptivo. El termino en inglés de mecánica muscular es “muscle mechanics”.

## 1.2 Concepto de movimiento secundario.

El movimiento secundario o acción secundaria es uno de los 12 principios básicos de la animación<sup>2</sup>:

- **Squash and Stretch** (aplastar y estirarse).
- **Timing** (sincronización o tiempo de la acción).
- **Anticipation** (anticipación o preparación para una acción).
- **Staging** (es cuando se pone en escena algo que es perfectamente claro y entendible).
- **Follow through and overlapping action** (el fin de una acción a la que se le superpone otra).
- **Straight ahead action and pose to pose action** (animación cuadro a cuadro o por keyframes).
- **Slow in and out or eases** (entradas o salidas lentas, consiste en la manipulación del tiempo de los inbetweens para modificar la velocidad).

- **Arcs** (arcos, en la naturaleza los movimientos se realizan en arcos debido a que es la forma más fácil de acceder de un punto a otro).
- **Exaggeration** (exageración, consiste en exaltar o sobre actuar ciertas acciones).
- **Secondary Action** (acción secundaria, es el movimiento que es provocado por otra acción, citando a John Lasseter, la animación facial es un movimiento secundario que es subordinado por el movimiento del cuerpo, y en muchas ocasiones, puede pasar desapercibido, quien esto escribe ha observado que de igual forma pasa con el movimiento muscular, estamos acostumbrados a verlo pero no a analizarlo, por lo tanto, cuando en una animación el personaje carece de este, percibimos “algo” extraño o incongruente descubriendo así que se trata de una animación).
- **Appeal** (atractivo o carisma).
- **Strong Drawing** (habilidad en el dibujo o en la técnica para desarrollar la producción).

El movimiento en los seres vivos es posible debido a la existencia de una serie de sistemas, mecanismos y elementos complejos que van desde el sistema nervioso hasta la piel (huesos, cartílagos, articulaciones, ligamentos, tendones y músculos). El movimiento secundario (o acción secundaria) es aquel que surge como una reacción a una fuerza externa (como la gravedad) o por consecuencia de una acción (cerrar la mano, mover los pies, voltear), es el movimiento de deriva del movimiento primario de alguna parte del cuerpo cuando una persona realiza una acción. En la animación, el movimiento puede parecer rígido y mecánico, si las acciones secundarias como el rebote de la piel y de la ropa no es correcto.

## 1.3 Antecedentes<sup>3</sup>.

Desde la invención del ENIAC<sup>4</sup> en 1946 hasta nuestros días, el desarrollo de los gráficos hechos por computadora (CGI)

2. Lasseter, John. 1987. Principles of traditional animation applied to 3D computer animation. EUA. Computer Graphics Volumen 21, no. 4, julio 1987, p 35-44.

ha tenido un avance exponencial tanto en capacidad como en implementación. De tener un origen con propósitos en el campo de la investigación científica e industrial, se aplicó posteriormente en el entretenimiento. Muchas personas se interesaron por las posibilidades creativas que estos nuevos medios podrían ofrecer, como John Whitney<sup>5</sup> (fundó la compañía Motion Graphics Inc, y realizó la producción de los primeros efectos de luz analógicos por computadora), Ed Emshwiller<sup>6</sup> (*Sunstone*, 1979), Larry Cuba<sup>7</sup> (*First Fig* 1974), entre otros.

Los primeros proyectos estaban basados en la geometría y la matemática. Los grandes desarrollos en la producción de gráficos por computadora fueron realizados por George Lucas (quien creó los primeros equipos que formarían Industrial Light and Magic) y PIXAR (compañía creada posteriormente por Steve Jobs, el fundador de Apple, tras la adquisición en 1985 de la Lucasfilm's Computer Research and Development Division). Robert Abel<sup>8</sup> se unió al equipo de Lucas y, además de participar en la producción de *Star Wars*, en 1977, comenzó a investigar con Evans & Sutherland<sup>9</sup> las aplicaciones de la animación por computadora en la industria del espectáculo.

La primera aplicación realmente convincente surgió en 1982, con la película *Tron*<sup>10</sup>, de Disney, y más tarde con la secuencia del Génesis en *Star Trek The Wrath of Khan*<sup>11</sup> en 1982. En 1985 se generaron tres películas fundamentales que garantizaron el importante papel que tendría la animación por computadora en futuras producciones. La primera de esta tres películas fue el

3. Wells, Paul "Fundamentos de la animación", 1a ed. Barcelona España, Editorial Parramón, 2007, p. 122-124.

4. videos/Capitulo1/01 ENIAC ElectronicNumericalIntegratorandComputer.mp4

5. videos/Capitulo1/02 John Whitney 'Catalog' 1961.mp4, 02 John Whitney-Matrix III (1972) y 02 John Whitney - Arabesque (1975).mp4

6. videos/Capitulo1/03 Emshwiller Ed Sunstone 1979.mp4

7. videos/Capitulo1/04 Larry Cuba Calculated Movements.mp4

8. videos/Capitulo1/05 Robert Abel & Associates 1982 Demo Reel.mp4

9. videos/Capitulo1/06 Evans & Sutherland CT5 Flight Simulator (1981).mp4

10. videos/Capitulo1/07 Tron - Trailer 1982.mp4

11. videos/Capitulo1/08 Star Trek 2- The Wrath of Khan Trailer.mp4

proyecto de John Lasseter, de ILM, *The Adventures of Andre and Wally Bee*<sup>12</sup> donde se muestra la interacción de dos personajes caricaturescos. Seguirá, *Tony de Peltrie*<sup>13</sup> de Daniel Langlois el cual fue un proyecto cuyo personaje es un viejo pianista y cabe resaltar la intención de realizar un humano digital. Por último, el anuncio de Brilliance<sup>14</sup> en 1985 (realizado por Robert Abel y patrocinado por el Canned Food Information Council) donde aparece un robot femenino y se empleó un sistema de captura de movimiento.

En un principio, la evolución de los sistemas CGI se vio comprometida por sus altos costos, sus fundamentos más técnicos que creativos, su lentitud de ejecución y la falta de un paquete de software estandarizado. Avanzando al año 1991, la película de James Cameron *Terminator 2: Judgement Day*<sup>15</sup> demostró que podía utilizarse la tecnología CGI para conseguir buenos resultados estéticos y narrativos, lo que suponía un avance innovador respecto a cualquier obra anterior. Con la estandarización creciente del software requerido, proliferaron los estudios de producción y el sistema CGI se convirtió en una herramienta intrínseca de expresión dentro del sector comercial y del ocio, no sólo para las películas, sino también para los videojuegos y las aplicaciones multimedia.

*Jurassic Park*<sup>16</sup> (1993) marcó un antes y un después en el uso de los sistemas CGI como herramienta cinematográfica fundamental con la creación de unos dinosaurios de aspecto real, igual que *King Kong* supuso la reivindicación de la animación Stop Motion como algo más que un simple efecto especial. El proceso de producción cinematográfica cambió con la llegada de las computadoras, dado que una gran parte del arduo trabajo de las tareas de animación sobre acetatos (la intercalación, la tinta, la pintura, etc) pasaron a realizarse con la computadora. Las aplicaciones informáticas y su papel fundamental para los efectos

12. videos/Capitulo1/09 Adventures of Andre and Wally B.mp4

13. videos/Capitulo1/10 Tony de Peltrie.mp4

14. videos/Capitulo1/ 11 Brilliance.mp4

15. videos/Capitulo1/ 12 Terminator 2 Judgment Day - Trailer (1991).mp4

16. videos/Capitulo1/13 Jurassic Park Trailer (1993).mp4

especiales también revolucionaron la fase de postproducción de casi todas las películas. La composición digital y el sistema de motion control en las cámaras pronto se convirtieron en elementos estándar de las películas. Otra película importante en el uso de la tecnología CGI fue *Toy Story*<sup>17</sup> (1995), de PIXAR.

La serie animada *Reboot*<sup>18</sup> (1993), fue la primera serie de animación para la televisión totalmente generada por computadora, producida por Ian Pearson, Gavin Blair y Phil Mitchell, quienes usaron la computadora como tema narrativo en su historia de la ciudad de MainFrame, donde Bob, Enzo y su amigo Dot Matrix luchan contra dos virus: Megabyte y Hexadecimal. Inevitablemente, con el éxito de los sistemas CGI, aumentó la inversión en tecnología, y las imágenes generadas por computadora se convirtieron en la estética dominante en las películas animadas y en los programas infantiles. El período posterior a *Toy Story* se caracteriza por su influencia en inspirar una amplia variedad de usos de la animación por computadora. Dreamworks se ha posicionado como un importante competidor de PIXAR con películas como *Shrek*<sup>19</sup> (2001). A su vez, PIXAR continúa innovando con filmes como *Finding Nemo* (2002), *UP*<sup>20</sup> (2009), *Toy Story 3* (2010) entre otras.

Algunos artistas han creado, mediante los paquetes de software disponibles, obras más personales, productos que divergen del aspecto y estilo dominante de estas películas. Ejemplos de estos artistas son:

- Karl Sims (<http://www.karlsims.com/>)
- Yoichiro Kawaguchi (<http://www.artfutura.org/02/kawaguchi.html>)
- William Latham (<http://www.doc.gold.ac.uk/~mas01whl/>)
- James Paterson (<http://designmuseum.org/design/james-paterson>)
- Tomioka Satoshi (<http://www.tt.rim.or.jp/~tomioka/>)
- Johnny Hardstaff (<http://www.johnnyhardstaff.com/>)
- Run Wrake (<http://www.runwrake.com/>)

17. videos/Capitulo114 Toy Story Trailer (1995).mp4

18. videos/Capitulo1/15 Reboot intro (1993).mp4

19. videos/Capitulo1/16 Shrek Trailer (2001).mp4

20. videos/Capitulo1/ 17 Up Trailer (2009).mp4

## La simulación.

En la actualidad, poco a poco se está logrando romper la barrera que distingue lo real de la fantasía, se está tan cerca de lograrlo, que se incrementa la percepción de que la animación de humanos aún es incompleta. El reto de crear un humano digital que al verlo se confunda con personas reales, se encuentra presente en el desarrollo de gráficos por computadora desde sus orígenes.

Si se tratara de fotogramas y del análisis de la imagen estática, existiría una mayor familiaridad y la percepción de que se trata de un humano real aumentaría, pero al ser una animación que pretende imitar la realidad, la tecnología actual, no está tan desarrollada aún para alcanzar ese nivel de realismo, y se identifica al personaje como un ser irreal generado por computadora, sobre todo en el rostro. Los movimientos de las expresiones faciales para los personajes digitales son en extremo complejos de lograr, se dice que nuestra musculatura facial es la más desarrollada en el reino animal. Tenemos más de 30 músculos faciales que, entre otras funciones, se encargan de realizar los movimientos expresivos, la mayor parte de ellos se encuentra en la región de la boca. El generar actualmente un personaje digital hiperrealista es sumamente difícil, ya que más allá de imitar exclusivamente el movimiento en los seres vivos, es necesario considerar las estructuras internas que lo modifican y deforman. Se siguen haciendo estudios e investigaciones con respecto a ese tema para conseguir simulaciones más creíbles.

La temática de la película *S1m0ne*<sup>18</sup> (2002) de Andrew Niccol podría no ser tan descabellada en un futuro próximo. A pesar de que el personaje Simone es interpretado por un humano (Rachel Roberts), la idea de generar digitalmente un personaje aparentemente tan exacto como un ser vivo y hacerle creer al mundo que en realidad existe, dependerá tanto de entender los comportamientos de los seres vivos, de las herramientas necesarias para crear algo verdaderamente convincente, así

18. videos/Capitulo1/ 18 S1m0ne Trailer (2002).mp4

como de analizar y entender las prácticas significativas de una sociedad (ya que con la creación de un significante, el receptor puede desarrollar múltiples significados), de cómo perciben a ese objeto, de lo que para ellos es “real” y aceptado dentro de sus parámetros establecidos.

### La fantasía y la función social.

El impacto que tienen los personajes digitales en la sociedad, está siendo explotado, en su mayoría, por el campo del entretenimiento y la publicidad y en menor medida por la educación, sirven principalmente para vender. En México es un fenómeno que está en pleno proceso, pero es un avance que ya se esté tomando en consideración la animación 3D para el desarrollo de comerciales. Algunos ejemplos son el anuncio del shampoo Medicasp<sup>19</sup> ó los del grupo GRUMA<sup>20</sup> (*Pipila y Héroe desconocido*) donde se ven personajes humanos bastante sintéticos, caricaturizados y muy lejanos de parecer un humano real tanto en la forma como en el movimiento, el personaje Bolo<sup>21</sup> (<http://www.bolo.com.mx/>), para los comerciales de Liverpool tiene un desarrollo más meticuloso.

El mayor nivel de empatía entre el espectador y el video cuando se trabaja con personajes que traten de asemejar a un humano real, se alcanza cuando las relaciones y condiciones entre los diferentes elementos que conforman la realidad digital, tienen una congruencia consigo misma. Dentro de la estructura morfológica de la producción animada se emplean elementos significativos y significantes para entender los elementos de que se compone, ya que existe la facultad humana de significar todo lo visible o perceptible (ante lo nuevo hacemos un esfuerzo por descubrir su código, si no se logra, dejamos que los elementos

nos hagan pensar en algo). Cuando estos elementos no tienen una congruencia y tratan de representar la realidad, pero difieren de esta o de lo que el individuo acepta como tal, el significado que se le dará será de un producto fallido de una fantasía que no es creíble, en cambio, cuando existe una congruencia y el desarrollo del personaje es empático con la percepción del espectador, la fantasía se vuelve algo creíble y real.

Estos problemas se minorizan cuando los personajes digitales no tratan de simular a un humano, con objetos animados e incluso animales, puede ser más fácil lograr la aceptación perceptiva del espectador. En Japón el personaje digital Hatsune Miku<sup>22</sup>, es un fenómeno cultural. Sus características físicas se apegan a las de un muñeco, un ser en extremo artificial, sin embargo el fanatismo que genera y la empatía se iguala a los que provocaría un artista pop común y corriente.

La función social de este tipo de productos artísticos es generar y visualizar aquello que no es visible ó no existe, con la imagen digital se hace posible la creación de personajes y escenarios fantásticos. Parece que la mayoría de las producciones en 3D van encaminadas hacia la generación de la fantasía y en menor medida a cuestiones didácticas. En el caso de los productos que tienden al hiperrealismo, su función incluye la credibilidad, identificación y la aceptación de su propia realidad por parte del público. La creación de lo inexistente en el mundo real, de situaciones y personajes que sólo existen en lo virtual y que en algunos casos pueden interactuar con las personas, puede despertar en ellas una gran cantidad de interpretaciones y reacciones, en algunos casos generar reflexiones y en otros enajenación. Las representaciones de lo real alcanzan en nuestra era una “prodigiosa verdad realista” a raíz de la incorporación de las nuevas tecnologías digitales.

19. videos/Capitulo1/19 Medicasp.mp4

20. videos/Capitulo1/20 GRUMA El Pipila.mp4 y 20 GRUMA Héroe Desconocido.mp4

21. videos/Capitulo1/21 Bolo Comercial 2008.mp4, 21 Bolo Una Aventura Tropical PARTE 1 (LA ISLA).mp4, 21 Bolo Una Aventura Tropical PARTE 2 (LA MÁQUINA) y 21 Bolo Una Aventura Tropical PARTE 3 (La Navidad).mp4

22. videos/Capitulo1/22 Hatsune Miku.mp4

## Otras investigaciones acerca de la mecánica muscular y el movimiento secundario.

Este campo de estudio es relativamente joven, en internet y en librerías hay una gran cantidad de información, metodologías y tutoriales acerca del modelado de personajes en 3D, en cada uno de ellos existe un proceso único y particular, pero la mayoría están de acuerdo en algo: la anatomía humana. Cada producción que desee alcanzar un grado mayor de realismo, definitivamente debe de contemplar estudios anatómicos. En <http://www.cgsociety.org/>, <http://www.creativecrash.com/> ó <http://portal.reevon.com>, por mencionar algunas comunidades en la red, existe una gran colección de galerías donde se pueden apreciar los trabajos a nivel internacional de muchos artistas que trabajan tanto en 3D como en 2D, en su mayoría son *stills* o *renders* de algún personaje u objeto que rara vez están animados o si lo están, tienen un estilo caricaturizado. Esto es debido a que para obtener una animación hyperrealista se requiere mucho tiempo, paciencia, un tipo de conocimiento muy especializado y una computadora que tenga alto rendimiento. Normalmente este tipo de producciones son desarrolladas por un equipo de trabajo multidisciplinario, en las grandes casas productoras, ya sea con fines publicitarios o de entretenimiento. Películas como *Final Fantasy: Spirits Within*<sup>22</sup> (2001) de Hironobu Sakaguchi, *The Lord of the rings*<sup>23</sup> (2001) de Peter Jackson, *Avatar*<sup>24</sup> (2009) de James Cameron o videojuegos como *Gears of war*<sup>25</sup> (2006), *Batman Arkham Asylum*<sup>26</sup> (2009), *L.A. Noire*<sup>27</sup> (2011) entre muchos otros, son ejemplos muy claros de productos que tienen un estudio y análisis minucioso acerca del movimiento, aplicación y alcances que tiene la animación 3D. Su evolución ha sido muy rápida, como ejemplo estan los trailers del videojuego *Assassin's Creed* del 2008 y *Assassin's Creed Brotherhood*<sup>28</sup> del 2010, en los que se puede apreciar cambios considerables en los gráficos.

Existen muchos estudios realizados en torno al tema de la mecánica muscular simulada en computadora, algunos de ellos están enfocados al área de la medicina o la biomecánica. Dos

ejemplos son:

1.- La investigación que se desarrolla en el *Neuromuscular Biomechanics Lab* (NMBL)<sup>29</sup> de la universidad de Stanford, en su página web tienen un resumen de su objetivo:

*“El Laboratorio de Biomecánica Neuromuscular combina los enfoques experimentales y computacionales para estudiar el movimiento. Nosotros investigamos la forma y la función de los sistemas biomecánicos que van desde motores moleculares hasta las personas con trastornos del movimiento. Buscamos la comprensión fundamental de los mecanismos implicados en la producción de movimiento, y estamos motivados por las oportunidades de mejorar los tratamientos para las personas con parálisis cerebral, accidente cerebrovascular, la artrosis y la enfermedad de Parkinson.”*

2.- La investigación desarrollada en el M3<sup>30</sup> (*Multiscale Muscle Mechanics Lab* de la Universidad de Virginia) tiene una finalidad similar al de NMBL, en su página web puede leerse lo siguiente:

*“Cada músculo está bellamente sintonizado o -diseñado- para una función específica en el cuerpo. Esta afinación se logra a través de variaciones en bastantes elementos estructurales de los músculos y puede ser fácilmente alterada por el mal uso o la enfermedad. El objetivo de la investigación del Laboratorio de M3 es identificar los principios del diseño de los músculos caracterizando las relaciones entre la estructura del músculo, las propiedades mecánicas, la biología, y la función. Estamos*

22. videos/Capitulo1/23 Final Fantasy The Spirits Within Trailer.mp4

23. videos/Capitulo1/24 Lord of the Rings- Fellowship of the ring trailer.mp4

24. videos/Capitulo1/25 Avatar Trailer.mp4

25. videos/Capitulo1/26 Gears of War 3 Trailer - Ashes to Ashes.mp4

26. videos/Capitulo1/27 Batman- Arkham Asylum Trailer.mp4

27. videos/Capitulo1/28 L.A. NOIRE Trailer.mp4 y 28 L.A. Noire- The Technology Behind Performance.mp4

28. videos/Capitulo1/29 Assassin s Creed Trailer.mp4 y 29 Assassins Creed Brotherhood E3 Trailer [North America].mp4

29. NMBL - Neuromuscular Biomechanics Lab. Consultada el 14 de diciembre del 2009, de <http://nmb.stanford.edu/index.htm>

30. M3 - Multiscale Muscle Mechanics Lab at UVA. Consultada el 14 de diciembre del 2009, de <http://www.mae.virginia.edu/muscle/index.html>

*integrando una variedad de métodos computacionales y experimentales para lograr este objetivo, y estamos aplicando nuestros resultados a la comprensión y la mejora de los tratamientos para trastornos musculoesqueléticos.”*

Otro tipo de investigaciones tienden a tener un enfoque cuantitativo y matemático, como la investigación titulada “Caracterización precisa de las deformaciones de la piel usando datos de rango” (*Accurate Characterization of Skin Deformations Using Range Data*, para maestría en ciencias por parte de la Universidad de Toronto) de Jimmy D. Talbott, en la cual se propone utilizar un escáner de gama para modelar un humano en diferentes posturas.

Específicamente, en el campo de la animación, Christopher Evans y Michael Comet, han sido dos grandes aportadores y desarrolladores en esta rama de la investigación. Christopher Evans ha tenido una participación importante en grandes producciones en el campo de los videojuegos y actualmente se encuentra trabajando en ILM, parte de su trabajo ha consistido en desarrollar personajes digitales que tienen sistema muscular, en su página web <http://chrisevans3d.com/>, hay muestras de su trabajo así como de su investigación, él ha generado algunas imágenes utilizando tomografías y radiografías que explican el movimiento desde el interior. Michael Comet fue el desarrollador del *plug-in MayaMuscle* y actualmente trabaja en Pixar, también ha desarrollado una serie de códigos ó pequeñas aplicaciones que simplifican el trabajo del *rigging* o *setup* de los personajes digitales, su página web es <http://www.comet-cartoons.com/>. Ambos han tenido un interés e inquietud por la investigación del movimiento en los seres vivos y la forma en la que pueden ser simulados de una forma más congruente.

La investigación de la mecánica muscular se ha desarrollado desde hace aproximadamente 30 años. En el journal de computación *Computer Graphics*, en su volumen 21 en julio del 87, se habla del modelado muscular para la animación 3D

del rostro humano, en donde se puede apreciar la referencia inmediata al sistema muscular del rostro.

## 1.4 Masahiro Mori: el Valle Inexplicable.

Actualmente es difícil distinguir entre una imagen fotográfica y un render 3D, habrá quizás pequeños detalles que sobresalgan y se pierda la ilusión haciendo que el espectador descubra que la imagen no es real. En un render de objetos inertes, la disposición del receptor de creerlo real es más alta que con renders de seres vivos (fig. 1.1), con estos, descubre que se trata de un objeto creado artificialmente y que no pertenece a su misma realidad, sino a una realidad fantástica.



Fig. 1.1 Modelo 3D.



En 1970 Masahiro Mori esbozó un principio de la robótica que intenta explicar la respuesta emocional de los humanos hacia los robots y otras entidades no humanas, como los personajes 3D. Mori llamo a su principio “El Valle Inexplicable” (fig. 1.2). Esta teoría se basa en el hecho de que a mayor parecido exista entre un objeto y una persona, mayor será el rechazo, incrementándose si el objeto esta en movimiento, una imagen estática de un humano digital tiene un grado repulsivo menor que una en movimiento, debido a la experiencia, se puede notar cuando un movimiento no es natural o carece de características naturales y como es el caso de los robots, que son operados por un complejo mecanismo, se aprecian los movimientos cortados y mecánicos impropios de un ser vivo. En la animación 3D pasa

algo similar, aunque el grado de realismo se ha incrementado considerablemente en los últimos años, aún existe esa barrera creada por el movimiento donde se descubre que son producciones creadas por computadora. Se analizaron dos videos para hacer una comparativa entre el movimiento de los brazos en la vida real y en la animación de la película Beowulf del 2007 (videos/capitulo1/ 30 Beowulf 2007 movimiento brazos.mp4 y 30 movimiento brazos en la realidad.mp4) identificando que en Beowulf los brazos del rey carecen del movimiento secundario de la flacidez y el movimiento de los músculos. El estudio de la mecánica muscular y el movimiento secundario tiene la intención de disminuir ese “valle inexplicable”.

## 1.5 Metodología.

Este proyecto tiene como finalidad un estudio detallado de algunos movimientos corporales basados en la Mecánica Muscular para conseguir un efecto visual mas realista en la animación 3D, se trata de una investigación mixta. El proceso de este proyecto será el siguiente:

- 1) Estudio de la anatomía humana tanto de manera descriptiva como funcional.
- 2) Tomas fotográficas de las imágenes de referencia del humano a modelar, que en este caso, será un hombre de 21 años.
- 3) Modelado del personaje digital utilizando las imágenes de referencia y el conocimiento anatómico.
- 4) Aplicar texturas al personaje digital.
- 5) Preparación del personaje digital para la animación (colocación del esqueleto y de los simuladores de músculos y movimiento secundario).
- 6) Retomando el trabajo previo realizado por Muybridge<sup>31</sup> como ejemplo, se realizarán varios videos para referencia del cuerpo humano con la finalidad de entender el movimiento muscular y así

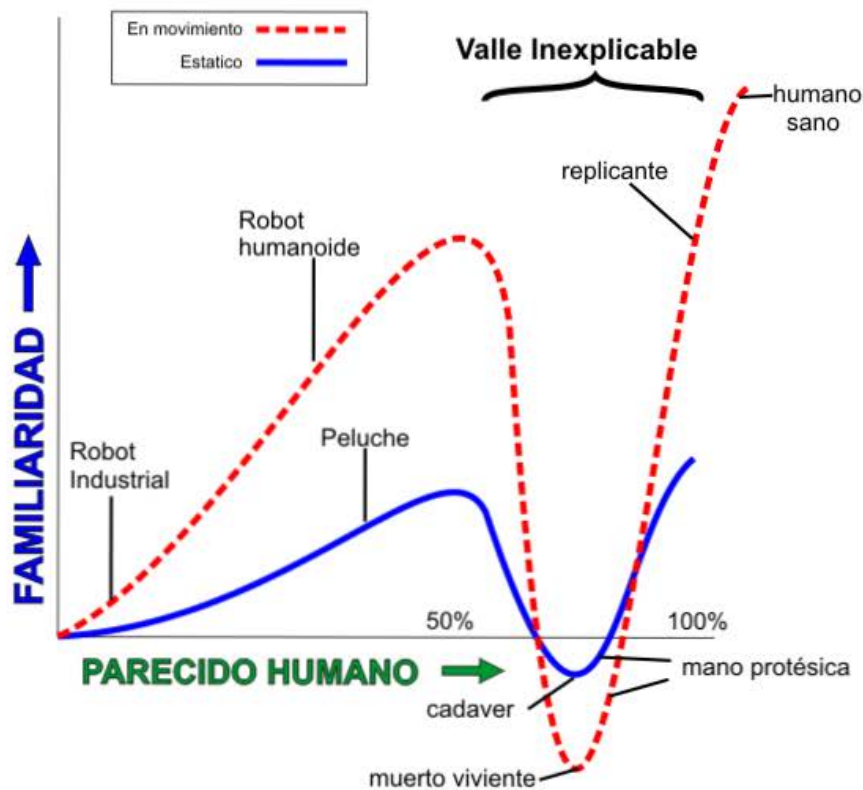


Fig. 1.2 La gráfica del valle inexplicable de Mori, obtenida de [http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Valle\\_inexplicable2.gif](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Valle_inexplicable2.gif)

31. MUYBRIDGE, Eadweard. Animals in motion. 1a ed. USA, Ed. Dover Publications, 2007, 48p.

tener una base para desarrollar una simulación del movimiento real en un personaje digital.

7) Pruebas en el personaje digital.

8) Animaciones.

## 1.6 Propósitos.

A pesar de que el tema ha sido abordado anteriormente por diversos autores como Christopher Evans<sup>32</sup>, es conveniente analizar el sistema motriz de un ser viviente por la complejidad que existe al tratar de reproducir sus movimientos.

- En esta investigación se planea indagar más en la mecánica que tienen los músculos profundos, los cuales no son notorios a simple vista, pero que su existencia y función también determina el movimiento.

- La perspectiva que este proyecto tiene está dirigida hacia la animación, porque como ya fue mencionado con anterioridad, en muchas ocasiones el personaje no es animado debido a la complejidad y al conocimiento especializado que se requiere.

- Se analizarán las reacciones secundarias de los movimientos principales para aumentar el detalle en el movimiento del personaje digital.

- Se aplicará el lenguaje corporal y analizar como influye en la personalidad del modelo 3D.

32. <http://chrisevans3d.com/index.htm>

# CAPÍTULO 2

## Anatomía humana enfocada al diseño de personajes en 3D.

Para estudiar la estructura anatómica del cuerpo humano, está puede dividirse, según menciona Juan Carlos Casiraghi en su libro “Anatomía del cuerpo humano funcional y quirúrgica, Tomo I Sistemas osteoarticulomusculares funcionales”, en varios sistemas:

- Posición erecta (columna vertebral).
- Respiración (tórax).
- Masticación (maxilares).
- Mímica (rostro).
- Cervicocefalogiria (nuca).
- Defensa y prehensión (cintura escapular).
- Equilibrio bipedestación y marcha (cintura pelviana).
- Evacuación y contención (abdomen).
- Contención neurosensorial (cráneo).

De estos sistemas solo se retomarán los elementos fundamentales que generan el movimiento y provocan deformaciones en el cuerpo.

### Elementos de estudio anatómico para la animación 3D.

**Huesos:** dan estructura y soporte al cuerpo humano. Existen varios tipos:

- Largos (actúan como brazos de palanca).
- Cortos (soportan y transmiten presiones).
- Planos (delimitan cavidades).
- Irregulares (similares a los planos y cortos).

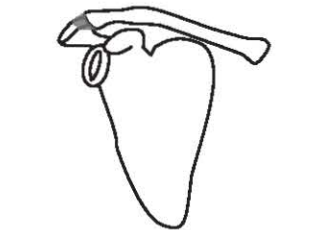
**Cartílagos:** son un tipo de tejido conectivo generalmente blanco, azulado, firme y elástico. Son un suplemento óseo que en

ocasiones reemplazan a los huesos.

**Ligamentos:** banda fibrosa de tejido conectivo que mantiene articulados dos o más huesos. Tiene la función de restringir aquellos movimientos que son anatómicamente anormales, impidiendo lesiones o protrusiones.

**Articulaciones:** son las conexiones entre uno o más huesos adyacentes, la movilidad determinará la categoría y estructura de la articulación. Existen tres tipos de articulaciones: fibrosas, cartilagosas y sinoviales. Las articulaciones sinoviales son las más frecuentes e importantes desde el punto de vista funcional, existen seis tipos que se clasifican según la forma de las caras articulares, el tipo de movimiento articular o ambos:

**Planas:** son abundantes y de pequeño tamaño, permiten movimientos de traslación o deslizamiento, las caras de los huesos son planas o prácticamente planas. Normalmente se mueven en un solo eje por lo que se les conoce también como monoaxiales.



**En bisagra:** también se mueven en un solo eje, solo permiten la extensión y flexión de los huesos.



**Condíleas:** son articulaciones biaxiales que permiten el movimiento en dos direcciones, tienen dos ejes perpendiculares entre si y permiten los movimientos de flexión, extensión, separación, aproximación y circunducción.



**En silla de montar:** son articulaciones biaxiales que se denominan de esa forma porque las caras oponentes de los huesos son cóncavas y convexas en el lugar de la articulación.



**Esferoideas o enartrosis:** son multiaxiales y se mueven en varios ejes, la cara esferoidea de un hueso se mueve dentro de la cavidad del otro. En las enartrosis



se producen movimientos de flexión, extensión, separación, aproximación, rotación medial, lateral y circunducción.

**De pivote:** son uniaxiales y permiten la rotación. Una prolongación redondeada del hueso rota dentro de un manguito o anillo.



**Músculos:** el tejido muscular se clasifica en esquelético, cardíaco y liso. Los músculos esqueléticos producen movimientos voluntarios y se denomina así porque la mayor parte se inserta, o por lo menos, en uno de sus extremos, en alguna porción del esqueleto. Los músculos lisos y el músculo cardíaco producen movimientos involuntarios. El músculo liso se encuentra en los órganos de los aparatos digestivo, respiratorio, urinario y reproductor, así como en las paredes de los conductos y de los vasos sanguíneos.

**Tendones:** Cordón blanco fibroso que conecta un músculo con otra estructura, generalmente un hueso.

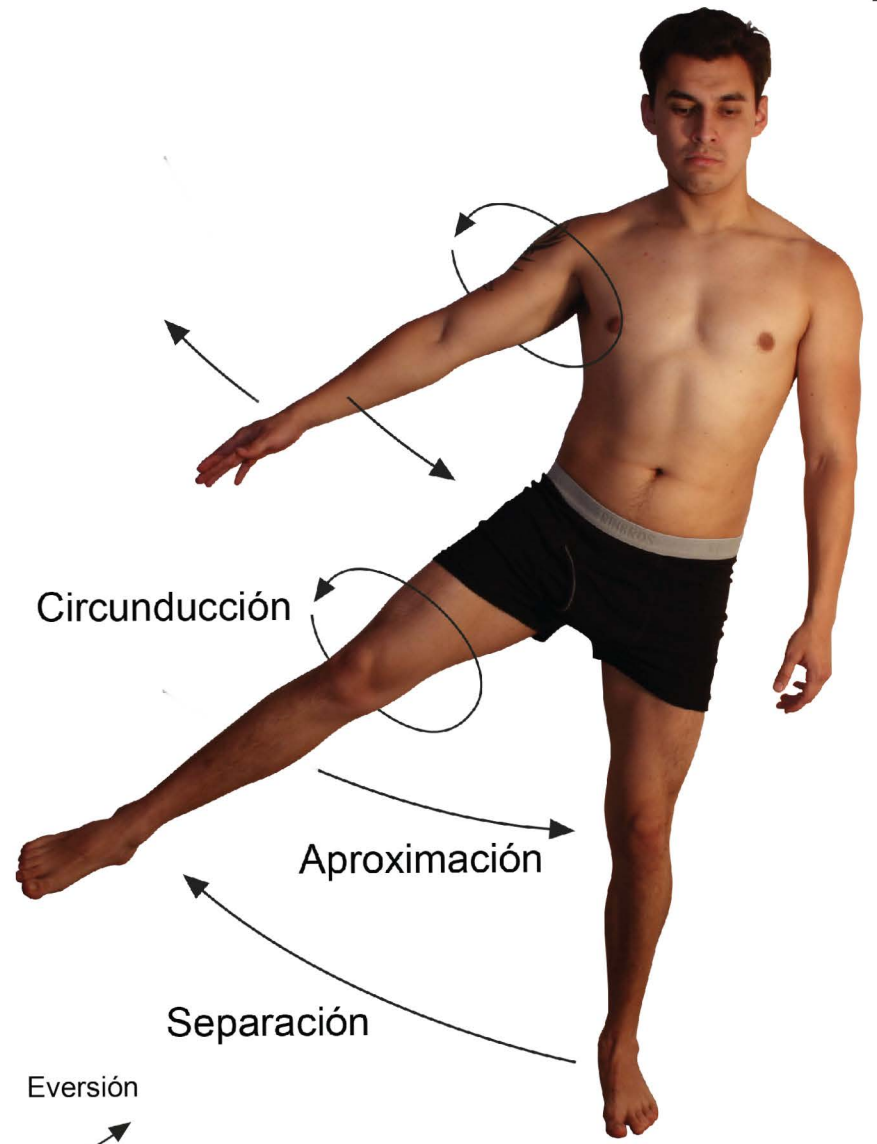
Tipos de movimiento:



Extensión



Flexión



Circunducción

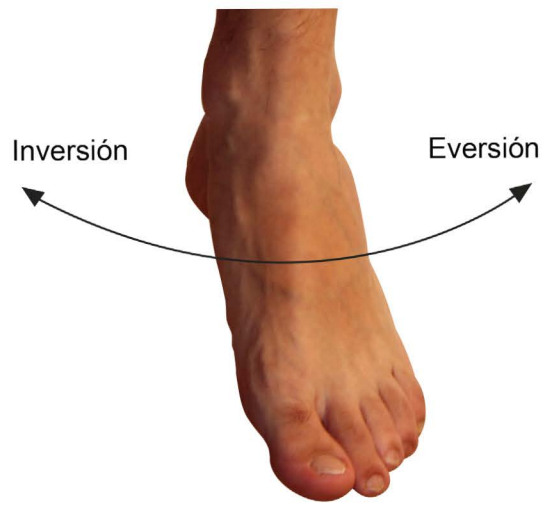
Aproximación

Separación



Dorsiflexión

Flexión plantar



Inversión

Eversión

## 2.1 Columna vertebral

La columna vertebral proporciona soporte estructural al tronco, rodea y protege la médula espinal. También proporciona puntos de unión para los músculos de la espalda y para las costillas. Los discos vertebrales (cartílagos), situados entre una vértebra y la siguiente, tienen la función de absorber los impactos durante actividades tales como caminar, correr y saltar, permitiendo la flexión y extensión<sup>1</sup>.

La columna vertebral está dividida en cuatro partes: cervical con 7 vértebras, dorsal con 12 vértebras, lumbar con 5 vértebras y el sacrococcis. Cada una de las vértebras está formada por dos porciones definidas: el cuerpo y el arco posterior, ambas partes se unen mediante un sector óseo llamado pedículo. Entre el borde inferior de un pedículo superior y uno inferior se forma un espacio llamado agujero de conjugación. El diseño de la columna vertebral está en función de la cantidad de presión que tenga que soportar y distribuir. En el sector dorsal, el cuerpo de la vértebra presenta dos carillas articulares laterales y posteriores que sirven para la articulación de la costilla. La séptima vértebra cervical es de interés debido a que posee características diferentes a las otras seis, su apófisis espinosa es unituberculosa como la de las dorsales pero más larga que la sexta cervical y la primera dorsal.

En la columna vertebral se forman una serie de curvaturas fisiológicas establecidas en los primeros meses de vida:

- Lordosis cervical: se desarrolla alrededor de los 2-3 meses de vida, cuando el bebé comienza a levantar la cabeza en prono, de manera que el aumento de tono y fuerza de la musculatura posterior de cuello y cabeza genera la lordosis cervical.
- Cifosis dorsal: suele ser una curva generada pasivamente ante el desarrollo de la lordosis cervical, por arriba, y la lordosis lumbar, por abajo.
- Lordosis lumbar: se desarrolla sobre los 5-7 meses de vida,

cuando el bebé comienza a extender los brazos en prono, descargando el peso sobre abdomen y pubis y comienza a levantar un brazo<sup>2</sup>.

### Articulaciones.

Las articulaciones de los cuerpos vertebrales se efectúan mediante los discos intervertebrales, para evitar que estos se desplacen fuera de su sitio, los ligamentos vertebrales, común anterior y posterior, los mantienen en una posición fija. El ligamento anterior limita los movimientos de extensión ó flexión dorsal de la columna. El ligamento posterior limita el movimiento de flexión ventral. Las articulaciones de las vértebras, por sus arcos posteriores, se hacen por medio de las carillas articulares.

Las articulaciones vertebrales posteriores poseen ligamentos a distancia llamados ligamento intertransversario (conecta apófisis transversas) e interespinoso (conecta apófisis espinosas).

### Movilidad.

Los movimientos de flexión y extensión son los más manifestados y de mayor amplitud en el sujeto vivo. Alcanzan los 164° en flexión ventral y los 139° en la flexión dorsal. En dichos movimientos tiene importancia la limitación ocasionada por los músculos y los ligamentos. La disposición del eje de la columna y la posición de las vísceras hace lógico suponer que los elementos activos musculares deben de ser fundamentalmente posteriores, pues se hace necesaria una gran potencia muscular que se oponga al peso visceral.

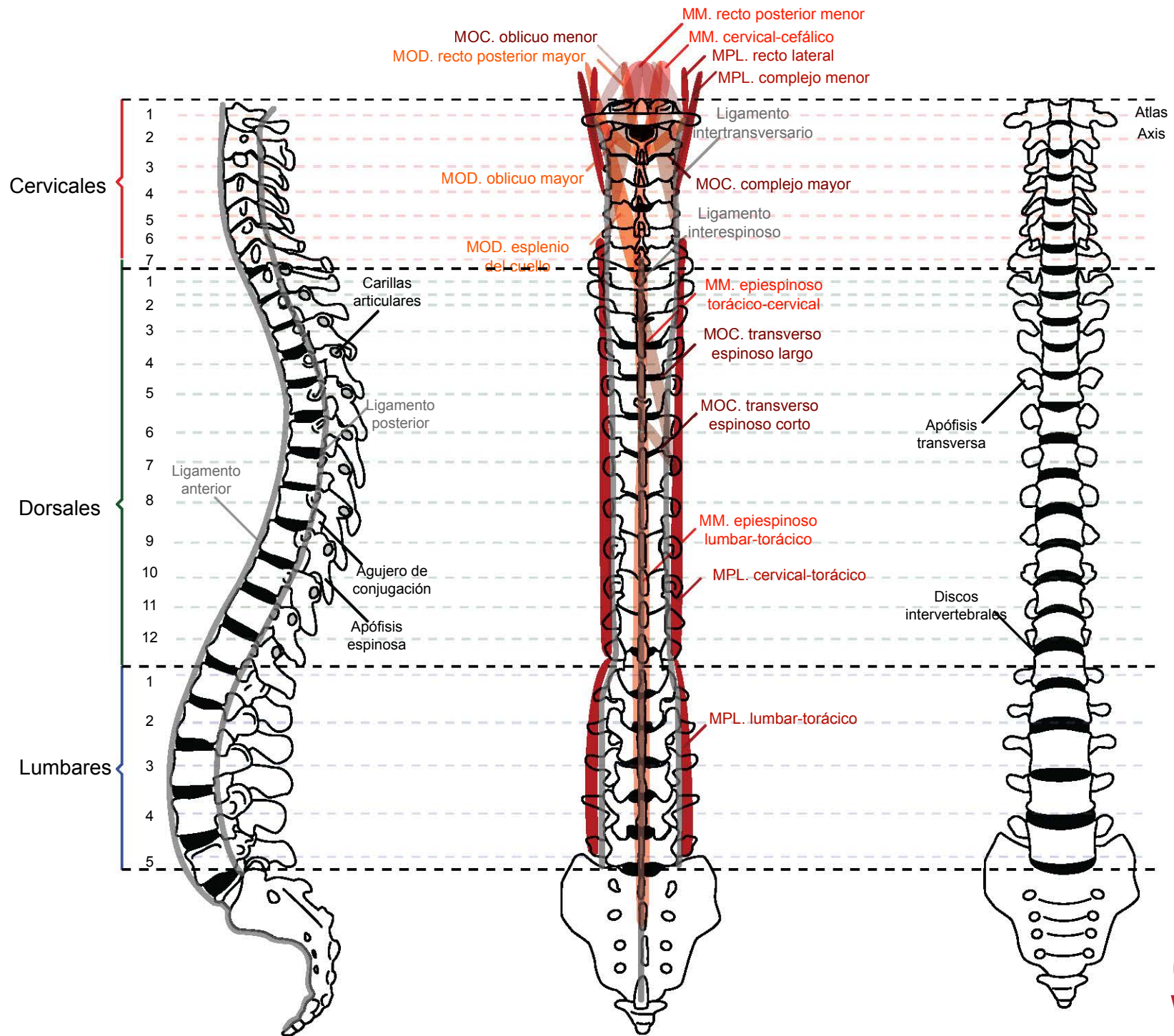
### Sistema muscular.

Existen dos tipos de músculos en la columna:

- Músculos medianos interespinosos. Son extensores, conectan las apófisis espinosas. El recto posterior menor es un músculo corto que conecta a la apófisis espinosa del atlas con la protuberancia occipital externa. El músculo epiespinoso

1. Junta de Andalucía (Página consultada el 21 de octubre de 2009). La columna vertebral, [On-line]. Dirección URL: <http://www.juntadeandalucia.es/averroes/~29701428/salud/h2/columna.htm>.

2. El ergonomista. Página consultada el 22 de octubre de 2009). Anatomía de la espalda,, [On-line]. Dirección URL: <http://www.elergonomista.com/aitor03.htm>.



**Columna vertebral**

lumbar-torácico y el epiespinoso torácico-cervical son músculos interespinosos largos. El interespinoso largo de la cabeza tiene por nombre cervical-cefálico.

- **Músculos paramedianos** (longitudinales intertransversarios y oblicuos). Los paramedianos longitudinales intertransversarios son lateralizadores de la columna y de la cabeza, conectan las apófisis transversas. Para la cabeza el intertransversario corto está representado por el recto lateral que se extiende desde la apófisis transversa del atlas a la apófisis yugular del occipital. Los intertransversarios largos son el lumbar-torácico, cervical-torácico y el complejo menor.

Los oblicuos convergentes funcionan para la rotación contra lateral (conectan la apófisis transversa con la espinosa). Son el oblicuo menor, complejo mayor, transverso espinoso corto y transverso espinoso largo.

Los oblicuos divergentes efectúan la rotación homolateral (conectan la apófisis espinosa con la transversa y solo tienen presencia en el sector cervical). Este grupo muscular está formado por el oblicuo mayor, el recto posterior mayor y el esplenio del cuello.

## 2.2 Tórax

El tórax aloja y da protección a órganos vitales de los sistemas respiratorio y circulatorio. El esqueleto del tórax, o pecho, está compuesto por el esternón, las costillas y los cartílagos costales. Las costillas surgen de las vertebrales dorsales. El esternón consta de tres partes: manubrio esternal (zona superior, donde se conectan mediante articulaciones las clavículas), cuerpo del esternón (gladiolo, zona media) y apófisis xifoides o proceso xifoideo (ensiforme, zona inferior).

Existen doce pares de costillas y de cartílagos costales. Los primeros siete pares de costillas (costillas verdaderas) se articulan a través de sus cartílagos costales con el esternón. Los últimos cinco pares se llaman “costillas falsas” ya que sus cartílagos

costales no se articulan directamente con el esternón, la octava, novena y décima tienen sus cartílagos articulados al cartílago costal inmediato superior, mientras que los cartílagos de la undécima y duodécima son pequeños y terminan libremente en la pared del cuerpo es por eso que en ocasiones se denominan “costillas flotantes” o “vertebrales”. Las costillas aumentan en longitud de la primera a la séptima, posteriormente decrecen hasta la duodécima.

**Diafragma:** es el músculo principal de la respiración, tiene inserciones en las tres primeras vertebrales lumbares por medio de los tendones llamados pilares, y por intermedio de los ligamentos arqueados lateral y medial a la apófisis transversa de las dos primeras vertebrales lumbares.

## 2.3 Cintura Escapular

### Estructuras óseas.

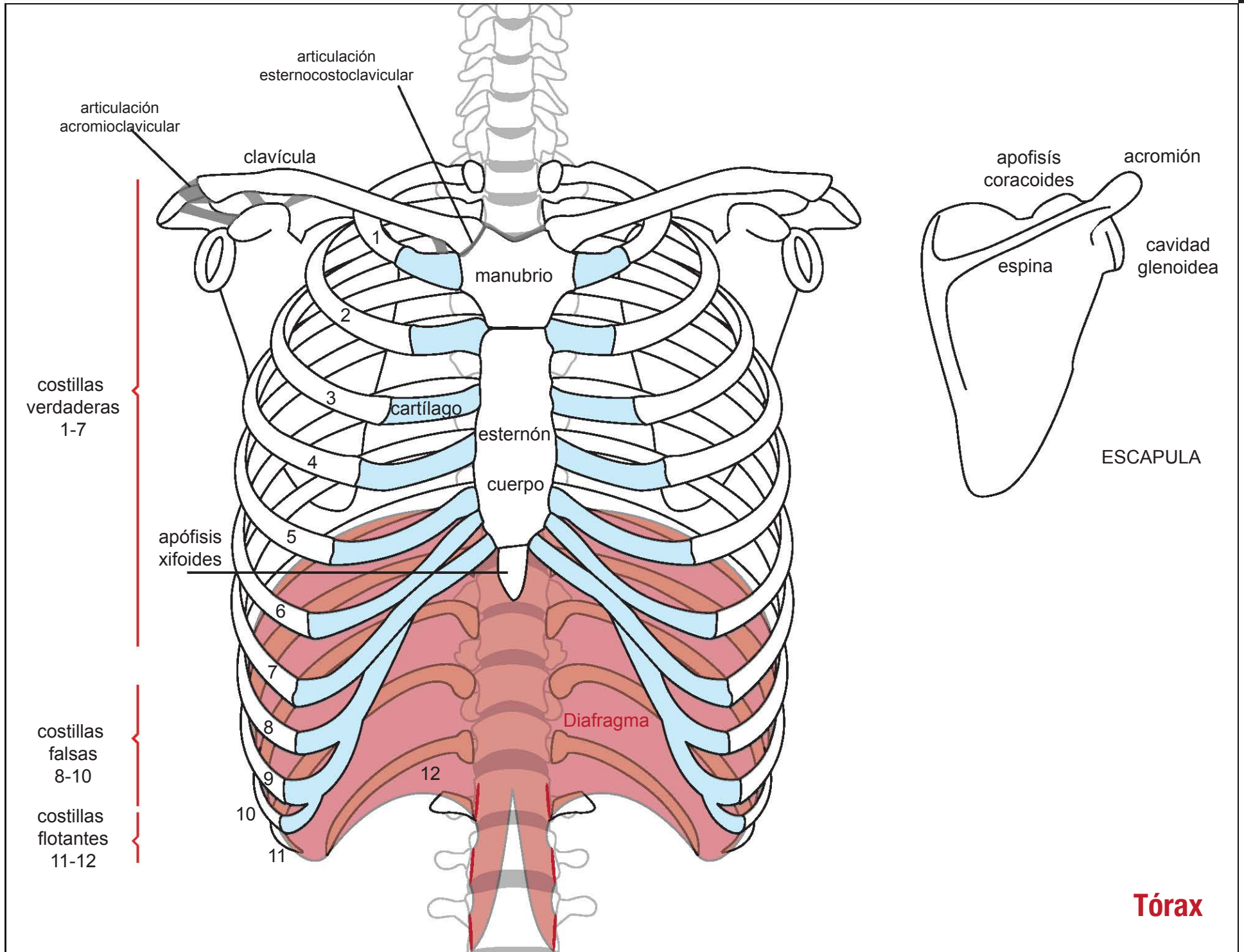
**Clavícula:** es un hueso robusto e incurvado, está colocado transversalmente a nivel del sector superior del tórax. Sus partes son: cuerpo, extremidad interna o esternal (abultada) y extremidad externa o acromial (aplanada).

**Escápula:** es un hueso delgado y plano de forma triangular. Presenta dos caras: anterior y posterior. En la cara posterior aparece la espina, que culmina en una tuberosidad llamada acromion, la cual tiene una carilla articular cubierta por un fibrocartílago para conectar la clavícula. El borde superior de la escápula es el más corto y fino y del mismo nace otra tuberosidad llamada apófisis coracoides.

### Articulaciones.

La articulación esternocostoclavicular es el único medio por el cual se conecta el miembro superior con el tórax, presenta fuertes ligamentos llamados anterior, posterior, superior e inferior. Los ligamentos anteriores y posteriores se extienden desde la





clavícula a la escápula. Los ligamentos superiores son también llamados interclavicular debido a que se extiende de una a otra clavícula pasando por arriba del esternón y conectándose a este por tejido laxo. El ligamento inferior se extiende desde la tuberosidad costal de la cara inferior de la clavícula hasta el primer cartílago costal.

La articulación acromioclavicular está constituida entre la carilla articular del acromion y la extremidad extrema de la clavícula y se unen mediante el ligamento acromioclavicular. Existen también otros dos ligamentos inferiores que se extienden desde la tuberosidad coracoides de la clavícula a la apófisis coracoides de la escápula, uno de estos ligamentos es de forma cuadrangular y se llama ligamento trapezoides mientras que el otro es de forma triangular y es conocido como ligamento coronoide.

### Movilidad.

La cintura escapular puede ser llevada hacia arriba y hacia abajo, hacia adelante (antepulsión) y hacia atrás (retopulsión).

## Sistema muscular del pecho.

### Músculos pectorales:

**Pectoral mayor:** su cabeza clavicular se inserta en la cara anterior de la mitad medial de la clavícula, la cabeza esternocostal se inserta en la cara anterior del esternón, en los seis primeros cartílagos costales y en la aponeurosis del oblicuo externo. La inserción distal se realiza en el labio lateral del surco intertubercular del húmero. Su borde lateral forma el pliegue axilar anterior y la mayor parte de la pared anterior de la axila. Los músculos pectoral mayor y deltoides se apartan ligeramente, uno del otro, en la parte superior formando junto con la clavícula el triángulo deltopectoral (fosa infraclavicular fig 2.1). Tiene la función de aproximar y rotar medialmente el húmero, tracciona de la escápula hacia adelante y hacia abajo, la cabeza clavicular flexiona el húmero y la esternoclavicular lo extiende.

**Pectoral menor:** está situado en la pared anterior de la axila y se haya cubierto por el pectoral mayor. Se inserta de la 3ª a la

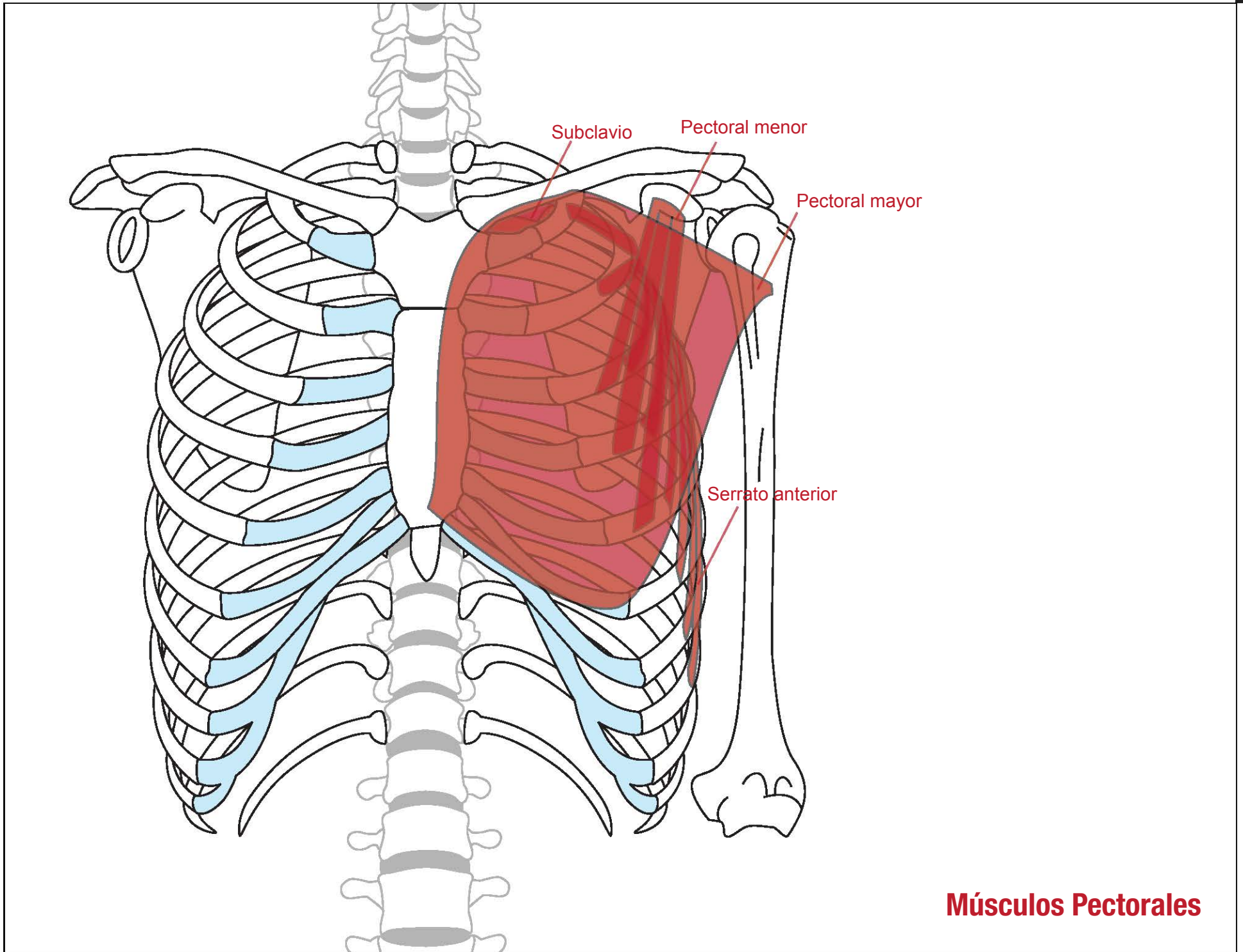
5ª costilla y su inserción distal se realiza en el borde medial y la cara superior de la apófisis coracoides de la escápula. Estabiliza la escápula traccionando hacia abajo y hacia adelante contra la pared torácica.

**Subclavio:** se sitúa inferior a la clavícula, se inserta en la unión de la primera costilla y su cartílago costal, la inserción distal está localizada en la cara inferior del tercio medio de la clavícula. Tiene la función de traccionar medialmente la clavícula.

**Serrato anterior:** recubre la porción lateral del tórax y los músculos intercostales. Actúa como antagonista del trapecio. Se inserta en la cara externa de la parte lateral de la primera a la octava costilla, su inserción distal se realiza en la cara anterior del borde medial de la escápula. Su función es la protracción, fijación a la pared torácica y rotación de la escápula. Las fibras inferiores ayudan a elevar la cavidad glenoidea de la escápula. Cuando se efectúa el movimiento de elevar el miembro superior por encima de la horizontal, el serrato mayor y el trapecio actúan de manera sinérgica.



Fig. 2.1 triángulo deltopectoral o fosa infraclavicular.



## Músculos del dorso del tronco y el hombro.

### Músculos extrínsecos superficiales.

**Trapezio:** es un músculo triangular y plano que cubre la parte posterior del cuello y la mitad superior del tronco. Une la cintura escapular al cráneo y a la columna vertebral. Se inserta en el tercio medio de la línea superior de la nuca; protuberancia occipital externa, ligamento de la nuca y apófisis espinosas de las vertebrae 7 cervical a 12 dorsal, su inserción distal se encuentra en el tercio lateral de la clavícula, acromión y espina de la escápula. Eleva y rota la escápula; las fibras superiores elevan, las fibras medias retraen y las fibras inferiores deprimen la escápula; las fibras superiores e inferiores se contraen de manera simultánea para la rotación superior de la escápula, lleva a la cintura escapular y a la escápula en particular hacia atrás arriba y adentro, rotándolo junto a la clavícula y separándolo del plano costal. Es fundamental en el movimiento de elevación de la cintura escapular por encima de la horizontal (encogimiento de hombros), es el músculo que posibilita tocar la cabeza con la mano. La debilidad de este músculo determina una caída de los hombros.

**Latísimo del dorso:** cubre la mitad inferior del dorso del tronco, desde la vertebra 6 dorsal hasta la cresta iliaca. Tiene forma de abanico y pasa entre el tronco y el húmero. Actúa sobre la articulación escapulohumeral y de manera indirecta sobre la cintura escapular. Se inserta en las apófisis espinosas de las seis últimas vertebrae dorsales, fascia toracolumbar, cresta iliaca y 3 o 4 últimas costillas, su inserción distal se realiza en el suelo del surco intertubercular del húmero. Tiene la función de extender, aproximar y rotar medialmente al húmero sobre la articulación escapulohumeral; eleva el cuerpo, acercándolo a los brazos al trepar, permite que el humano pueda tocar el sacro.

### Músculos extrínsecos profundos.

**Elevador de la escápula:** su tercio superior se encuentra bajo el esternocleidomastoideo y el inferior, en la profundidad del trapecio. Se inserta en los tubérculos posteriores de las apófisis transversas de las vertebrae cervicales 1 a 4, su inserción

distal se realiza en la parte superior del borde medial de la escápula. Tiene la función de elevar la escápula e inclina la cavidad glenoidea hacia abajo rotando la escápula. Ayuda a retraer la escápula y fijarla contra el tronco, flexionando el cuello lateralmente.

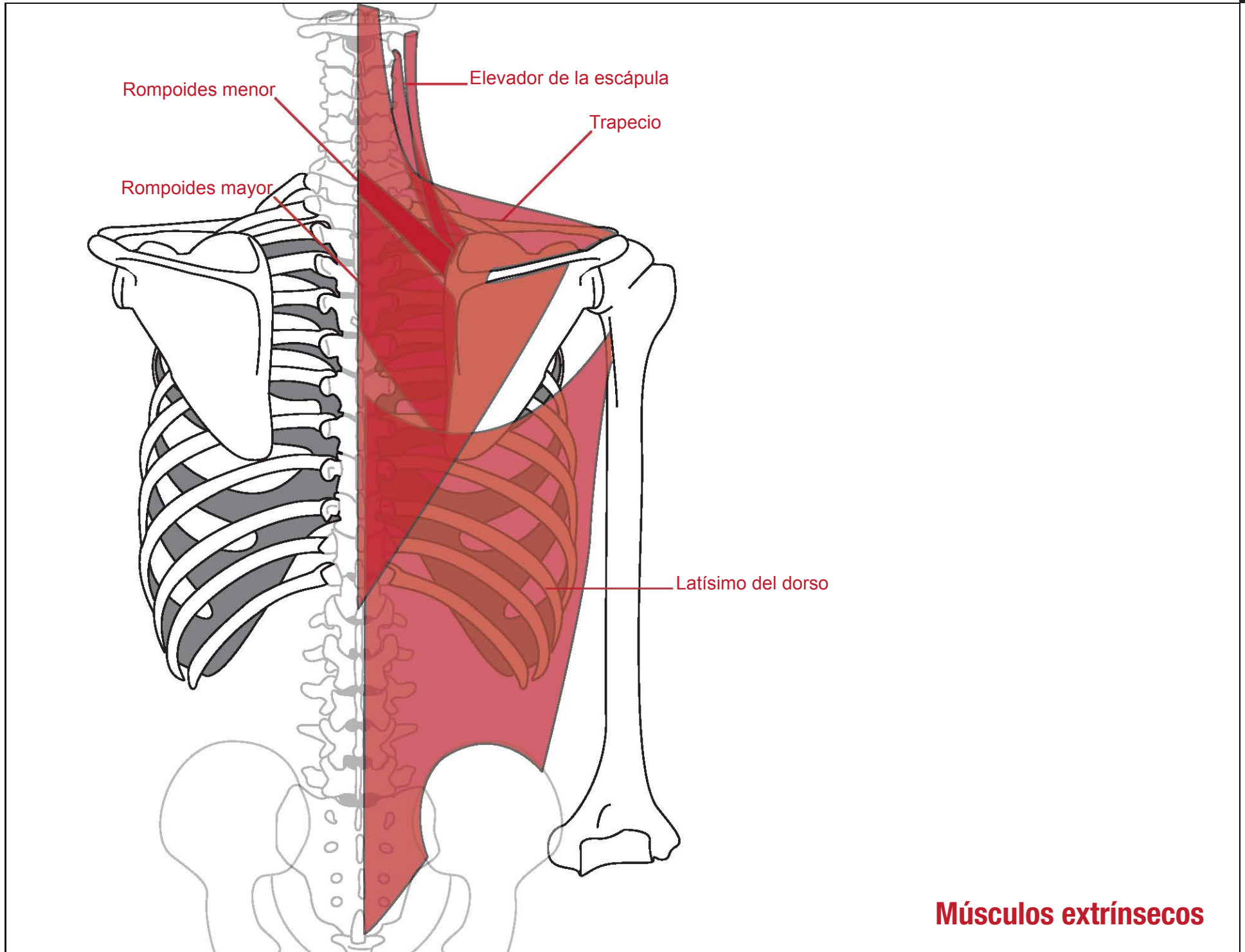
**Romboides:** están situados en la profundidad del trapecio. El romboides mayor es casi el doble de ancho que el romboides menor, la inserción proximal del romboides menor está en el ligamento de la nuca y apófisis espinosas de la vértebra cervical 7 y dorsal 1, la inserción proximal del romboides mayor se encuentra en las apófisis espinosas de las vertebrae dorsal 2 a 5, sus inserciones distales se hacen en el borde medial de la escápula, desde el nivel de la espina hasta el ángulo inferior. Tienen la función de retraer y rotar la escápula, deprimiendo la cavidad glenoidea; fija la escápula contra la pared torácica.

### Músculos intrínsecos o escapulares:

Se dirigen desde la escápula al húmero realizando sus acciones sobre el hombro.

**Deltoides:** cubre la articulación del hombro, le da forma y contorno redondeado. Se inserta en el tercio lateral de la clavícula, acromion y espina de la escápula, su inserción distal está en la tuberosidad deltoidea del húmero. Su porción anterior flexiona y rota medialmente el brazo, la porción media separa el brazo y la porción posterior extiende y rota lateralmente el brazo. Estos movimientos se realizan conjuntamente con otros músculos; la porción anterior actúa junto con el pectoral mayor y coracobraquial para flexionar el brazo, la porción intermedia separa el brazo en combinación con el supraespinoso. Ayuda a mantener la cabeza del húmero dentro de la cavidad glenoidea durante el movimiento del brazo.

**Redondo mayor:** es un músculo rectangular ligeramente aplanado, su borde inferior forma el borde inferior de la pared posterior de la axila, este músculo junto con el tendón del latísimo del dorso determinan el pliegue axilar posterior. Se inserta en la cara dorsal del ángulo inferior de la escápula, su inserción distal está ubicada en el labio medial del surco



intertubercular del húmero.

**Redondo menor:** se inserta en la parte superior del borde lateral de la escápula, su inserción distal está ubicada en la carilla inferior del tubérculo mayor del húmero.

**Infraespinoso:** tiene forma triangular y su inserción proximal ocupa la mayor parte de la fosa infraespinosa, la inserción distal se realiza en la carilla media del tubérculo mayor del húmero.

Los músculos: redondo mayor, redondo menor, e infraespinoso, tienen la función de rotar lateralmente el brazo, ayudan a mantener la cabeza humeral dentro de la cavidad glenoidea y aproximan y rotan medialmente el brazo.

**Supraespinoso:** se inserta en la fosa supraespinosa, está ubicado por encima de la espina de la escápula y en la profundidad del trapecio, su inserción distal está en la carilla superior del tubérculo mayor del húmero. Ayuda al deltoides a separar el brazo y actúa con el manguito de los rotadores.

**Subescapular:** se encuentra en la cara costal de la escápula y forma parte de la pared posterior de la axila. Cruza la cara anterior del hombro en su trayecto hacia el húmero. Se inserta en la fosa subescapular y desde ahí alcanza el tubérculo menor del húmero. Tiene la función de rotar medialmente y aproximar al brazo, también contribuye a mantener la cabeza humeral dentro de la cavidad glenoidea.

Los músculos: redondo menor, infraespinoso, supraespinoso y subescapular son conocidos también como músculos del manguito de los rotadores.

## **Movilidad del brazo: el hombro.**

### **Estructuras óseas.**

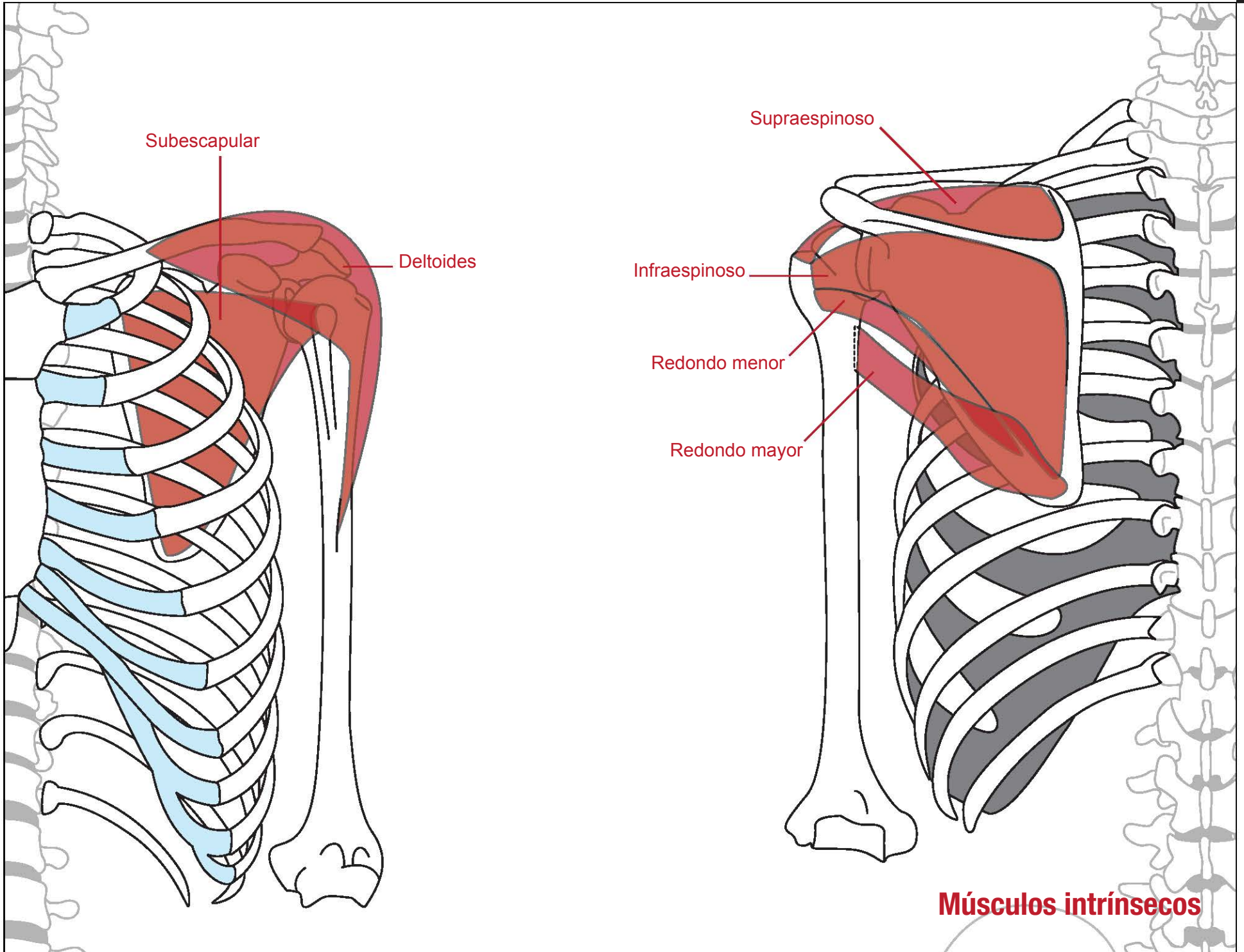
Las estructuras osteoarticulares que permiten el movimiento en esta zona son la escápula, el húmero y la articulación escapulohumeral. La escápula se articula con el húmero a través de la cavidad glenoidea, la cual tiene dos protuberancias arriba y abajo llamadas supraglenoidea (destinada a la inserción de la porción larga del bíceps) e infraglenoidea (destinada a la inserción de la porción larga del tríceps).

El **húmero**, presenta un sector medio o diáfisis y dos extremidades. Hacia arriba y afuera la diáfisis se encuentra la tuberosidad deltoidea que sirve para la inserción del músculo deltoides. En la extremidad superior se encuentra la cabeza humeral, la cual se haya separada por el cuello anatómico y este a su vez se encuentra representado por dos apófisis: el troquíter ó tubérculo mayor (dirigido hacia afuera y con una superficie dividida en tres para los músculos supraespinoso, infraespinoso y redondo menor) y el troquín ó tubérculo menor (dirigido hacia adelante y donde se conecta el músculo subescapular). Hacia abajo tanto el troquín como el troquíter se prolongan por sendas destinadas también a inserciones musculares. La senda que nace en el troquíter sirve para la inserción del músculo pectoral mayor mientras que la sale del troquín para el músculo redondo mayor y el dorsal.

**Articulación escapulohumeral:** está constituida por las superficies articulares correspondientes del húmero y de la escápula, las cuales se unen mediante los ligamentos que a su vez, proporcionan soporte y sirven para la sustentación pasiva del miembro y de los músculos correspondientes. Entre estos ligamentos se encuentran los siguientes:

- Ligamento coracohumeral: se extiende desde la apófisis coracoides hasta la tuberosidad mayor del húmero.
- Ligamento glenohumeral inferior: se inserta en la parte inferior de la cavidad glenoidea y se extiende hasta el cuello anatómico del húmero.
- Ligamento glenohumeral medio: se inserta desde el rodete glenoideo hasta el tubérculo menor por debajo del tendón subescapular con el cual se confunde.
- Ligamento glenohumeral superior: tiene la misma dirección que el coracohumeral y le sirve de refuerzo. Envía una expansión de inserción hasta el troquín.

Estos ligamentos no son suficientes cuando actúan presiones o tracciones mayores a las normales, bajo estas circunstancias y aparte de las formaciones musculares intervienen el ligamento acromioclavicular (que se extiende desde la cara dorsal de



la apófisis coracoides hasta el borde anterior del acromión), el tendón de la porción larga del bíceps (se inserta en el sector supraglenoideo y cruza la cabeza humeral por la corredera bicipital) y la porción larga del tríceps (cruza la cara inferior de la cabeza humeral por su inserción subglenoidea).

Esta articulación tiene movimientos amplios como abducción, aducción, anteflexión, retroflexión o extensión, rotación y circunducción. El movimiento de retroflexión solo alcanza los 45°, el de aducción posterior solo alcanza los 35°. El pivote sobre la articulación esternoclavicular permite la mayor amplitud a los movimientos hacia adelante y retiene y limita los que deben realizarse hacia atrás.

## Movilidad del codo y el antebrazo

### Estructuras óseas.

Extremidad inferior del húmero: es menos gruesa pero más ancha que la diáfisis, presenta dos elementos que sobresalen, uno interno llamado epitróclea ó epicóndilo medial y otro externo llamado epicóndilo lateral, los cuales sirven para las inserciones musculares y ligamentosas. La epitróclea presenta por la parte de arriba una saliente llamada tuberosidad supraepitrocLEAR. Entre estas salientes óseas se encuentra la superficie articular de la extremidad inferior del húmero la cual consta de dos superficies una interna en forma de polea llamada tróclea humeral que está destinada para la articulación con la fosa sigmoidea mayor del cubito y otra externa más pequeña y redonda llamada cóndilo que sirve para la articulación con la cabeza radial.

Por encima tanto por delante como por detrás de la tróclea, el húmero presenta dos excavaciones: la fosa olecraneana (posterior) y la fosa coronoidea (anterior). Ambas son imprescindibles para la función de flexoextensión de la articulación humerocubital y de menor significación para los movimientos de pronosupinación.

El cúbito se encuentra colocado en el lado interno del antebrazo es un hueso largo con una amplia extremidad superior y una mucho mas adelgazada extremidad inferior, el cuerpo es

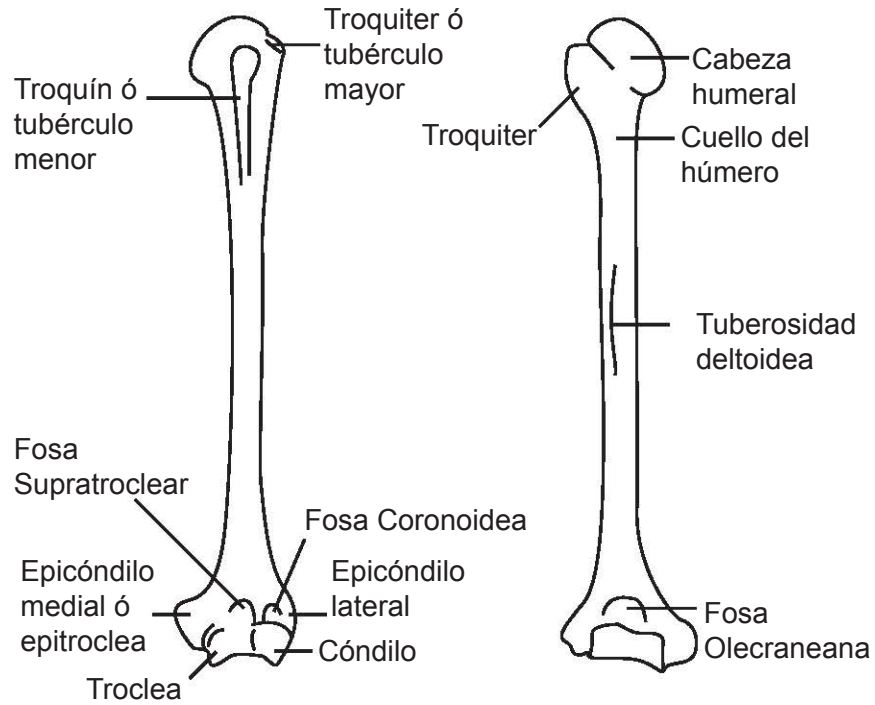
ligeramente convexo hacia afuera y en de corte triangular. Su extremidad superior termina hacia arriba formando dos apófisis: una llamada oleocranon la cual presenta una cara posterior rugosa para la inserción del músculo tríceps y otra llamada apófisis coronoides. Entre ambas apófisis y constituida por las caras internas de las mismas, existe una amplia superficie articular, ligeramente cóncava y cubierta por un fibrocartílago, denominada cavidad sigmoidea mayor y está destinada a la articulación de la extremidad inferior de húmero. En el lado externo o radial de la extremidad superior, hacia afuera de la apófisis coronoides existe otra superficie articular llamada cavidad sigmoidea menor y está destinada a la articulación de la extremidad superior del cúbito con la sinónima del radio. La cresta interósea se encuentra más abajo de la cavidad sigmoidea y funciona para la inserción del músculo supinador corto. La tuberosidad cubital se encuentra por debajo de la apófisis coronoides y está destinada a la inserción del músculo braquial anterior. La extremidad inferior del cúbito es redondeada y más estrecha que la superior, está formada por una tuberosidad terminada en una pequeña apófisis llamada estiloides cubital. Presenta además varias caras articulares cubiertas por cartílago, la cara inferior está destinada a la articulación carpiana y la lateral ó externa lo es para la articulación radiocubital.

El radio es un hueso largo con un cuerpo y dos extremidades, la inferior es abultada y la superior estrecha. El cuerpo presenta una característica importante desde el punto de vista funcional: es marcadamente incurvado hacia afuera y muchas veces también hacia atrás. En la parte media de la cara externa existe una pronunciada rugosidad destinada a la inserción del músculo pronador redondo. La extremidad superior o cabeza presenta una concavidad en su cara superior que la ocupa totalmente y que sirve para su articulación con el cóndilo de la extremidad inferior del húmero. El contorno circular de la cabeza es liso y está destinado a la articulación radiocubital superior, que se realizará con la cavidad sigmoidea menor del cúbito. Por debajo de la cabeza, el radio tiene un sector que es marcadamente angosto llamado cuello radial y por debajo de este una rugosidad llamada



VISTA ANTERIOR

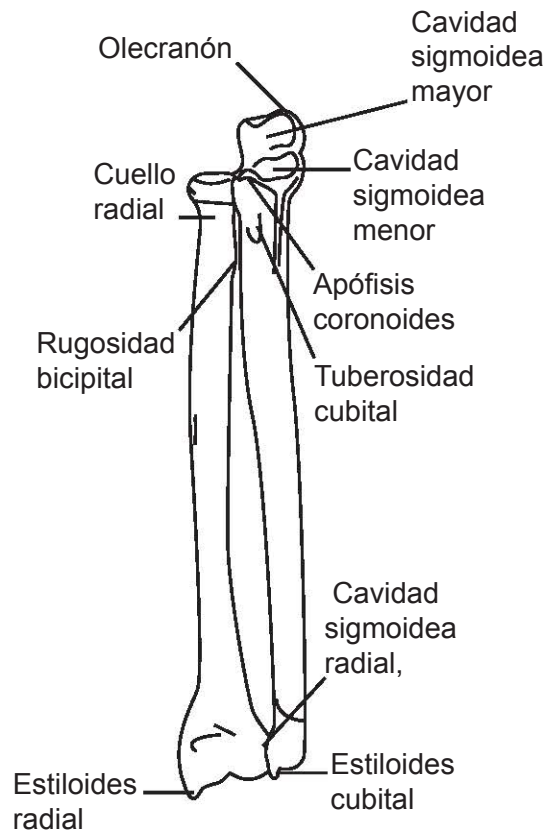
VISTA POSTERIOR



**HÚMERO**

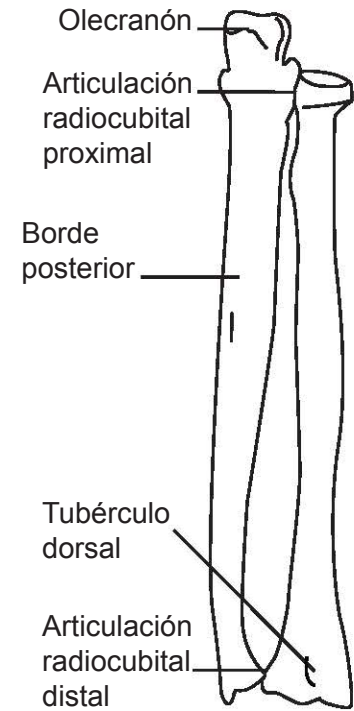
VISTA ANTERIOR

VISTA POSTERIOR



**RADIO CÚBITO**

**CÚBITO RADIO**



**Húmero, Cúbito y Radio**

bicipital en la cual se inserta el bíceps. Sobre la cara interna de la extremidad inferior se encuentra la cavidad sigmoidea radial, la cual sirve para la articulación con la extremidad inferior del cúbito.

## Sistema muscular del brazo.

### Músculos del brazo:

El brazo contiene cuatro músculos: tres flexores en el compartimiento fascial anterior y uno extensor en el compartimiento fascial posterior. El músculo ancóneo está situado principalmente en el antebrazo pero al estar relacionado morfológica y funcionalmente con el músculo tríceps braquial se describe en este grupo.

**Bíceps:** es un músculo fusiforme que tiene dos inserciones proximales, la cabeza corta se inserta en la punta de la apófisis coracoides de la escápula, la cabeza larga se inserta en el tubérculo supraglenoideo de la escápula. Su inserción distal se realiza en la tuberosidad del radio y fascia del antebrazo a través de la aponeurosis bicipital. Más que un flexor, es un importante músculo supinador del antebrazo, ejerciendo este movimiento tanto en la flexión como en la extensión del antebrazo sobre el brazo. Es un músculo superficial que cubre al coracobraquial y al braquial anterior.

**Tríceps:** es un músculo fusiforme que se encuentra en el compartimiento fascial posterior del brazo y se asocia al músculo ancóneo. Tiene tres cabezas: la cabeza larga que se inserta en el tubérculo infraglenoideo de la escápula, la cabeza lateral y la cabeza medial se insertan en la cara posterior del húmero, por abajo y por arriba del canal del nervio radial, su inserción distal está ubicada en la extremidad proximal del olecranon y fascia del antebrazo. Tiene la función de extender el antebrazo, es su principal extensor. Su cabeza larga cruza la articulación del hombro, por lo tanto contribuye a la extensión y aproximación del brazo.

**Braquial:** está situado atrás del bíceps. Su forma es fusiforme. Su inserción proximal se encuentra en la mitad distal de la cara anterior del humero, la inserción distal está ubicada en la

apófisis coronoides y tuberosidad del cubito. Tiene la función de flexionar el antebrazo en todas las posiciones. Su acción flexora se manifiesta especialmente en los movimientos que deben hacerse al colgarse por los miembros superiores de una barra y elevar el cuerpo sobre ella. Si el brazo se coloca en pronación forzada, tanto el bíceps como el supinador largo colaboran en su acción flexora.

**Coracobraquial:** es un músculo elongado y estrecho que se inserta en la punta de la apófisis coracoides de la escápula, su inserción distal se realiza en el tercio medio de la cara medial del húmero. Ayuda a flexionar y aproximar el brazo.

**Ancóneo:** es un músculo triangular ubicado en la porción lateral de la cara posterior del codo y suele unirse en parte al músculo tríceps, por lo que suele considerarse como un elemento integral de la cabeza medial de este músculo. Se inserta en el epicóndilo lateral del húmero, su inserción distal se ubica en la cara lateral del olecranon y parte posterior de la cara posterior del cúbito. Ayuda al tríceps a extender el antebrazo, estabiliza el codo y separa el cubito durante la pronación.

### Articulación del codo.

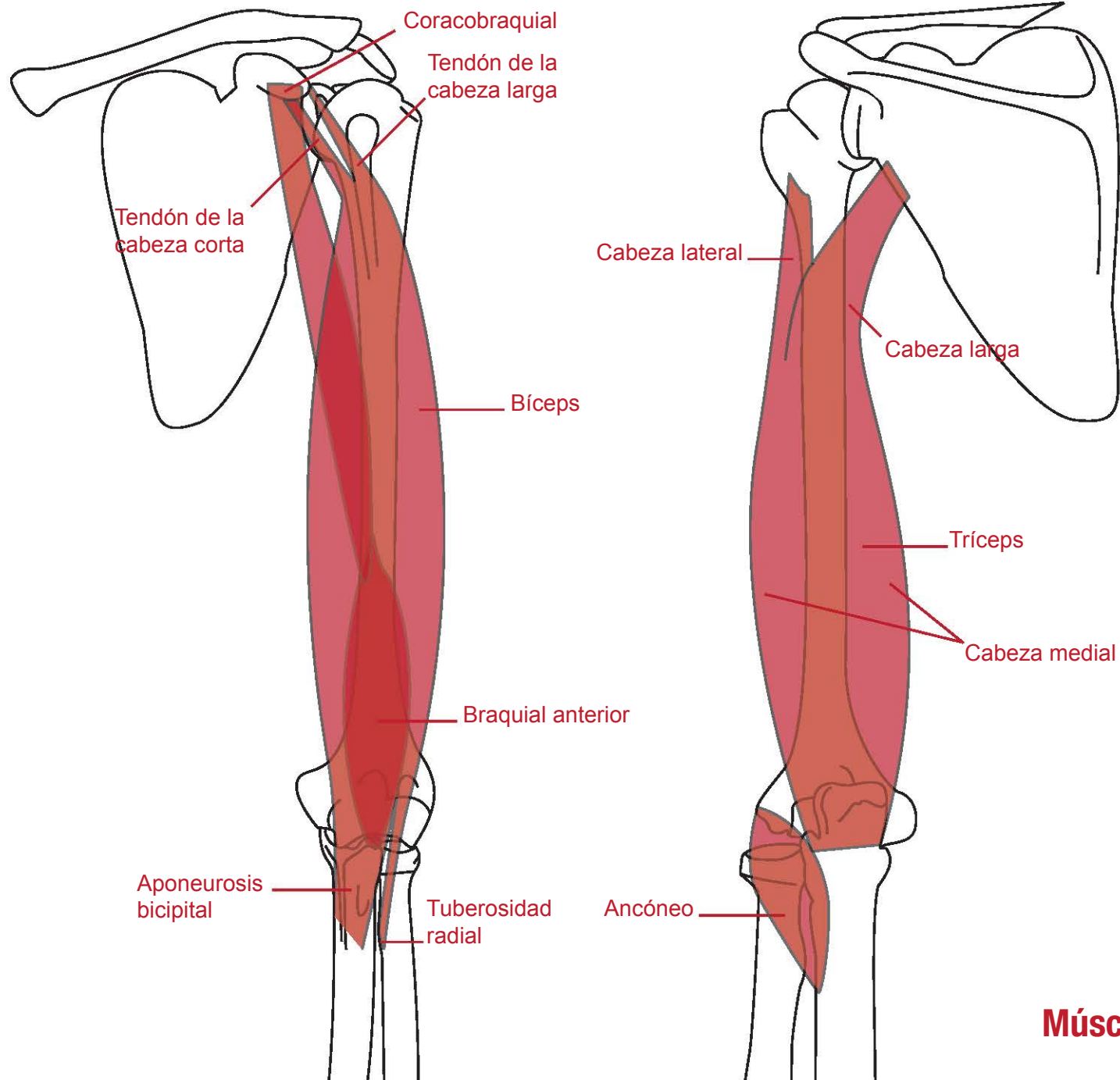
La **articulación humerocubital** está fundamentalmente dispuesta para los movimientos del antebrazo sobre el brazo y accesoriamente para los movimientos propios del antebrazo.

La **articulación humeroradial** está estructurada para los movimientos propios del antebrazo y accesoriamente para los del antebrazo sobre el brazo.

La **articulación radiocubital superior e inferior** funcionan para la movilidad propia del antebrazo.

El **ligamento lateral** interno se extiende desde la epitroclea hasta el borde interno de la cavidad sigmoidea mayor y sobre el borde correspondiente de la apófisis coronoides.

El **ligamento lateral** externo comienza en el epicóndilo y se dirige hacia abajo dividiéndose en dos fascículos, cada uno de ellos pasa por delante y por detrás del radio para terminar en los sectores anterior y posterior de la cavidad sigmoidea menor del cúbito.



**Músculos del brazo**

El ligamento anular del radio es un conjunto de fibras transversales, circulares, que se extienden rodeando el radio desde el sector anterior hasta el posterior de la cavidad sigmoidea menor.

No existe ninguna formación ligamentosa que se oponga a la flexión, ya que la posición de extensión del antebrazo sobre el brazo es la normal en el ser humano. El movimiento de flexión se limita mecánicamente por el choque de la apófisis coronoides contra el fondo de la fosa coronoidea del húmero. La extensión del brazo no puede ser mayor por el choque del olecranon contra el fondo de la cavidad olecraneana.

Las articulaciones radiocubitales están dispuestas esencialmente para los movimientos de pronación y supinación, para la flexoextensión del antebrazo sobre el brazo se emplea la articulación humerocubital.

Los movimientos de lateralidad no existen en las articulaciones del codo, para realizarlos intervienen los ligamentos laterales.

La posición normal del antebrazo es la semipronación, pues de esta manera el miembro superior está mejor preparado para sus funciones específicas, la defensa y prehensión. Los movimientos de pronosupinación se realizan sobre un eje que pasa por la cabeza radial superior y por la epífisis cubital inferior. La razón de la dirección de este eje y la posibilidad de que los movimientos de pronosupinación se realicen, están fundamentados en la pronunciada incurvación a concavidad interna que presenta el radio. Para que estos movimientos se realicen es fundamental la existencia del espacio interóseo radiocubital.

El movimiento de supinación está limitado por distensión del ligamento de Weitbrecht.

La pronosupinación, o rotación proyectada a todo el miembro, se realiza en la articulación escapohumeral. Ella alcanza los 360° de los cuales 180° se realiza en la articulación radiocubital superior y los otros 180° en la escapohumeral, en esta articulación el mayor movimiento es el pronación. De los 180° que alcanza la articulación escapohumeral, 150° están destinados para la pronación y 30° para la supinación. La pronación es el movimiento más apto para la función del miembro superior, por ello es que su

amplitud es tan exagerada en relación a la de supinación.

El cubito realiza movimientos sincrónicos con el radio. El radio efectúa sobre el cúbito fijo una rotación de 135° pudiendo alcanzar los 180° por movimientos anteriores/posteriores cubitales y rotatorios de este hueso sobre el húmero.

### **Estructuras osteoarticulares de la mano:**

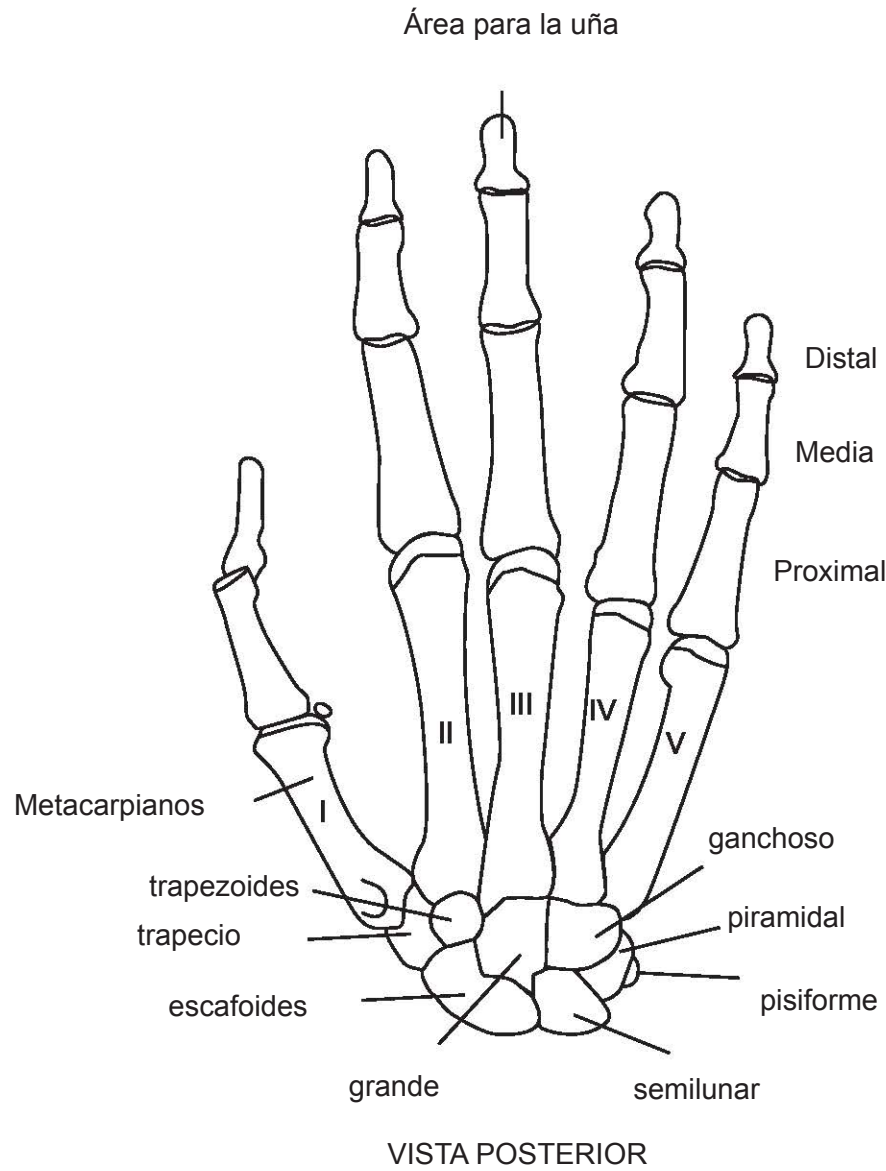
El sector carpiano o muñeca está constituido por una serie de pequeños huesos cortos que se disponen en dos filas. En la primera se encuentran el escafoide, el semilunar, el piramidal y el pisiforme (sus caras sirven para la conexión con el músculo cubital anterior y ligamentos). La segunda fila está compuesta por el trapecio, trapezoides, hueso grande y hueso ganchoso.

La mano está formada por huesos largos: 5 metacarpianos que se articulan con los huesos de la segunda fila del carpo y los 5 dedos articulados con cada uno de los metacarpianos. Cada dedo consta de 3 falanges llamadas falange, falangina y falangeta. La falange se articula con el metacarpiano correspondiente. De la falangeta surge la uña. El pulgar solo tiene dos falanges.

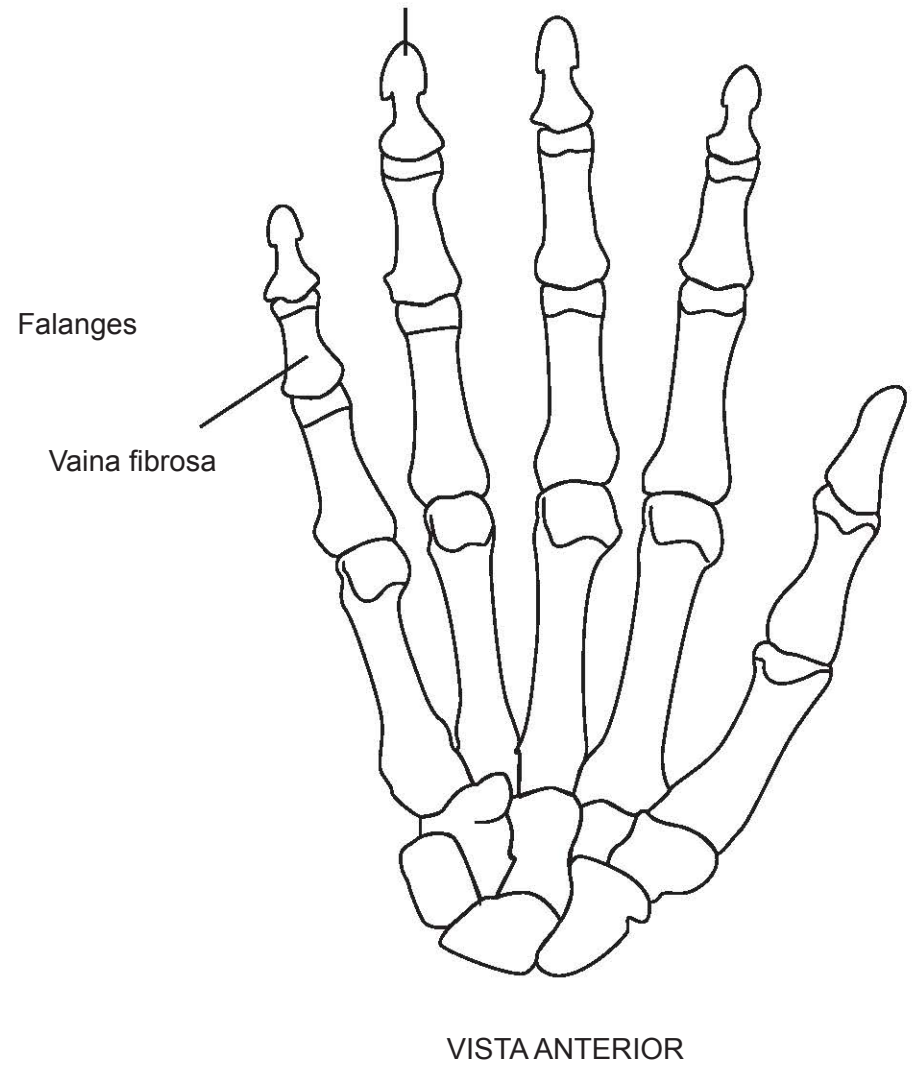
### **Músculos que mueven la mano y/o los dedos.**

Los tendones de estos músculos atraviesan la porción distal del antebrazo y llegan hasta la mano. Estos músculos pueden dividirse en dos grupos: flexor-pronador y extensor-supinador. El grupo flexor-pronador se origina en un tendón común de los flexores en el epicóndilo medial del húmero. El grupo extensor-supinador se origina a partir de un tendón común de los extensores en el epicóndilo lateral. Todos los tendones de los músculos flexores se encuentran en la cara anterior de la muñeca y la mayoría de ellos son sujetados por el retináculo flexor. Los ocho músculos de la cara anterior de antebrazo son músculos flexores-pronadores y se pueden clasificar en tres grupos funcionales:

- 1.- Los músculos que rotan el radio sobre el cubito (pronador redondo y pronador cuadrado).
- 2.- Los músculos que flexionan la mano (flexor radial del carpo, flexor cubital del carpo y palmar largo).



Área rugosa para la yema de los dedos



3.- Los músculos que flexionan los dedos (flexor superficial de los dedos, flexor profundo de los dedos y flexor largo del pulgar).

Estos músculos están divididos en tres capas musculares:

- Superficial: pronador redondo, flexor radial del carpo, palmar largo y flexor cubital del carpo.
- Intermedia: flexor superficial de los dedos
- Profunda: flexor profundo de los dedos, flexor largo del pulgar y pronador cuadrado.

## Cara anterior del antebrazo.

### Músculos superficiales e intermedios:

Pronador redondo: prona el antebrazo y flexiona el codo, se hace prominente al flexionar y pronar con fuerza el antebrazo. Se inserta en el epicóndilo medial del húmero y apófisis coronoides del cúbito, su inserción distal se encuentra en la mitad de la cara lateral del radio.

Flexor radial del carpo: se sitúa medial al músculo pronador redondo, su acción es flexionar y separar (abducción) la mano, su inserción proximal está en el epicóndilo medial del húmero y la distal en la base del segundo hueso metacarpiano.

Palmar largo: se inserta en el epicóndilo medial del húmero y en la mitad distal del retináculo flexor y aponeurosis palmar. Tiene como función flexionar la mano y enderezar la aponeurosis palmar.

Flexor cubital del carpo: posee dos cabezas de inserción proximal, una se inserta en el epicóndilo medial del húmero y la otra en el olecranon y borde posterior del cúbito, la inserción distal se hace en el hueso pisiforme, gancho del hueso ganchoso y el quinto hueso metacarpiano. Su función es la flexión y aproximación (aducción) de la mano, también fija el hueso pisiforme cuando se contraen los músculos de la eminencia hipotenar.

Flexor superficial de los dedos: es el músculo superficial más voluminoso y posee dos cabezas, una se inserta en el epicóndilo medial del húmero, ligamento colateral del cúbito y en la apófisis coronoides del cúbito, la otra se inserta en la mitad superior del borde anterior del radio. Forma una capa

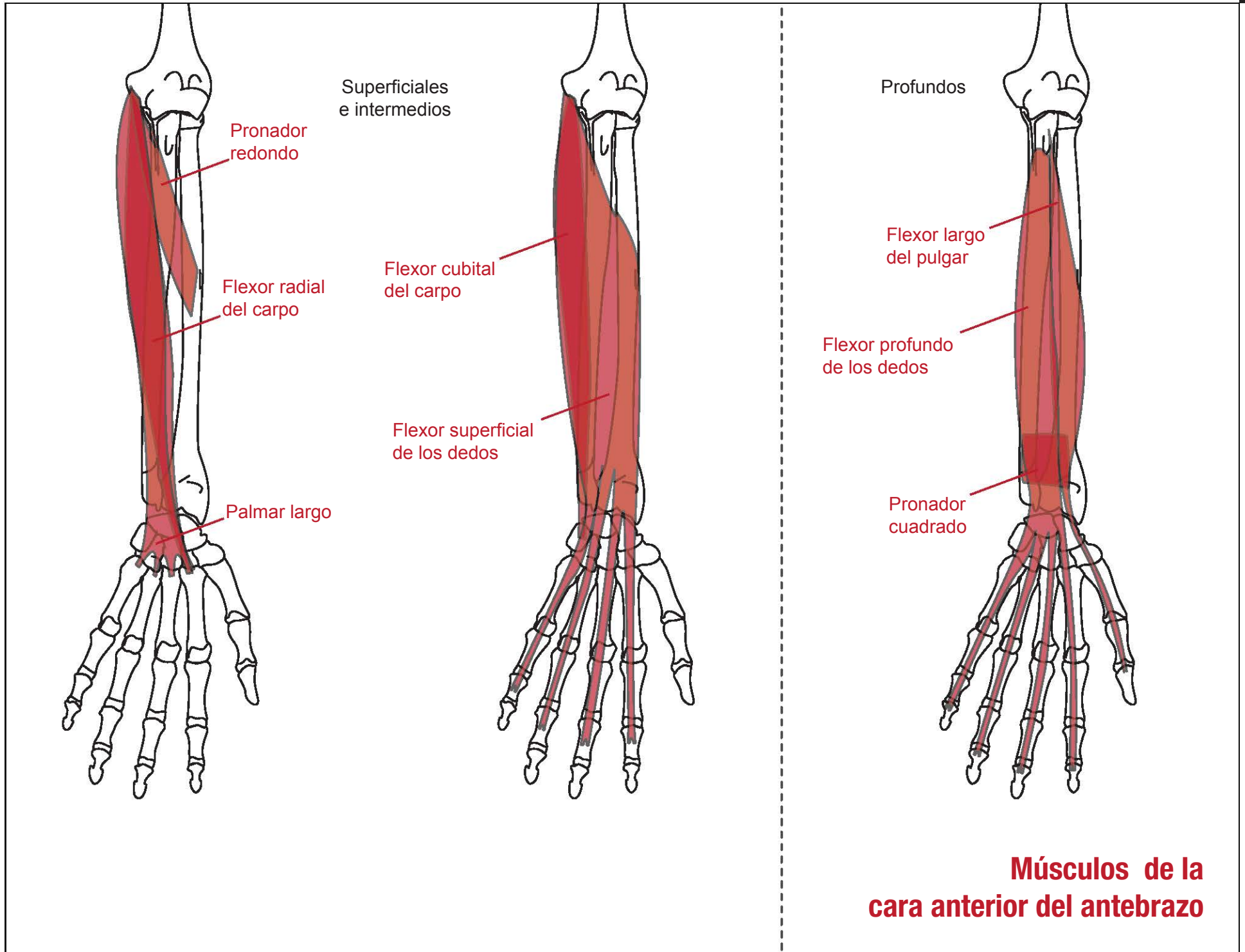
intermedia entre los grupos superficial y profundo. Emite cuatro tendones en la proximidad de la muñeca que pasan en la profundidad del retináculo flexor. Su inserción distal se encuentra en los cuerpos de las falanges medias de los cuatro dedos mediales. Sus funciones son la flexión de las falanges medias de los cuatro dedos mediales y al contraerse intensamente produce una flexión en las falanges proximales y de la mano.

### Músculos profundos:

Flexor profundo de los dedos: es el único que flexiona las articulaciones interfalángicas distales de los dedos. Posee una inserción proximal amplia en el cúbito y en la membrana interósea. Flexiona las falanges distales de los dedos del II al V dedo una vez que el flexor superficial de los dedos ha flexionado las falanges medias. Cada tendón flexiona dos articulaciones interfalángicas, una articulación metacarpofalángica y la muñeca. Se divide en cuatro porciones que acaban a su vez en cuatro tendones, cada una de ellas pasa posterior a los tendones del flexor superficial de los dedos y al retináculo flexor. Cada tendón penetra en la vaina fibrosa del dedo correspondiente, posterior al tendón del músculo superficial de los dedos.

Flexor largo del pulgar: se posiciona lateralmente al músculo flexor profundo de los dedos, su tendón pasa en la profundidad del retináculo flexor, envuelto en su propia vaina sinovial, en la cara lateral de vaina sinovial común de los flexores. Se inserta en la cara anterior del radio y la membrana interósea, su inserción distal está en la base de la falange distal del pulgar. Su función es flexionar la falange distal del pulgar y de manera secundaria la falange proximal y el primer metacarpiano. Es el único músculo que flexiona la falange de la articulación interfalángica del pulgar. También flexiona las articulaciones metacarpofalángica y carpometacarpiana del pulgar y contribuye a la flexión de la muñeca.

Pronador cuadrado: Es el músculo más profundo de la cara anterior del brazo. Se inserta en la cuarta parte distal de la



cara anterior del cúbito y en la cuarta parte distal de la cara anterior del radio. Inicia la pronación y es ayudado por el músculo pronador redondo cuando se requiere mayor potencia y velocidad.

## **Cara posterior del antebrazo.**

### **Músculos extensores del antebrazo.**

Los once músculos de la cara posterior del antebrazo son extensores. Se pueden clasificar en tres grupos funcionales:

1. Los músculos que extienden la mano sobre la muñeca (extensor radial largo del carpo, extensor radial corto del carpo y extensor cubital del carpo ó cubital posterior).
2. Los músculos que extienden los 4 últimos dedos (extensor de los dedos, extensor del índice y extensor del meñique).
3. Los músculos que extienden el primer dedo o pulgar (separador o abductor largo del pulgar, extensor corto del pulgar y extensor largo del pulgar).

Para efectos descriptivos los músculos del antebrazo suelen dividirse en superficiales y profundos. Cuatro de los músculos superficiales (extensor radial corto del carpo, extensor de los dedos, extensor del meñique y extensor cubital del carpo) se insertan a través de un tendón común y aplanado de los músculos extensores, este tendón se inserta en el epicóndilo lateral del húmero.

El músculo braquiorradial (supinador largo), flexor del antebrazo sobre el codo, está incluido en los músculos extensores porque es inervado por el nervio radial.

### **Músculos superficiales:**

**Braquiorradial (supinador largo):** se sitúa superficialmente en la cara anterolateral del antebrazo. Su inserción proximal está en los dos tercios proximales de la cresta supraepicondilar del húmero, la inserción distal se encuentra en el borde lateral de la extremidad distal del radio. Su función es flexionar el antebrazo.

**Extensor de los dedos:** es el principal extensor de los cuatro últimos dedos, ocupa gran parte de la cara posterior del antebrazo y se divide en cuatro tendones antes de alcanzar la

muñeca; estos tendones pasan a través de una vaina sinovial común, en la profundidad del retináculo extensor, junto con el tendón del músculo extensor del índice, su inserción proximal está en el epicóndilo lateral del húmero. Las inserciones distales se encuentran en las extensiones expansoras de los cuatro dedos mediales.

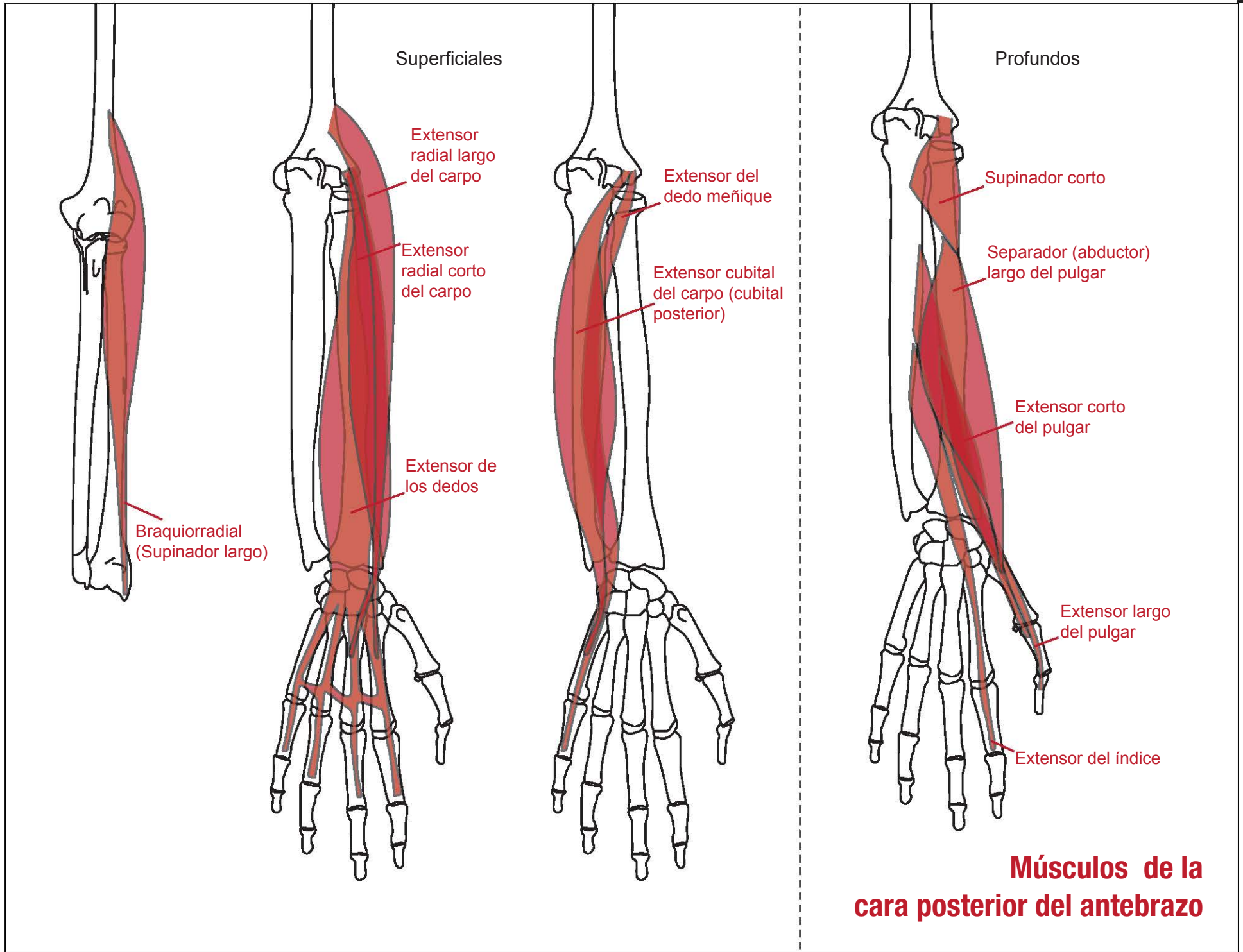
**Extensor cubital del carpo (cubital posterior):** Esta situado en el borde medial del antebrazo y posee dos cabezas. Su tendón discurre por un surco entre la cabeza y la apófisis estiloides del cúbito, dentro de un compartimiento especial del retináculo extensor. Se inserta en el epicóndilo lateral del húmero y borde posterior del cubito, desde ahí alcanza la base del V metacarpiano. Tienen la función de extender y aproximar la mano por la muñeca. Junto con el músculo extensor radial del carpo contribuye a la extensión de la mano, en colaboración con el músculo flexor cubital del carpo aproxima la mano.

**Músculo extensor del meñique:** es una tira muscular fusiforme parcialmente desprendida del músculo extensor de los dedos. El tendón atraviesa un compartimiento diferente del retináculo extensor y luego se divide en dos prolongaciones; la banda lateral se une al tendón del músculo extensor de los dedos. Su inserción proximal tiene origen en el epicóndilo lateral del húmero y la inserción distal se encuentra en la expansión extensor del quinto dedo. Este músculo extiende la falange proximal del quinto dedo por la articulación metacarpofalángica y contribuye a la extensión de las articulaciones interfalángicas. Interviene también en la extensión de la mano, después de efectuar una tracción, fundamentalmente sobre el quinto dedo.

**Extensor radial largo del carpo:** se haya parcialmente cubierto por el músculo braquiorradial con el que suele entremezclarse. Se inserta en la cresta supraepicondilar lateral del húmero y en la base del II metacarpiano.

**Extensor radial corto del carpo:** este músculo está cubierto por el extensor radial largo del carpo. Su inserción distal se encuentra en el epicóndilo lateral del húmero, la inserción proximal es en la base del III metacarpiano. Tanto el extensor radial largo del carpo como el corto tienen la función de extender y separar la mano por la muñeca, enderezan la muñeca durante la flexión de los cuatro





últimos dedos.

### **Músculos profundos:**

Este grupo está formado por los tres músculos que mueven el pulgar: separador o abductor largo del pulgar, extensor corto del pulgar, extensor largo del pulgar y el extensor del índice.

Los tendones de los músculos separador (abductor) largo del pulgar y extensor corto del pulgar limitan la tabaquera anatómica (fig. 2.2) en la cara anterior y el tendón del músculo extensor largo del pulgar, en la cara posterior.

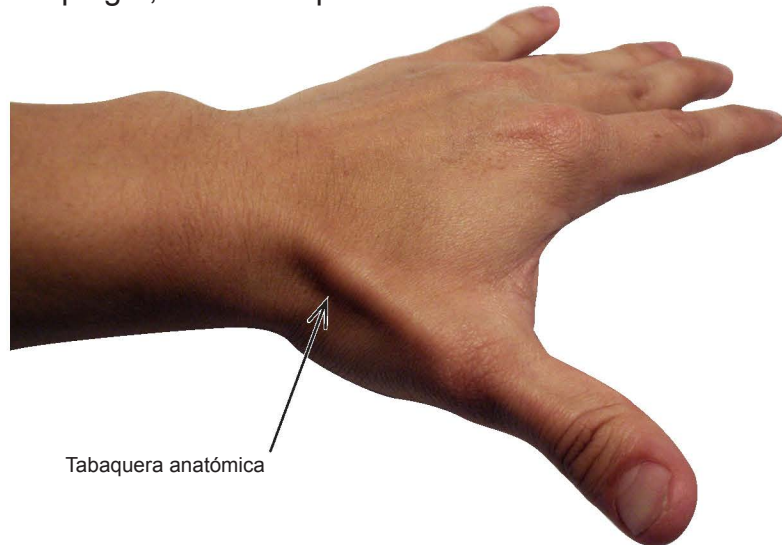


Fig. 2.2 Tabaquera anatómica.

Separador o abductor largo del pulgar: está situado inmediatamente distal al músculo supinador y se relaciona con el músculo extensor corto del pulgar. Se inserta en la cara posterior del cúbito y del radio y en la membrana interósea, su inserción distal se encuentra en la base del primer metacarpiano. Se encarga de separar y extender el pulgar por la articulación carpometacarpiana. Colabora con el separador (abductor) corto del pulgar en la separación del pulgar y con el extensor del pulgar en su extensión.

Extensor corto del pulgar: está situado distalmente al músculo separador (abductor) largo del pulgar y se encuentra parcialmente cubierto por él. Se inserta en la cara posterior del radio y de

la membrana interósea, su inserción distal se encuentra en la base de la falange proximal del pulgar. Su función es extender la falange proximal del pulgar por la articulación carpometacarpiana y contribuye a extender la falange distal. Cuando se contrae de manera continua, ayuda a la extensión del I metacarpiano y también extiende y separa la mano.

Extensor largo del pulgar: su tendón es más largo que el del extensor corto del pulgar, su inserción proximal se realiza en la cara posterior del tercio medio del cúbito y membrana interósea, su inserción distal está en la base de la falange distal del pulgar. Tiene la función de extender la falange distal del pulgar por las articulaciones metacarpofalángica e interfalángica. Cuando se contrae de manera continua, extiende las articulaciones metacarpofalángica e interfalángicas del pulgar, aproxima el pulgar extendido y lo rota lateralmente. También, separa la mano.

Extensor del índice: se sitúa medial y a lo largo del músculo extensor largo del pulgar. Su inserción proximal se realiza en la cara posterior del cúbito y en la membrana interósea, su inserción distal está en la expansión extensora del índice. Cuando actúa junto con el músculo extensor de los dedos, extiende al dedo índice por la articulación interfalángica proximal (como sucede al apuntar con el dedo índice). Ayuda a extender la mano.

### **Articulaciones de la muñeca y mano.**

Articulaciones carpometacarpianas: la primera o trapeziometacarpiana es importante porque le corresponde al pulgar, puede realizar los movimientos de flexión, extensión, abducción, aducción y circunducción. Las restantes articulaciones presentan escasa movilidad.

Articulaciones metacarpofalángicas: su retención está determinada por la existencia de dos ligamentos laterales y uno transversal. Presentan movimientos de flexión, extensión, aducción y circunducción, siendo poco apreciable el de rotación.

Articulaciones interfalángicas: tienen dos ligamentos laterales y presentan movimientos de flexoextensión. El pulgar es capaz de efectuar un movimiento que es fundamental en la mecánica funcional de la mano, su movimiento de oposición,

también llamado de pinza, es imprescindible para la prehensión y aún más en los movimientos especializados. Para poder realizar este movimiento la mano se divide en dos partes: un sector laterorradial, que da movilidad al pulgar y un sector laterocubital, que corresponde a los dedos restantes.

Para el movimiento de flexoextensión se emplea una articulación condílea, que se estructura en las superficies radiocubitales inferiores, unidas por el ligamento triangular, que actuará como cavidad glenoidea, y los huesos de la primera fila del carpo, que actuarán como elemento condíleo.

Debido a que los movimientos de la articulación condílea son fundamentalmente de flexión y extensión, los ligamentos más fuertes son laterales (radio escafoideos y cubito/piramidal).

La mayor parte del movimiento se realiza sobre la superficie articular del radio, es por eso que saldrán de éste los ligamentos dorsales y palmares destinados a los huesos de la primera fila del carpo. La función de estos ligamentos es la de mantener ajustado el cóndilo carpiano contra el radio.

La primera fila del carpo, actuando sinérgicamente como cóndilo, es la encargada de la movilidad general de la mano, pero de forma pasiva puesto que los tres huesos que forman el cóndilo no reciben inserciones musculares. Solo en forma indirecta y por medio del pisiforme es que el cóndilo carpiano adquiere movilidad propia.

Los movimientos del cóndilo carpiano sobre la superficie radio/cubital son los de flexión, extensión, abducción, aducción y circunducción. El movimiento de flexión ventral se acompaña generalmente de algo de pronación. Este movimiento de flexión está limitado por la distensión de los ligamentos radio/carpianos dorsales y por el choque del pisiforme y del escafoides contra el plano radio/cubital. El movimiento de flexión dorsal o extensión está limitado por la distensión de los ligamentos ventrales radio/carpianos. El movimiento de flexión lateral radial está limitado por el ligamento lateral interno cúbito/piramidal y por el apoyo del sector no articular del trapecio contra la apófisis estiloides radial. La flexión lateral cubital está limitada por la distensión del

ligamento radio/escafoideo.

### **Articulación intercarpiana:**

Los ligamentos dorsales, ventrales e interóseos tienen la función de unir firmemente la segunda fila de huesos del carpo. El eje de la movilidad del cóndilo de la segunda fila pasa por la cabeza del hueso grande. Para que la segunda fila intervenga en el movimiento de pinza, presupone necesariamente un movimiento óseo que se produzca de la periferia al centro, sobre un elemento óseo que actúe como eje. Este movimiento es factible con base en tres hechos anatómicos:

- 1.- La disposición de hueso grande con sus superficies articulares laterales.
- 2.- La disposición de los ligamentos interóseos de la segunda fila que le da mayor sinergia funcional en la flexoextensión y le permiten el movimiento de rotación sobre el hueso grande.
- 3.- La anteposición del trapezoide.

Debido a que la segunda fila del carpo facilita el movimiento fundamental de oposición del pulgar, no puede actuar como una fila estática y es por ello que sobre sus componentes actúan músculos.

### **Músculos de la mano.**

Los movimientos que pueden realizar los dedos índice, medio, anular y meñique son la abducción, aducción, flexión y extensión. La flexión puede hacerse al nivel de las falanges o moviendo un dedo únicamente sobre la articulación metacarpofalángica o realizar varios movimientos simultáneamente.

Los movimientos de aducción y abducción de los dedos se realizan principalmente por los músculos interóseos situados entre los metacarpianos y por debajo de la aponeurosis palmar profunda. Se dividen en 4 palmares y 3 dorsales. Se insertan sobre el metacarpiano correspondiente al dedo que sobre el que actúan.

Los interóseos dorsales, de mayor volumen que los palmares, se insertan por medio de dos cabezas en los

metacarpianos adyacentes.

Los músculos intrínsecos de la mano se encuentran en la cara palmar. Están divididos en tres grupos:

- 1.- Músculos del pulgar o de la eminencia tenar.
- 2.- Músculos del dedo meñique o de la eminencia hipotenar.
- 3.- Músculos lumbricales del compartimiento central y los músculos interóseos entre los huesos metacarpianos.

Los tres músculos cortos de la eminencia tenar son los principales responsables del movimiento conocido como oposición del pulgar.

Separador o abductor corto del pulgar: da la forma a la cara anterolateral de la eminencia tenar. Se inserta en el retináculo flexor y tubérculos de los huesos escafoides y trapecio y desde ahí alcanza la cara lateral de la base de la falange proximal del pulgar. Su función consiste en separar el pulgar y contribuye a su oposición.

Flexor corto del pulgar: se sitúa junto al músculo separador corto del pulgar. Su inserción proximal se encuentra en el retináculo flexor y tubérculo del hueso trapecio, la inserción distal se realiza también en la cara lateral de la base de la falange proximal del pulgar. Tiene la función de flexionar el pulgar, ayuda a la oposición del pulgar.

Oponente del pulgar: es un músculo cuadrangular situado en la profundidad del músculo separador corto del pulgar y es lateral al flexor corto del pulgar. Se inserta en el retináculo flexor y tubérculo del hueso trapecio, su inserción distal está en la cara lateral del primer metacarpiano. Tiene la función de oponer al pulgar hacia el centro de la palma y lo rota medialmente. La oposición es el movimiento más importante del pulgar.

Aproximador o aductor del pulgar: tiene forma de abanico y está situado en el compartimiento aproximador (aductor) de la mano. Posee dos cabezas separadas por una hendidura. Su cabeza oblicua se inserta en las bases del II y III hueso metacarpiano, en el hueso grande y en los huesos adyacentes del carpo, la cabeza transversa se inserta en la cara anterior del cuerpo del III metacarpiano, su inserción distal está en la cara medial de la

base de la falange proximal del pulgar. Se encarga de aproximar el pulgar hacia el dedo medio, refuerza la maniobra de prensión.

Los tres músculos cortos de la eminencia hipotenar:

Se ocupan de mover el quinto dedo y están situados en el compartimiento hipotocar de la palma del V metacarpiano.

Separador o abductor del meñique: tiene un tamaño variable. Su inserción proximal está en el hueso pisiforme, la inserción distal se realiza en la cara medial de la base de la falange proximal del V dedo. Se encarga de separar el quinto dedo y ayuda a flexionar la falange proximal.

Flexor corto del meñique: se inserta proximalmente en el gancho del hueso ganchoso y retináculo flexor, la inserción distal está en la cara medial de la base de la falange proximal del quinto dedo. Se encarga de flexionar la falange proximal del quinto dedo.

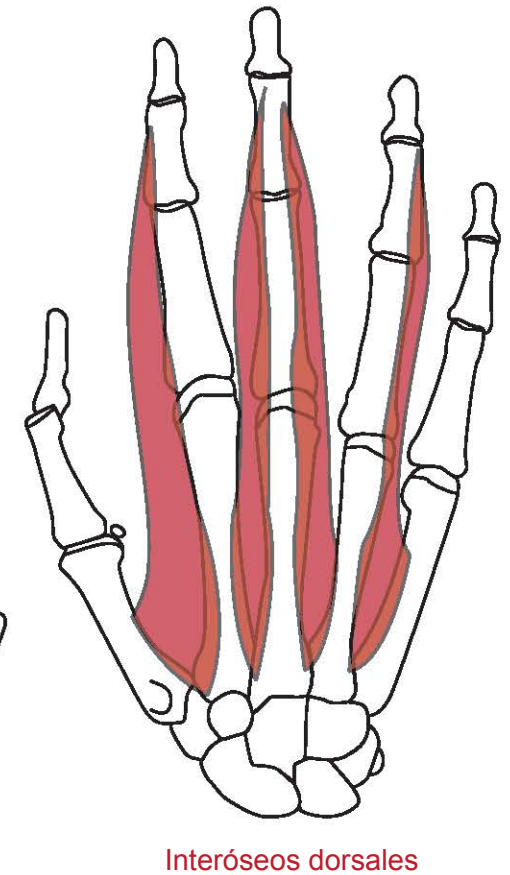
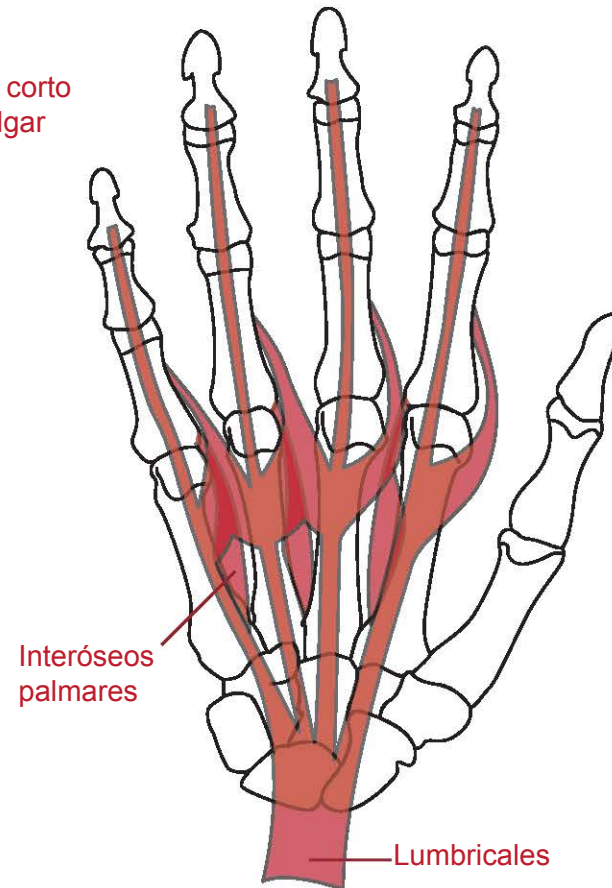
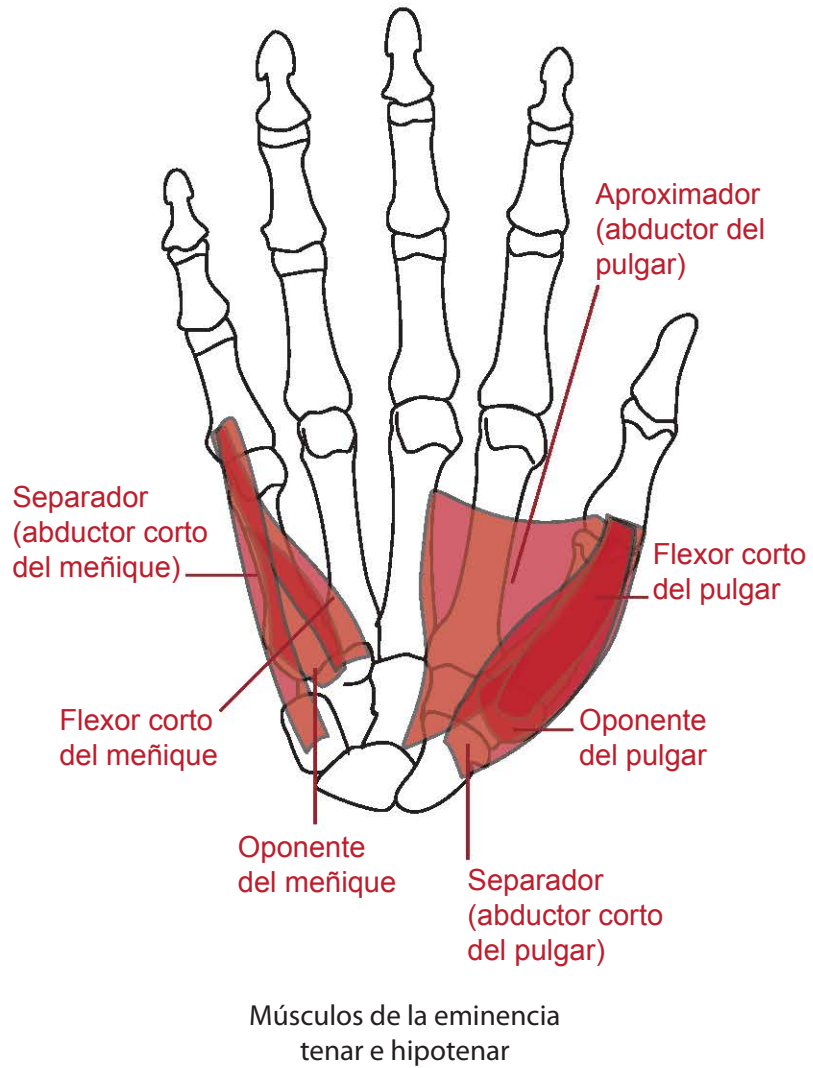
Oponente del meñique: su inserción proximal se encuentra en el gancho del hueso ganchoso y retináculo flexor, su inserción distal esta en el borde medial del V metacarpiano. Tiene la función de traccionar hacia delante el V metacarpiano y lo rota lateralmente oponiendo el quinto dedo al pulgar y aumentando la concavidad de la mano.

La mano contiene 12 músculos cortos (4 lumbricales y 8 interóseos). Los músculos lumbricales solo actúan sobre los cuatro dedos mediales, mientras que los interóseos actúan sobre todos los dedos.

Músculos lumbricales: son músculos finos que reciben ese nombre debido a su forma enlongada. Se encargan de flexionar los dedos por las articulaciones metacarpofalángicas y extienden las articulaciones interfalángicas.

Músculos interóseos: están situados entre los huesos metacarpianos y se disponen en dos capas: cuatro músculos palmares y cuatro músculos dorsales. Los músculos dorsales se encargan de separar los dedos, los palmares los aproximan.

Pliegues de flexión digitales: cada uno de los cuatro dedos mediales suele mostrar tres pliegues de flexión transversos.



## Músculos de la mano

El pliegue de flexión proximal está situado en la raíz del dedo. Existen dos pliegues de flexión medios: el proximal se sitúa sobre la articulación interfalángica proximal y el distal sobre la articulación interfalángica distal. El pulgar, que posee dos falanges, solo muestra dos pliegues de flexión. El pliegue de flexión proximal cruza oblicuamente el pulgar, cerca de la articulación metacarpofalángica. El pliegue de flexión distal del pulgar se ubica cerca de la articulación interfalángica (fig. 2.3).

proximal se inicia en el borde lateral de la palma, junto con el pliegue longitudinal radial, y es superficial a la cabeza del segundo metacarpiano, se extiende medialmente y algo proximalmente a través de la palma, en la superficie de los cuerpos del III a IV metacarpiano. El pliegue palmar transversal distal se inicia en o cerca de la hendidura entre el dedo índice y medio, cruza la palma con una ligera convexidad, en la superficie de las cabezas del II al IV metacarpiano.



Fig. 2.3 Pliegues de flexión digitales.

La piel de la palma de la mano, muestra varios pliegues de flexión longitudinal y transversal, en los que la piel se une a la fascia profunda (fig 2.4). Los cuatro pliegues palmares generalmente forman una M. El pliegue transversal indica el lugar donde se pliega la piel al flexionar la mano. Los pliegues longitudinales se deprimen al oponer el pulgar, los transversales lo hacen al flexionar las articulaciones metacarpofalángicas. El pliegue longitudinal radial rodea, en parte, la eminencia tenar formada por los músculos cortos del primer dedo. El pliegue palmar medio indica la eminencia hipotenar formada por los músculos cortos del quinto dedo. El pliegue palmar transversal

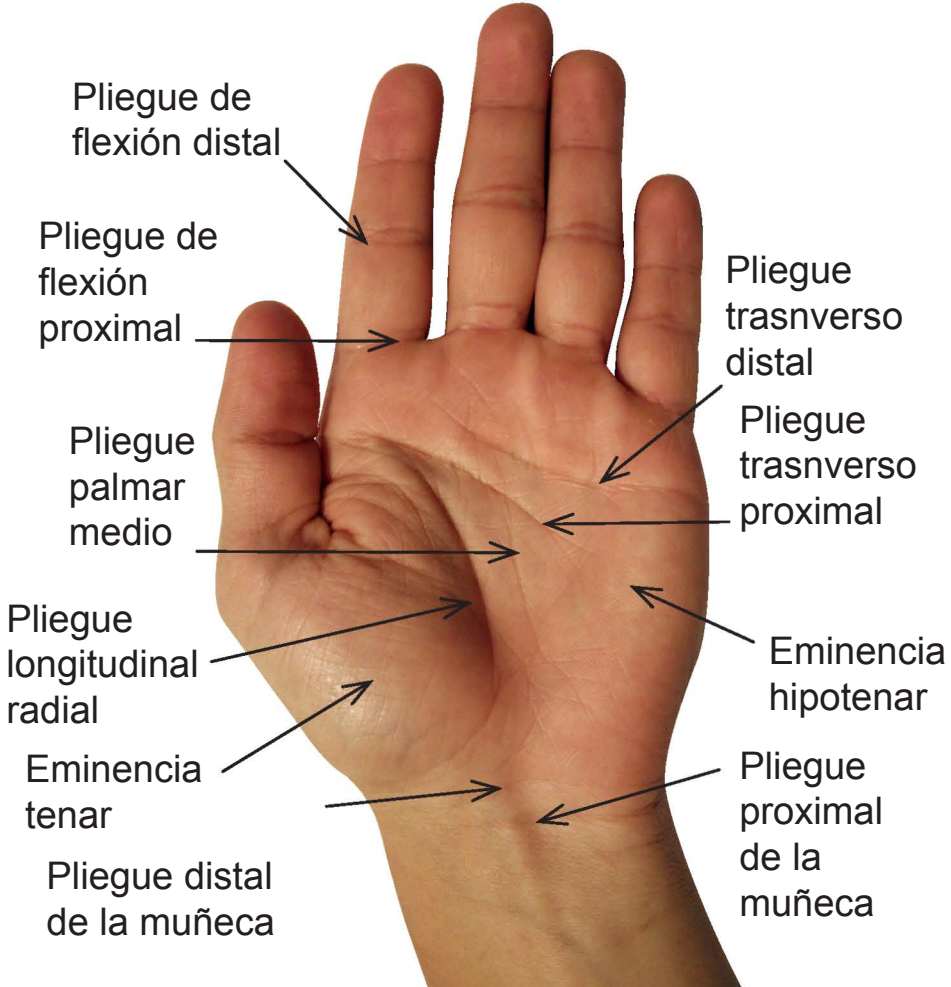


Fig. 2.4 Pliegues de flexión longitudinal y transversal.

## 2.4 Cabeza.

Cráneo: es la estructura ósea más compleja del organismo ya que envuelve al encéfalo, el cual tiene una forma irregular, alberga los órganos sensoriales de la visión, audición, sabor y olfato y rodea los orificios de los tractos digestivos y respiratorios.

- Cara anterior: las características más sobresalientes son la frente (formada por el hueso frontal), las órbitas, las prominencias de las mejillas (formadas por los huesos cigomáticos), las aperturas nasales anteriores, los dos maxilares superiores y la mandíbula (maxilar inferior). Esta cara se divide en 5 regiones: frontal, orbitaria, maxilar, nasal y mandibular.

- Cara posterior: tiene forma redonda u ovalada, está formada fundamentalmente por los dos huesos parietales y el hueso occipital. Esta cara se reúne a los lados con la porción mastoidea de los huesos temporales.

- Cara superior: tiene también contorno redondo u ovalado, se ensancha posteriormente a través de las eminencias parietales.

- Cara inferior: es irregular en su porción central debido a la presencia de numerosos orificios, apófisis y articulaciones. El orificio magno limita en la cara anterolateral con los cóndilos occipitales, que se articulan con el atlas.

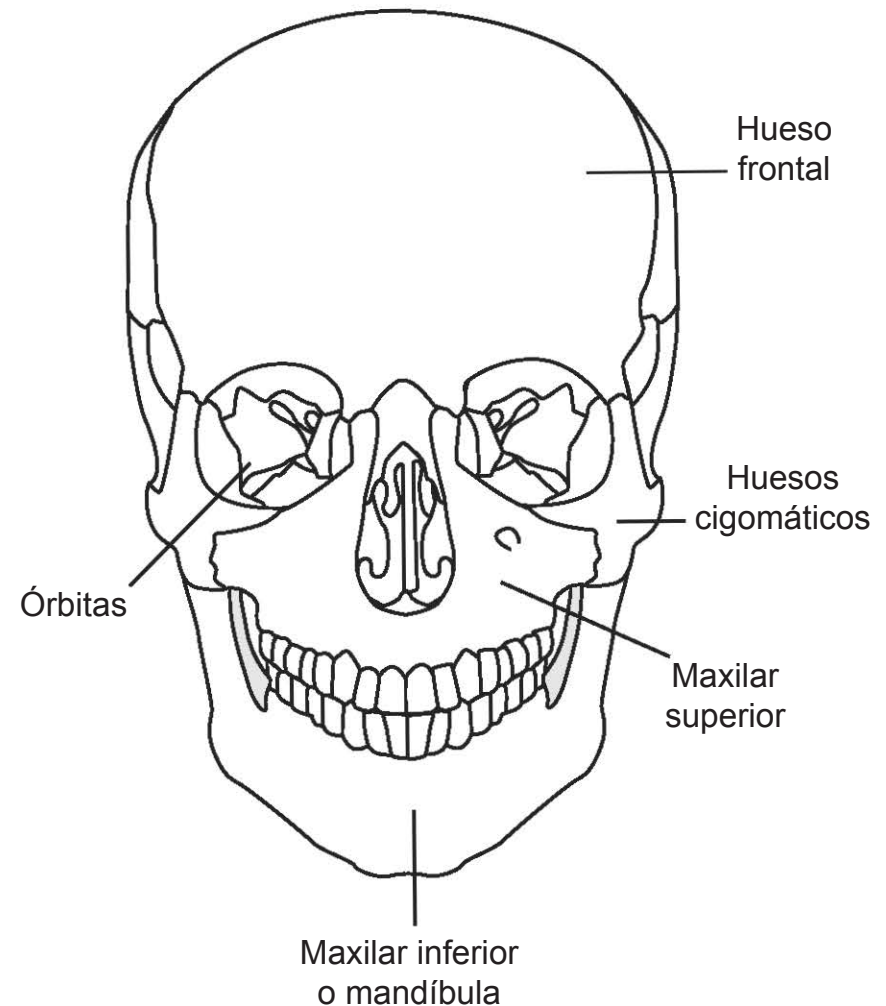
- Cara lateral: comprende los huesos parietales, frontal y porciones de los temporales y esfenoides, el conducto auditivo externo, el hueso cigomático, el arco cigomático, la apófisis mastoides y la mandíbula.

Cara: es la porción de la cabeza que se observa en una visión frontal o anterior, son todas las estructuras situadas por delante del oído externo y entre la línea de inserción del cabello y la punta de la barbilla.

### Sistema de la mímica.

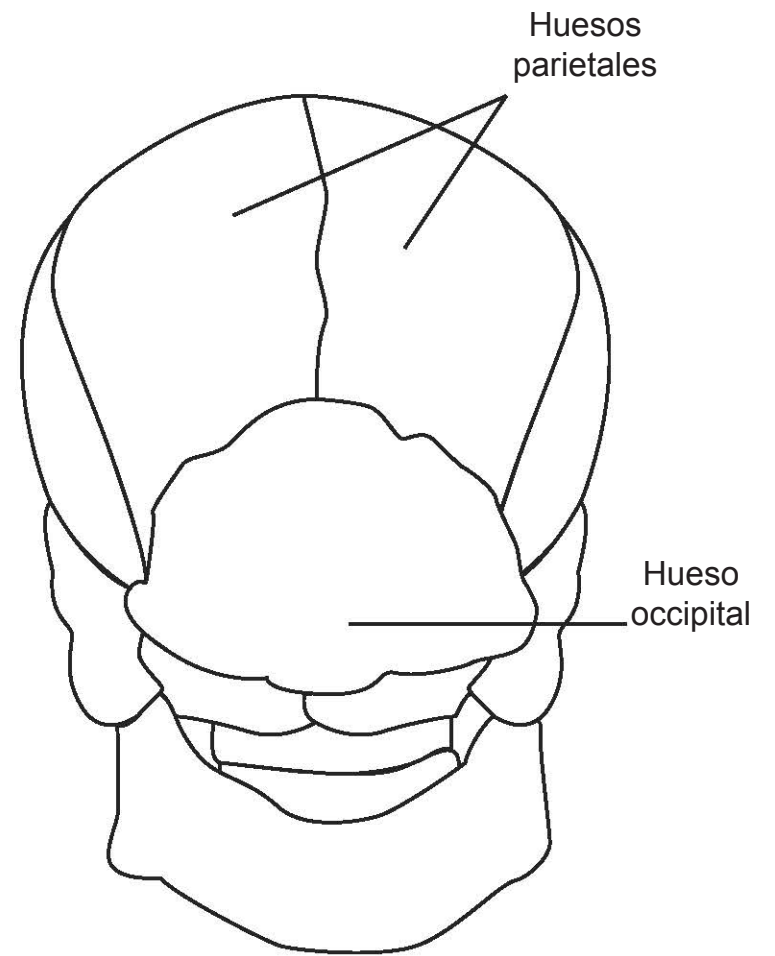
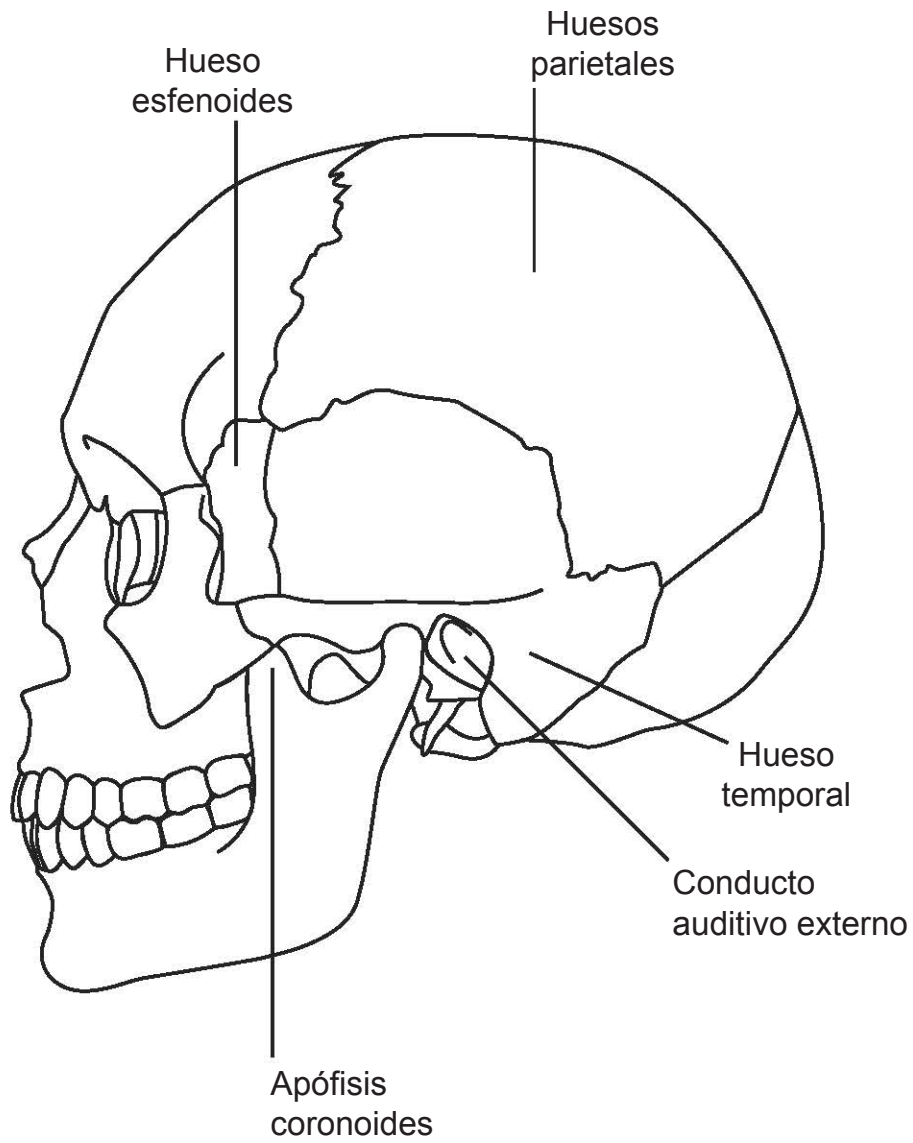
Está constituido por una agrupación muscular que tiene su origen embrionario en el 2 arco braquial. En el lactante, estos músculos constituyen el sistema de la succión, en el adulto se transforma principalmente en el sistema de la mímica. Los músculos de la

### CARA ANTERIOR



CARA LATERAL

CARA POSTERIOR





expresión facial están situados en el tejido subcutáneo y se insertan en la piel de la cara. La funcionalidad de estos músculos es variable en cada persona, la acción continua de ciertos músculos mímicos o de un grupo de ellos (dependiendo de la personalidad del sujeto), marca en la cara una fisonomía particular, señalando o remarcando surcos o pliegues.

### **Músculos de la frente:**

Frontal: forma parte del músculo del cuero cabelludo denominado occipitofrontal y se dirige hacia el tejido celular y piel de las cejas y el entrecejo. Favorecido en su acción por la contracción del occipital, produce el ascenso de las cejas y piel de la frente, dando lugar a la formación de pliegues ondulados y horizontales al fruncir el ceño. Es el músculo cuya acción denota atención.

Superciliar. Se inserta en la parte interna del arco superciliar del hueso frontal y en el agujero supraorbitario. Tiene la función de atraer hacia adentro la piel de las cejas formando pliegues verticales en el entrecejo.

### **Músculos peribucales:**

Existen varios músculos que alteran la morfología de la boca y de los labios. El esfínter de la boca (que se utiliza para silbar) es el músculo orbicular de la boca. Los músculos dilatadores se irradian fuera de los labios como los radios de una rueda.

Elevador del labio superior y del ala de la nariz: se inserta por arriba del maxilar y se divide en dos tiras musculares, que se insertan en el cartílago alar de la nariz y en el labio superior. Elevan el labio y el ala de la nariz dejando la encía al descubierto. Actúan tanto en la risa franca como en el llanto.

Depresor del ángulo de la boca: se origina en la línea oblicua externa de la mandíbula y se inserta por arriba en las comisuras labiales.

Elevador del ángulo de la boca: se inserta por arriba del borde infraorbitario y por abajo en el ángulo de la boca.

Cigomático mayor: se extiende desde el hueso cigomático hasta el ángulo de la boca. Tracciona superolateralmente el

ángulo de la boca durante las expresiones de risa o sonrisa.

Cigomático menor: se dirige oblicuamente desde el hueso cigomático hasta el músculo orbicular de la boca y ayuda a elevar el labio superior, al mostrar contento, o a deprimir el surco nasolabial, al mostrar tristeza.

Mental: es un pequeño músculo que se inserta en la mandíbula y desciende para insertarse en la piel del mentón. Eleva la piel de la barbilla, como sucede cuando se expresa una duda.

Depresor del labio inferior: se sitúa lateral al músculo mental y se inserta debajo de la mandíbula, uniéndose por arriba con el músculo del lado contrario y el músculo orbicular de la boca. Tracciona el labio en sentido inferior y discretamente lateral como ocurre al mostrar impaciencia.

Risorio: es un músculo variable, que se relaciona íntimamente con el platisma. Se inserta en la fascia que cubre la glándula parótida y en el ángulo de la boca y tracciona lateralmente de la comisura labial (como al sonreír). En muchos individuos produce con su contracción una pequeña depresión cutánea, comúnmente llamada hoyuelo.

Orbicular de la boca: rodea la boca y representa el esfínter de la apertura bucal. Sus fibras, situadas en los labios superior e inferior, provienen de los músculos buccinador y de otros músculos faciales. Se reconocen dos porciones, una llamada concéntrica y otra excéntrica. Cada una de ellas se interrumpe a nivel de las comisuras por lo que se le describe un sector superior y otro inferior. La porción excéntrica tiene inserciones en los segmentos óseos vecinos e interrumpe sus fibras en el sector medio, por lo que también se distingue un sector derecho y otro izquierdo. Debido a su tono muscular, mantiene la boca cerrada, si el mismo disminuye el labio inferior colgará por su peso dando así a la cara la expresión de tonto. Cuando se cierra fuertemente sirve para tomar objetos. La contracción de su porción central lleva los labios contra los dientes, la contracción de su porción periférica lleva los labios hacia afuera. Cuando se contrae junto con el buccinador, ayuda a mantener los alimentos entre los dientes durante el acto de la masticación. Interviene de manera decisiva en el lenguaje.

**Buccinador:** Este músculo es importante para la mímica, la masticación y la deglución. Se inserta en lateralmente en la apófisis alveolar del maxilar y de la mandíbula, enfrente de los dientes molares, desde allí se extiende hasta la comisura bucal, haciéndolo por intermedio de una lamina fibrosa que lo separa del orbicular de la boca. Su acción es variable dependiendo si la boca está abierta o cerrada, llena o vacía. Cuando la boca se encuentra cerrada y llena, el buccinador tiende a enviar el contenido hacia la faringe, comprime las mejillas contra los molares. Si la boca está llena de aire, la contracción tiende a expulsarlo de la boca, con mayor o menor presión según la fuerza de la contracción (funciona para el silbido y los instrumentos de viento). Con la boca vacía y el orbicular relajado, llena a las comisuras labiales hacia afuera, colaborando con el cigomático mayor en la expresión de la risa. Interviene también en la exteriorización del llanto. Su función es más evidente en la risa reprimida.

### **Músculos peripalpebrales.**

La función de los párpados consiste en mantener la córnea humedecida y proteger al ojo de las lesiones y el exceso de luz.

**Orbicular del ojo:** es el esfínter ocular. Sus fibras se extienden en círculos concéntricos rodeando el borde de la órbita y los párpados. La contracción de estas fibras reduce la apertura orbitaria y estimula el flujo de las lágrimas. Se compone de tres porciones: una porción orbitaria gruesa que cierra los ojos, protegiéndolos de los deslumbramientos de luz y del polvo ambiental; una porción palpebral fina que cierra discretamente los párpados para evitar la sequedad de la córnea; y una porción lacrimonasal que tracciona de los párpados y de los puntos lacrimales en dirección medial. La porción lacrimonasal contribuye a dispersar la lágrima, al mantener los párpados próximos al globo ocular. Cuando se contraen estas tres porciones, los ojos se ocluyen con firmeza y se arruga la piel adyacente. Estas arrugas también ocurren cuando alguien examina algo con detenimiento.

### **Músculos perinasales.**

**Nasal:** es el principal músculo de la nariz y se compone de una

porción transversa (que comprime el orificio nasal) y otra alar (que lo dilata). El compresor del orificio nasal se origina en la porción superior de la cresta canina del maxilar, por encima de los dientes incisivos y se dirige superomedialmente hasta el dorso de la nariz. Esta porción comprime la apertura nasal anterior (ventana nasal).

**El dilatador del orificio nasal:** se origina en el maxilar, por encima de la porción compresora y se inserta en los cartílagos alares de la nariz. Ensancha la apertura nasal anterior y tracciona el orificio nasal hacia abajo, como ocurre en los estados de temor o angustia.

**Prócer:** es una pequeña tira muscular que se continúa con el músculo occipitofrontal, se dirige desde la frente, pasando por el puente de la nariz, en donde se inserta en la piel situada encima de la glabella. Tracciona hacia abajo la porción inferior de la ceja, causando arrugas transversas sobre el puente de la nariz. Se contrae para fruncir el ceño y reduce el deslumbramiento frente a una luz intensa.

**Depresor del tabique:** se considera como parte de la porción dilatadora del músculo nasal, se origina en el maxilar por encima de los dientes incisivos y se inserta en la porción móvil del tabique nasal. Ayuda a la porción dilatadora del músculo nasal a ensanchar la apertura nasal durante la inspiración profunda.

**Transverso:** se inserta en el dorso de la nariz y detrás de las alas de la nariz. Tira de la piel hacia el rostro de la nariz, elevando ligeramente la parte posterior de sus alas.

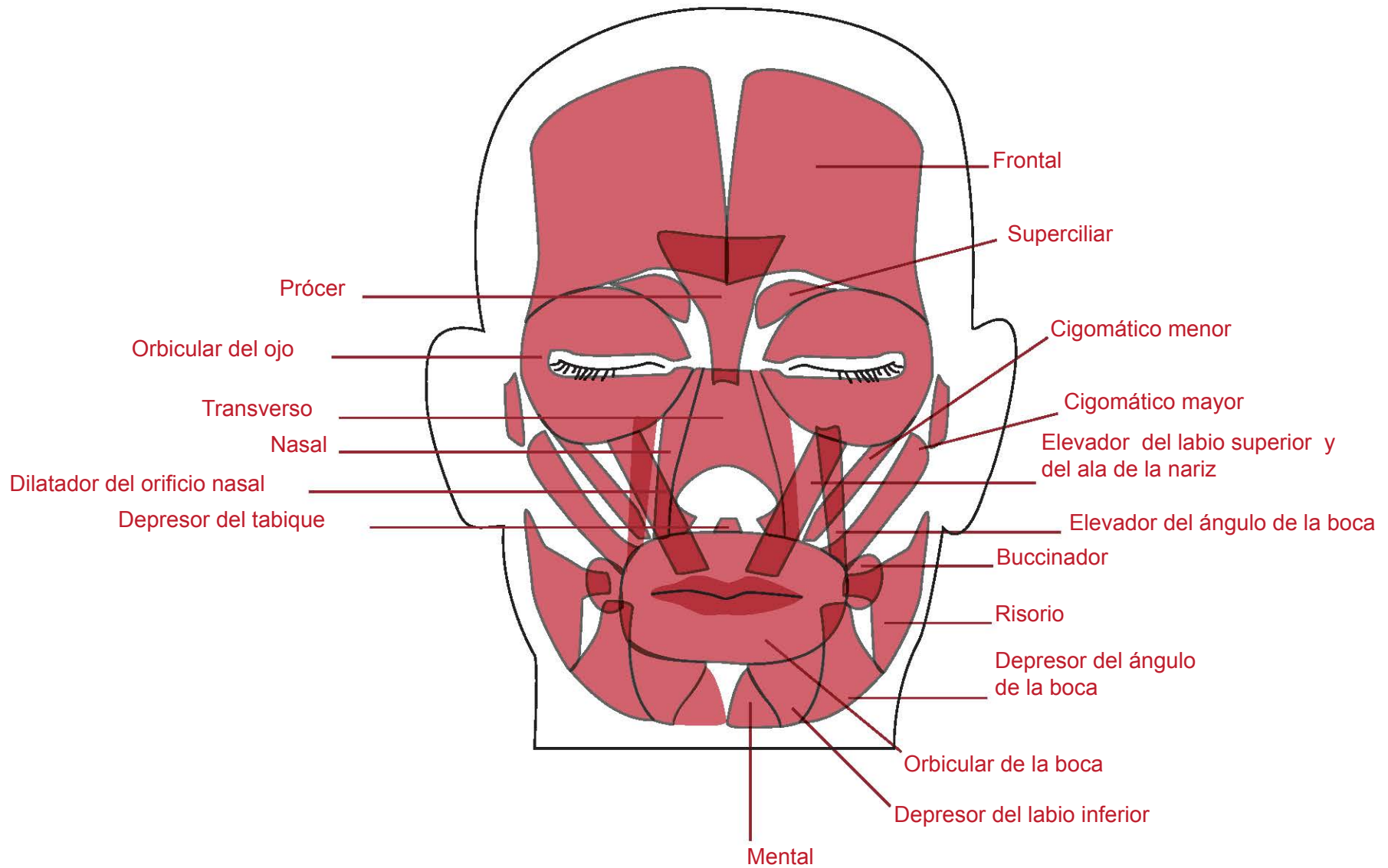
### **Ojos (fig 2.5 y 2.6).**

**Orbitas (cavidades oculares):** rodean casi por completo a los ojos o globos oculares, tiene la forma de una pirámide de cuatro lados.

**Esclerótica:** tiene un color discretamente azulado en los niños pequeños y un tono amarillo en muchos ancianos. Está cubierta por una membrana mucosa, humedecida y fina denominada conjuntiva bulbar.

**Cornea:** es la porción transparente anterior del ojo. Se continúa en sus bordes con la esclerótica.

**Pupila:** es una abertura circular oscura, dilatada y contráctil,



**Músculos de la cara**

que se observa en la córnea y ayuda a regular la entrada de luz al interior del globo ocular.

Iris: es un diafragma circular pigmentado que rodea a la pupila.

Carúncula lacrimonal: es un pequeño montículo de piel humedecida que ocupa el espacio triangular que forman los bordes internos de los párpados superior e inferior.

Pliegue semilunar: se encuentra lateral a la carúncula lacrimonal y cubre ligeramente el globo ocular y es un resto de la membrana nictitante de algunos animales (como los anfibios).

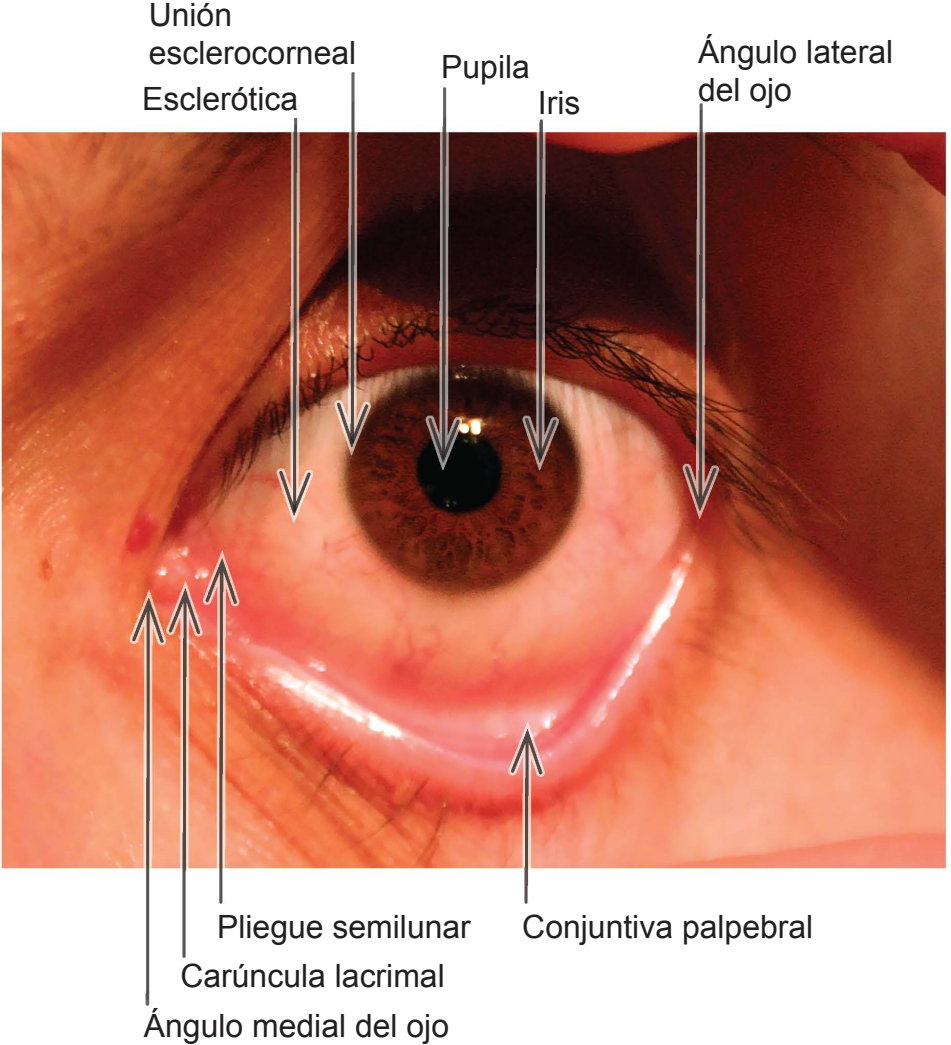


Fig. 2.5 Partes del ojo.

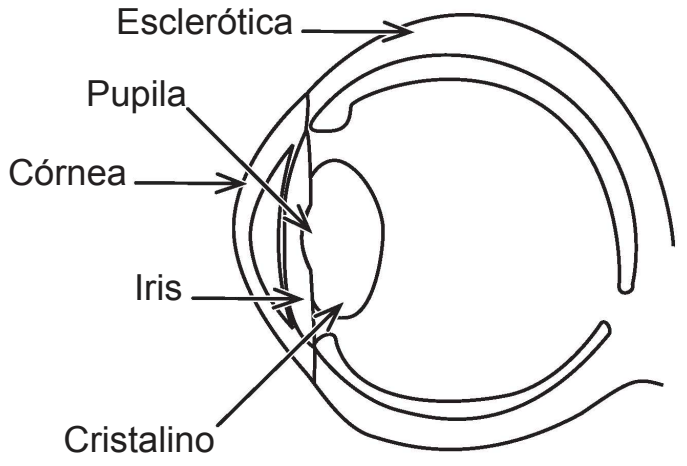


Fig. 2.6 Partes del ojo.

Párpados (fig 2.7): protegen al ojo de las agresiones externas y de la iluminación excesiva y mantienen humedecida la córnea. El párpado superior es más grande y móvil que el inferior y cubre parte del iris, mientras que habitualmente toda la mitad inferior del ojo se halla expuesta. Son pliegues móviles cubiertos en la cara externa por una piel fina y en la interna por una conjuntiva palpebral. Cada uno de los párpados esta reforzado por una banda densa de tejido conjuntivo, de aproximadamente 2,5 cm de anchura, conocida como tarso o lámina tarsal. Entre el tejido conjuntivo del tarso y la piel palpebral se encuentran las fibras de músculo orbicular del ojo.



Fig. 2.7 Párpados.

### Músculos de la órbita (fig. 2.8):

**Elevador del párpado superior:** se encarga de elevar el párpado superior. Se origina en el techo de la órbita y se extiende en abanico sobre una amplia aponeurosis que se inserta en la piel del párpado superior. Se encarga de elevar el párpado superior y se mantiene activo constantemente, excepto durante el sueño.

**Rectos:** los cuatro músculos rectos se originan en el anillo tendinoso común, que rodea el conducto óptico y la unión entre las fisuras orbitarias superior e inferior. Se insertan en el globo ocular inmediatamente detrás de la unión esclerocorneal.

**Oblicuos:** el músculo oblicuo superior tiene un aspecto fusiforme y se origina en el cuerpo del hueso esfenoides y termina en un tendón redondo, que pasa por una polea denominada tróclea, y se inserta en el ángulo superomedial de la pared orbitaria. El músculo oblicuo inferior se origina en el suelo de la órbita, a partir del hueso maxilar. Se inserta en la esclerótica en la porción posteroinferior de la cara lateral de la órbita.

Los seis músculos rotan el globo ocular dentro de la órbita alrededor de los tres ejes (sagital, horizontal y vertical).

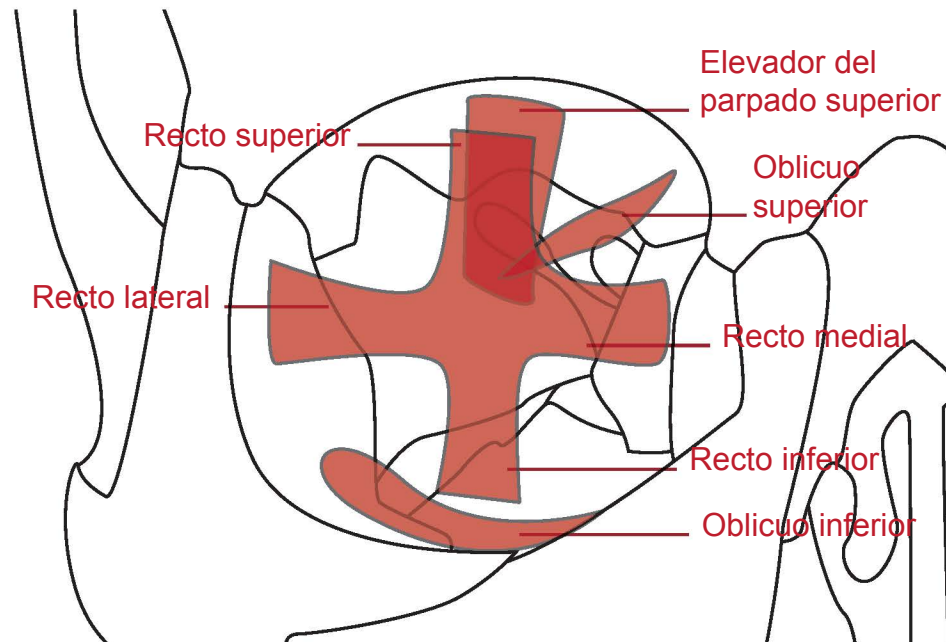


Fig. 2.8 Músculos de la órbita.

### Nariz.

Es la porción superior del tracto respiratorio, la porción externa tiene un tamaño y forma variable, fundamentalmente debido a las diferencias en los cartílagos nasales y en la profundidad de la glabella. La cara inferior de la nariz se halla perforada por dos aperturas denominadas narinas que se encuentran separadas entre sí por el tabique nasal. Cada narina limita lateralmente con el ala de la nariz (fig. 2.9).

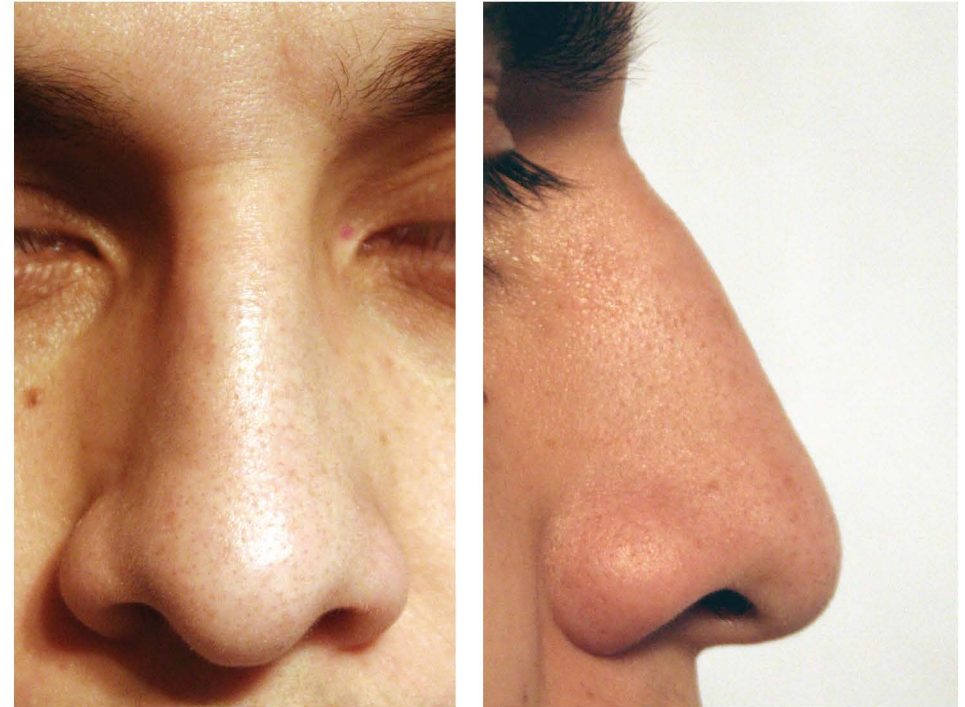


Fig. 2.9 Nariz.

### Oído.

El oído externo se compone del pabellón auricular y del conducto auditivo externo. El pabellón auricular es la porción visible del oído externo. Se compone de un cartílago elástico único cubierto por ambas caras por una piel fina y pilosa. El cartílago muestra diversos surcos y crestas irregulares que le otorgan su forma de concha (fig. 2.10).

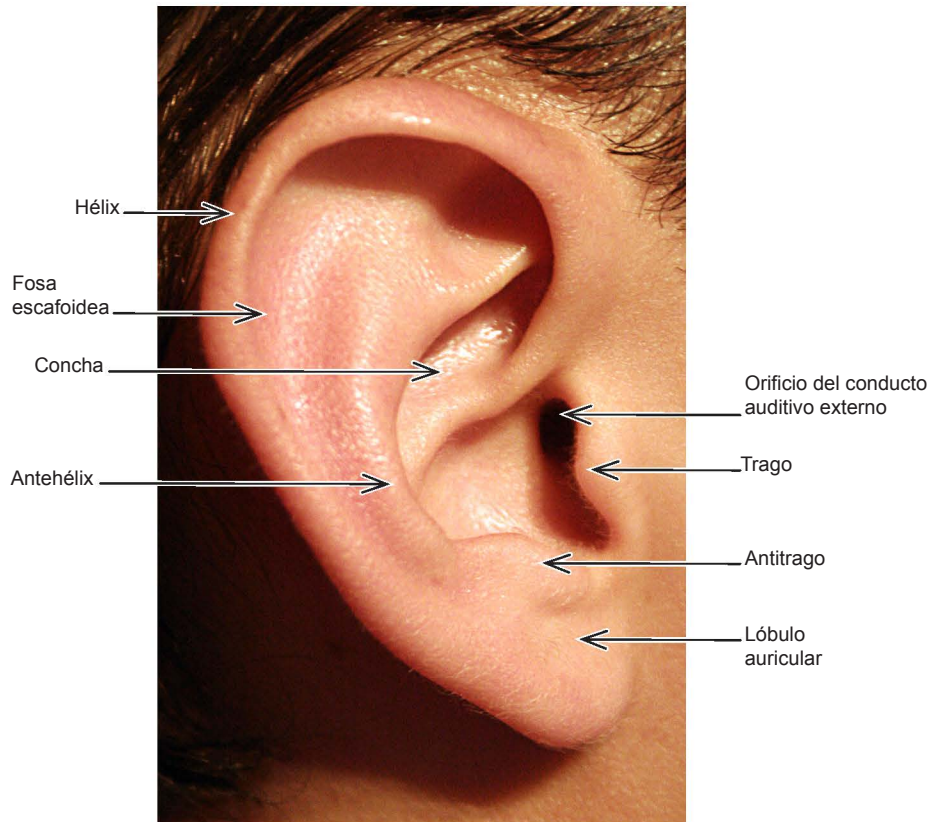


Fig. 2.10 Oído.

## Sistema de la masticación.

### Estructuras osteoarticulares.

**Maxilar superior:** existen dos, uno a cada lado y cuentan cada uno con un cuerpo, ocupado por una cavidad, el seno maxilar y por 4 prolongaciones: cigomática, frontal, alveolar y palatina. En conjunto los dos huesos constituyen la mandíbula superior. Su porción alveolar da alojamiento a las piezas dentarias superiores.

**Maxilar inferior:** es un hueso impar que tiene un cuerpo en forma de U, con dos gruesas ramas que se dirigen hacia atrás y arriba. En conjunto se le pueden distinguir dos caras y dos bordes; el borde superior o alveolar da alojamiento a las piezas dentarias inferiores, el borde inferior al continuarse con el posterior de la rama ascendente crea un ángulo donde se sitúa

un punto llamado gonión. La cara externa presenta un pequeño orificio a nivel del cuerpo, el agujero mentoniano.

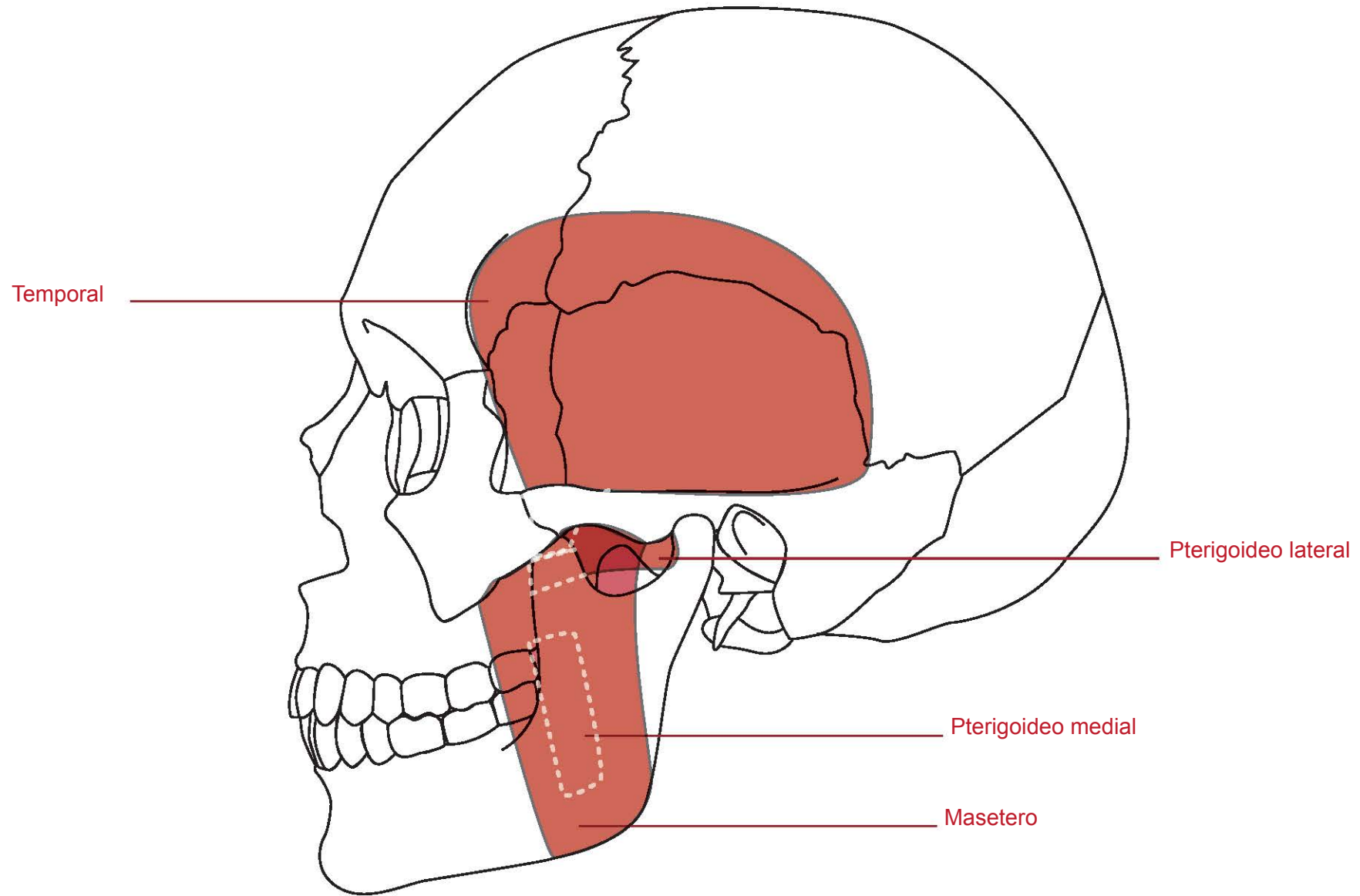
### Articulación temporomandibular.

Se trata de una articulación sinovial gínglimoide modificada. Las caras articulares comprenden la cabeza o cóndilo de la mandíbula por abajo y el tubérculo articular junto con la fosa mandibular de la porción escamosa del hueso temporal. Tiene dos tipos de movimiento: traslación o deslizamiento anterior y rotación en forma de bisagra. Al realizar el movimiento de masticación, se producen los dos tipos de movimiento. Cabe señalar que la mandíbula es distinta de los otros animales, los animales carnívoros solo poseen movimientos de ascenso y descenso; los roedores de propulsión y retropulsión y los rumiantes de lateralidad. El hombre al ser omnívoro posee todos los movimientos: el movimiento de descenso se acompaña del de propulsión y en los de ascenso sucede lo contrario, lo mismo pasa con los movimientos de propulsión y retropulsión que se acompañan de los de ascenso y descenso. La necesidad de que el movimiento de propulsión deba acompañarse del de descenso se justifica en razones pasivas, pues para que dicho movimiento se realice, es necesario que el maxilar descienda para que los dientes inferiores no choquen con los superiores.

### Sistema muscular.

De todos los movimientos que la mandíbula posee, el principal en el mecanismo de la masticación, es el de elevación, el que lleva al maxilar inferior contra el maxilar superior. Debido a esto los músculos más poderosos (temporal, masetero y el pterigoideo) están destinados a este movimiento. El descenso de la mandíbula es de menor jerarquía activa por lo que los músculos que intervienen (milohioideo y el vientre anterior del digástrico) tendrán menos importancia. Estos músculos se insertan por debajo de la mandíbula, en el hioides, permitiendo la tracción hacia abajo del maxilar inferior.

**Temporal:** Esta situado en el sector medio lateral inferior del cráneo. Su inserción proximal se encuentra en el suelo de la fosa



**Músculos de la articulación  
temporomandibular**

temporal y cara profunda de la fascia temporal, su inserción distal está ubicada en la punta y cara medial de la apófisis coronoides y borde anterior de la rama de la mandíbula. Tiene la función de elevar la mandíbula y cerrar los maxilares, las fibras posteriores retruyen la mandíbula después de la protusión.

**Masetero:** tiene forma cuadrangular, cubre la cara lateral de la rama y la apófisis coronoides de la mandíbula. Se inserta en el borde inferior y cara medial del arco cigomático, su inserción distal se encuentra en la cara lateral de la rama de la mandíbula y apófisis coronoides. Eleva y protuye la mandíbula, cerrando los maxilares.

**Pterigoideo lateral:** posee dos cabezas de inserción proximal, la cabeza superior se inserta en la cara infratemporal y cresta infratemporal del ala mayor del esfenoides, su cara inferior se inserta en la cara lateral de la lamina lateral de la apófisis pterigoides, su inserción distal se realiza en el cuello de la mandíbula, disco articular y capsula de la articulación temporomandibular. Cuando se contraen simultáneamente, protuyen la mandíbula y deprimen el mentón, cuando se contraen de forma aislada y alternamente, producen los movimientos laterales de la mandíbula.

**Pterigoideo medial:** también posee dos cabezas de inserción proximal, la cabeza profunda se inserta en la cara medial de la lamina lateral de la apófisis pterigoides y apófisis piramidal del hueso palatino, la cabeza superficial se inserta en la tuberosidad maxilar, su inserción distal se encuentra en la cara medial de la rama de la mandíbula, bajo el orificio mandibular. Ayuda a elevar la mandíbula y cerrar los maxilares.

La potencia de los músculos elevadores es muy superior a la necesaria para el proceso de la masticación, si los músculos no realizan más de lo que hacen es por la debilidad de las piezas dentarías, que llegarían a romperse si la potencia muscular se ejerciera al máximo.

### La cavidad oral.

Se compone de dos porciones: el vestíbulo y la boca. El

vestíbulo es el espacio o hendidura comprendido entre los labios y mejillas, por un lado, y los dientes y encías por el otro. Es la entrada del tracto digestivo y también interviene en la respiración. Se comunica al exterior a través del orificio de la boca. El techo de la cavidad oral está formado por el paladar. En el plano posterior la cavidad oral se comunica con la orofaringe (fig. 2.11).



Fig. 2.10 Cavidad oral.



### Los labios.

Son pliegues musculares móviles que rodean a la boca o entrada de la cavidad oral. Los labios superior e inferior se insertan en las encías en el plano medio a través de unos pliegues conocidos como frenillos labiales. La unión del labio superior con la mejilla está delimitada por el surco nasolabial. El surco mentolabial indica la unión entre el labio inferior y el mentón (fig. 2.12).

### Las mejillas.

Los labios y mejillas actúan como una sola unidad, funcionando como esfínter oral y empujando el alimento desde el vestíbulo hasta la cavidad oral. El músculo buccinador comprime las mejillas contra la cara vestibular de los molares y empuja el alimento hacia la cara oclusal de los dientes, movimiento contrario al de la lengua que lo empuja en dirección opuesta.



Fig. 2.12 Labios.

### Las encías.

Se insertan en las apófisis alveolares de ambos maxilares y en el cuello dental (fig. 2.13).



Fig. 2.13 Encías.

### Piezas dentarias.

Tienen fundamental importancia en el acto de la masticación. Sus características estructurales están determinadas por su función: sección, desgarrar y trituración. Los mamíferos tienen la característica de ser didodontos, es decir, que poseen dos erupciones dentarias, la primera es comúnmente llamada "dentadura de leche" y es transitoria, se desprende en los primeros 10 años de vida, la segunda es permanente. Cada diente consta de los siguientes sectores: corona, cuello, raíz y pulpa (fig. 2.14). El número de dientes es de 16 por cada maxilar que de acuerdo a sus características se dividen en: incisivos, caninos, premolares y molares.

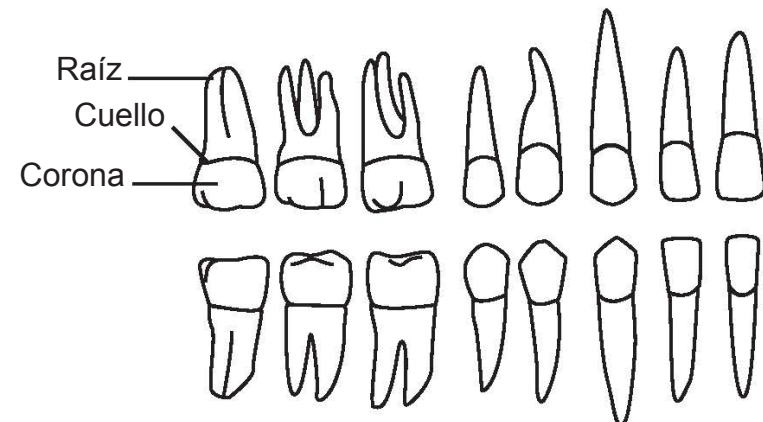


Fig. 2.14 Piezas dentarias.

### Paladar.

El paladar se divide en paladar duro y paladar blando (fig. 2.15). El paladar duro está formado por las apófisis palatinas de los maxilares y de los huesos palatinos.

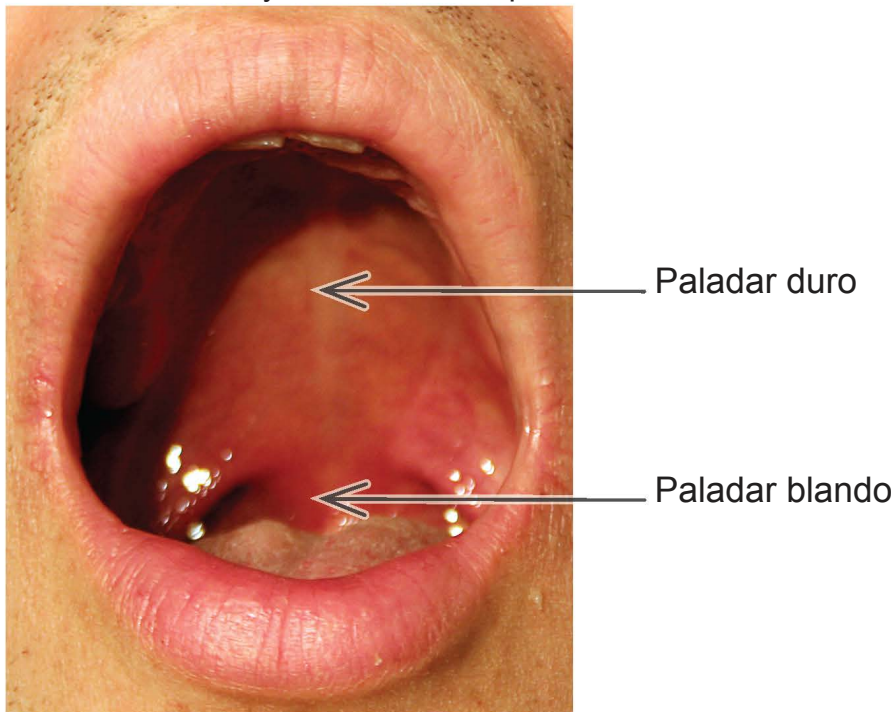


Fig. 2.15 Paladar.

El paladar blando es un pliegue fibromuscular móvil adherido a la porción posterior del paladar duro. Los músculos que actúan sobre el paladar blando son:

Elevador del velo del paladar: funciona para elevar el paladar blando durante la deglución y al bostezar.

Tensor del velo del paladar: tensa al paladar blando y abre el orificio de la trompa auditiva durante la deglución y el bostezar.

Palatogloso: eleva la porción posterior de la lengua y lleva el paladar blando hacia la lengua.

Palotofaríngeo: tensa el paladar blando y tira de las paredes de la faringe en dirección superior, anterior y medial durante la deglución.

Músculo de la úvula: acorta la úvula y tira de ella hacia el plano superior.

### Lengua.

El desarrollo embrionario de la lengua explica la complejidad de su estructura muscular y su triple inervación. Pueden distinguirse dos secciones: una anterior o libre y una posterior o fija. La lengua es un órgano muscular extraordinariamente móvil que puede variar enormemente de forma. Se compone de tres porciones: raíces, cuerpo y punta. La raíz ó porción posterior se inserta fundamentalmente en el suelo de la boca. La lengua ocupa la mayor parte de la boca en reposo. Se ocupa de la masticación, sabor, deglución, articulación del lenguaje y limpieza bucal, pero sus funciones principales consisten en llevar el alimento hacia la faringe durante la deglución y articular las palabras del lenguaje hablado (fig. 2.16).

Porción oral de la lengua: se mueve libremente, pero se inserta de una manera laxa en el suelo de la boca a través de frenillo lingual. A cada lado del frenillo se observa una vena lingual profunda, en forma de una línea azulada, que se inicia en la punta de la lengua y sigue un curso posterior. El dorso de la porción oral de la lengua es recorrido por el surco medio.

Porción faríngea de la lengua: se sitúan posterior al surco terminal y arcos palatoglosos.



Fig. 2.16 Lengua.

## Músculos de la lengua.

Los músculos que constituyen la lengua toman inserción, fundamentalmente, en el hueso hioides y en el maxilar inferior, y accesoriamente en el llamado armazón fibroso de la lengua. La lengua está dividida en dos mitades por un septo lingual fibroso medio que se encuentra en la profundidad del surco medio. Cada mitad de la lengua se compone de cuatro músculos extrínsecos y cuatro intrínsecos. Los músculos intrínsecos toman inserción en la propia estructura fibrosa lingual y son los encargados de cambiar la forma de la lengua. Los músculos extrínsecos son los que dan movimiento a la lengua

### Músculos extrínsecos (fig. 2.17).

**Geniogloso:** es el principal responsable de la masa lingual. Se origina en una porción superior de la espina mentoniana de la mandíbula, su inserción se realiza en el dorso de la lengua y cuerpo del hueso hioides. Su acción es deprimir la lengua; la porción posterior protruye la lengua. Las fibras verticales del geniogloso, actuando sinérgicamente con el hiogloso, llevan la lengua hacia abajo, contra el piso de la boca. Las fibras horizontales llevan la lengua hacia adelante, proyectándola fuera de la boca si esta se encuentra abierta. El músculo antagonista de este sector muscular del geniogloso que lleva hacia adentro de la cavidad bucal a la lengua, es el hiogloso. La acción del geniogloso es fundamental al impedir la caída de la base de la lengua hacia atrás, sobre la epiglotis; mantiene así libres las vías aéreas.

**Hiogloso:** se origina en el cuerpo y en el asta mayor del hueso hioides, sirve para deprimir y retraer la lengua.

**Estilogloso:** se origina en la apófisis estiloides y ligamento estilohioideo, se inserta en la cara lateral e interior de la lengua. Su función es retraer la lengua y la eleva creando un surco para la deglución.

**Palatogloso:** se origina en la aponeurosis palatina del paladar blando, se inserta en la cara lateral de la lengua. Eleva la porción posterior de la lengua.

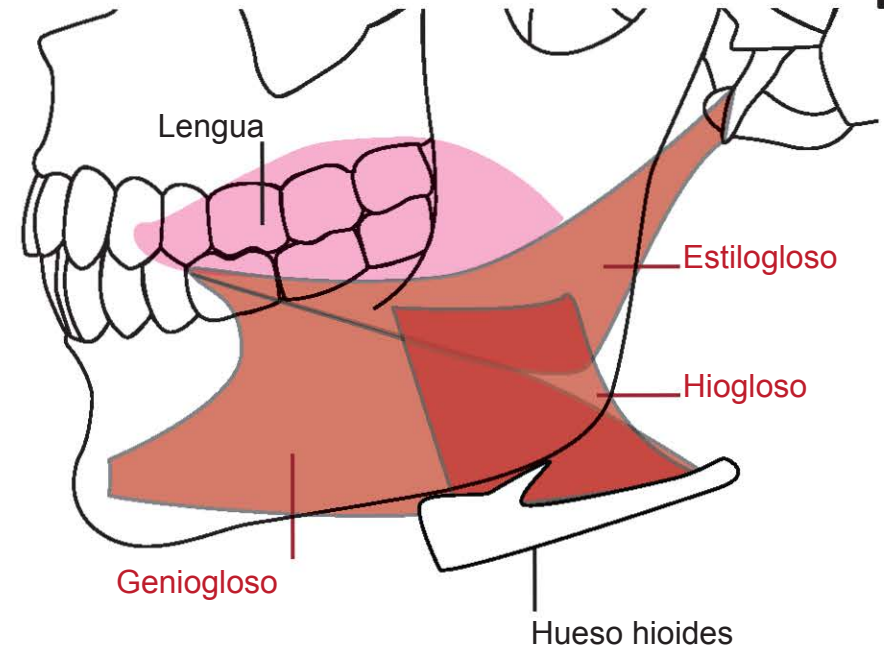


Fig. 2.17 Músculos extrínsecos de la lengua.

### Músculos intrínsecos de la lengua.

Se ocupan fundamentalmente de modificar la forma de la lengua, la ensanchan ó la acortan.

**Longitudinal superior:** se origina en la capa fibrosa submucosa y en el septo lingual y se inserta fundamentalmente en la membrana mucosa. Tiene la función de deprimir la punta y los labios y las caras laterales de la lengua por arriba, provocando una concavidad en el dorso de la lengua.

**Longitudinal inferior:** algunas de sus fibras se insertan en el hueso hioides. Este músculo abarquilla la punta de la lengua hacia abajo, provocando una convexidad del dorso de la lengua.

**Transverso:** está situado en la profundidad del músculo longitudinal superior y se origina en el septo lingual fibroso. Se encargan de acortar y aumentar la altura de la lengua.

**Vertical:** tiene un curso inferolateral desde el dorso de la lengua. Aplana y ensancha la lengua. Cuando se contrae junto con el músculo transverso, aumenta la longitud de la lengua.

## 2.5 Nuca y cuello.

### Estructuras del cuello.

**Hueso occipital:** es un hueso impar y medio, colocado en el sector posterior/inferior del cráneo y constituye el elemento fundamental de la nuca. Presenta un orificio central llamado agujero occipital, el cual permite el paso de la médula espinal. La paredes laterales del occipital se articulan con la primer vértebra cervical y están constituidas por los cóndilos occipitales.

**Atlas:** la característica esencial del atlas es su falta de cuerpo vertebral. En el arco posterior esta la carilla articular para la apófisis odontoides del axis. En las masa laterales presenta las carillas articulares para los cóndilos occipitales en la cara superior y las destinadas a la articulación con el axis en la cara inferior.

**Axis:** la segunda vértebra de la cervical presenta un cuerpo que se prolonga hacia arriba llamado apófisis odontoides la cual presenta dos superficies articulares destinadas al arco posterior del atlas y a la lámina transversa.

**Prominencia laríngea:** es un rasgo característico de la porción anterior del cuello, esta prominencia se debe al cartílago tiroides, la porción más voluminosa del esqueleto de la laringe. La porción superior del cartílago tiroides es más prominente y llamativa en los varones que en las mujeres y niños, observándose también diferencias entre los varones (fig. 2.18).

**Hueso hioides:** está situado encima del cartílago tiroides y se palpa inferior a la prominencia laríngea.

**Cartílago cricoides:** se sitúa debajo del cartílago tiroides y se palpa inferior a la prominencia laríngea.

**Escotadura yugular:** Es una depresión redondeada del manubrio esternal que se palpa con facilidad entre las extremidades mediales (esternales) de las clavículas y se ve con facilidad.

### Articulaciones.

**Articulaciones occipitoatloidea y atloaxoidea:** la sinergia funcional de ambas articulaciones es imprescindible para la movilidad de la cabeza a la que acompaña un movimiento semejante y coordinado del cuello.

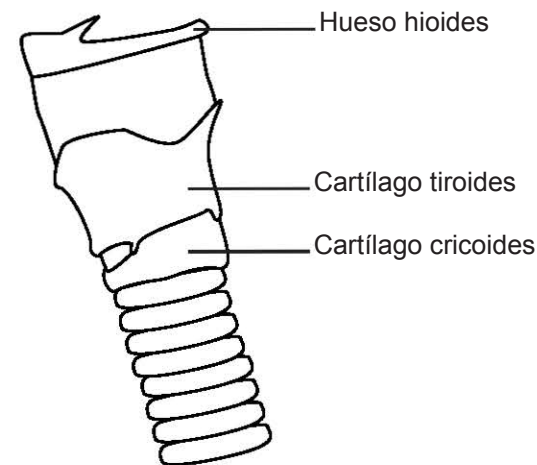


Fig. 2.18 Laringe.

Los movimientos de la articulación occipitoatloidea se realizan alrededor de un eje transverso/oblicuo que pasa por los cóndilos sobre los que se producen los movimientos de flexoextensión. Los de flexión ventral alcanzan 20° y los de dorsal llegan a los 30°. A nivel de esta articulación son posibles ligeros movimientos de lateralidad que son impedidos de realizarse más ampliamente por el choque de las masas laterales del atlas con los sectores correspondientes del occipital.

### Sistema muscular.

#### Músculos superficiales del cuello.

Existen tres músculos superficiales del cuello: platisma, esternocleidomastoideo y trapecio.

**Platisma:** es una lámina fina, ancha y subcutánea de músculo estriado que se localiza en la fascia superficial y asciende desde la cara anterior del cuello hasta la cara. Su inserción inferior se realiza en la fascia y piel de los músculos pectoral mayor y deltoides. La inserción superior está ubicada en el borde inferior de la mandíbula y piel de la porción inferior de la cara. Tiene la función de tensar la piel del cuello, lleva

los ángulos de la boca hacia el plano inferior y contribuye a deprimir la mandíbula (fig. 2.19).

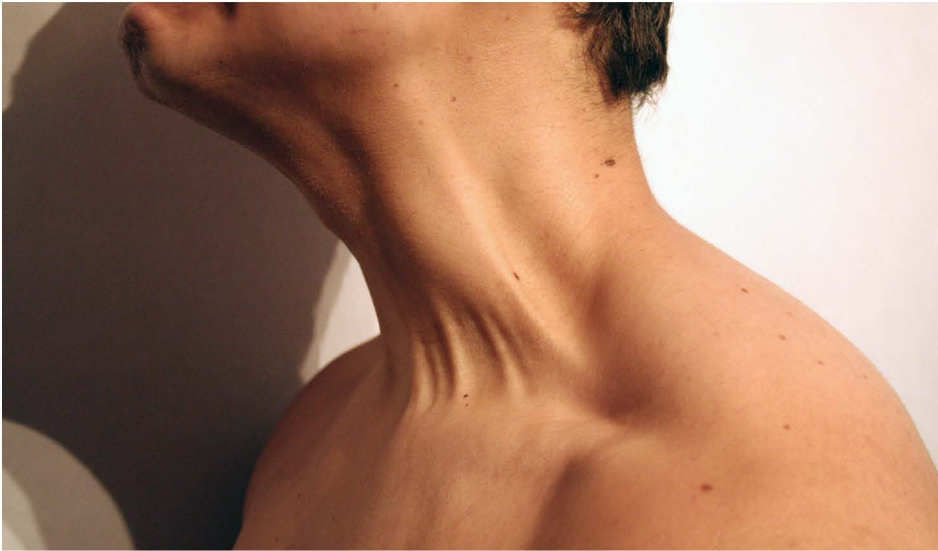


Fig. 2.19 Platisma.

**Esternocleidomastoideo:** es la principal referencia del cuello ya que divide la cara lateral de este, en los triángulos anterior y posterior. Su inserción inferior se realiza por medio de sus dos cabezas, la esternal se inserta en la cara anterior del manubrio del esternón, la clavicular, se inserta en la cara superior del tercio medial de la clavícula. La inserción superior se realiza en la cara lateral de la apófisis mastoides del hueso temporal y cara lateral de la línea nugal superior del hueso occipital. Cuando se contraen de manera aislada, inclina la cabeza al mismo lado al traccionar de la apófisis mastoides hacia abajo, flexiona lateralmente y rota el cuello de forma que la cara mira hacia arriba del lado contrario, cuando se contraen de manera simultánea, estos músculos flexionan el cuello.

#### **Músculos del triángulo posterior del cuello.**

**Esplenio de la cabeza:** es la porción superior más voluminosa del músculo esplenio. Se inserta en la mitad inferior del ligamento nugal y la apófisis espinosa de las 6 primeras vértebras torácicas, la inserción distal se realiza en la cara

lateral de la apófisis mastoides y tercio lateral de la línea nugal superior. Tiene la función de flexionar y rotar lateralmente la cabeza y el cuello al mismo lado, cuando se contraen los músculos de ambos lados, extienden la cabeza y el cuello.

**Elevador de la escápula:** se compone de cuatro tiras unidas de manera laxa. Se inserta en los tubérculos posteriores de las apófisis transversas de las vértebras cervicales 1 a 4, la inserción distal se ubica en la porción superior del borde medial de la escápula. Tiene la función de elevar la escápula e inclina la cavidad glenoidea hacia abajo rotando la escápula.

**Escaleno medio:** se inserta en los tubérculos posteriores de las apófisis transversas de las vértebras cervicales 2 a 6, su inserción distal se encuentra en la cara superior de la primera costilla. Tiene la función de flexionar lateralmente el cuello, eleva la primera costilla durante la inspiración forzada.

**Escaleno posterior:** se inserta en los tubérculos posteriores de las apófisis transversas de las vértebras cervicales 4 a 6, su inserción distal se realiza en el borde externo de la segunda costilla. Tiene la función de flexionar lateralmente el cuello y elevar la segunda costilla durante la inspiración forzada.

#### **El triángulo anterior del cuello.**

Esta limitado por la línea media anterior del cuello, el borde inferior de la mandíbula y el borde anterior del músculo esternocleidomastoideo. El vértice apunta a la escotadura yugular y la base está formada por el borde inferior de la mandíbula y una línea trazada desde el ángulo de la mandíbula hasta la apofisis mastoides.

#### **Músculos hioideos.**

El hueso hioides es mantenido en su posición por varios músculos que se insertan en la mandíbula, cráneo, cartílago tiroideos, manubrio del esternón y extremidad medial de la escápula. Se ocupan fundamentalmente de mover o enderezar el hueso hioides y la laringe. Están divididos en suprahioideos e infrahioideos.

**Músculos suprahioides:** se encuentran encima del hueso hioides y comunican este hueso con el cráneo.

Milohioides: forman un asa bajo la lengua que constituye el suelo de la boca. Su inserción superior se encuentra en la línea milohioidea de la mandíbula, su inserción inferior se ubica en el rafe y cuerpo del hueso hioides. Eleva el hueso hioides, el suelo de la boca y la lengua al deglutir y al hablar.

Geniohioides: se sitúan encima de los músculos milohioides y refuerzan el suelo de la boca. Se inserta en la espina mentoniana interior de la mandíbula, su inserción inferior se encuentra en el cuerpo del hueso hioides. Dirige el hueso hioides en un plano anterosuperior, reduce el suelo de la boca y ensancha la faringe.

Estilohioides: se insertan en la apófisis estiloides del hueso temporal, su inserción inferior se encuentra en el cuerpo del hueso hioides. Eleva y retrae el hueso hioides y enlarga el suelo de la boca.

Digástricos: el vientre anterior se inserta en la fosa digástrica de la mandíbula, el vientre posterior se inserta en la escotadura mastoidea del hueso temporal, su inserción inferior se realiza en el cuerpo y asta mayor del hueso hioides. Deprimen la mandíbula; eleva y endereza el hueso hioides al deglutir y al hablar.

**Músculos infrahioides:** Están situados bajo el hueso hioides y fijan este hueso, deprimiendo el hueso y la laringe durante la deglución y el habla.

Esternohioideo: es superficial excepto en su porción inferior en donde está cubierto por el músculo esternocleidomastoideo. Su inserción superior se encuentra en el manubrio del esternón y extremidad medial de la clavícula, su inserción inferior se realiza en el cuerpo del hueso hioides. Deprime el hueso hioides después de que se eleva durante la deglución.

Esternotiroideo: se encuentra en la profundidad del músculo esternohioideo, es más corto y ancho que este. Se inserta en la cara posterior del manubrio del esternón, su inserción inferior se realiza en la línea oblicua del cartílago tiroides. Tiene la función de deprimir el hueso hioides y la laringe.

Tirohioideo: es la continuación superior del músculo

esternotiroideo su inserción superior se encuentra en la línea oblicua del cartílago tiroides, la inserción inferior está ubicada en el borde inferior del cuerpo y asta mayor del hueso hioides. Deprime el hueso hioides y eleva la laringe.

Omohioideo: divide los triángulos cervicales anterior y posterior en otros más pequeños. Su inserción superior se encuentra en el borde superior de la escápula cerca de la escotadura supraescapular, la inserción inferior se realiza en el borde inferior del hueso hioides. Deprime, retrae y endereza el hueso hioides.

### **Estructuras profundas del cuello.**

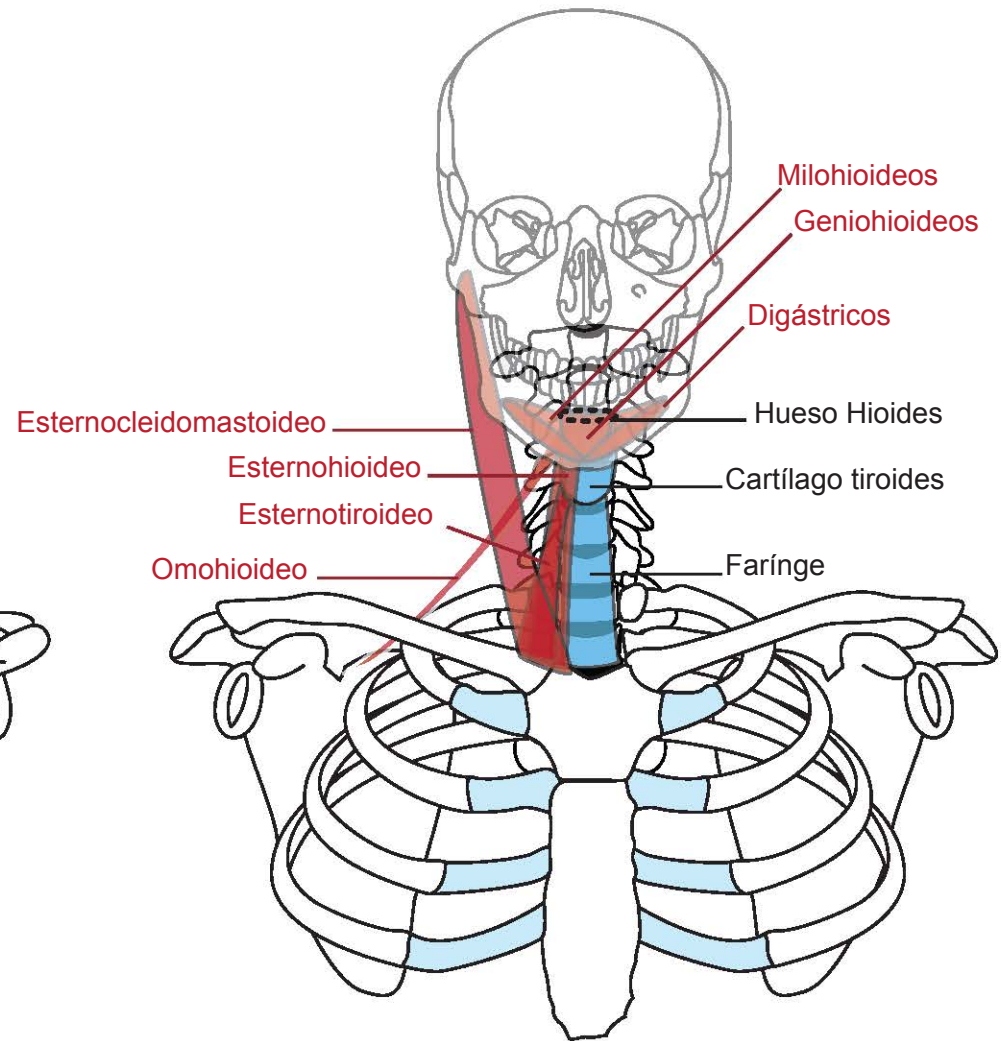
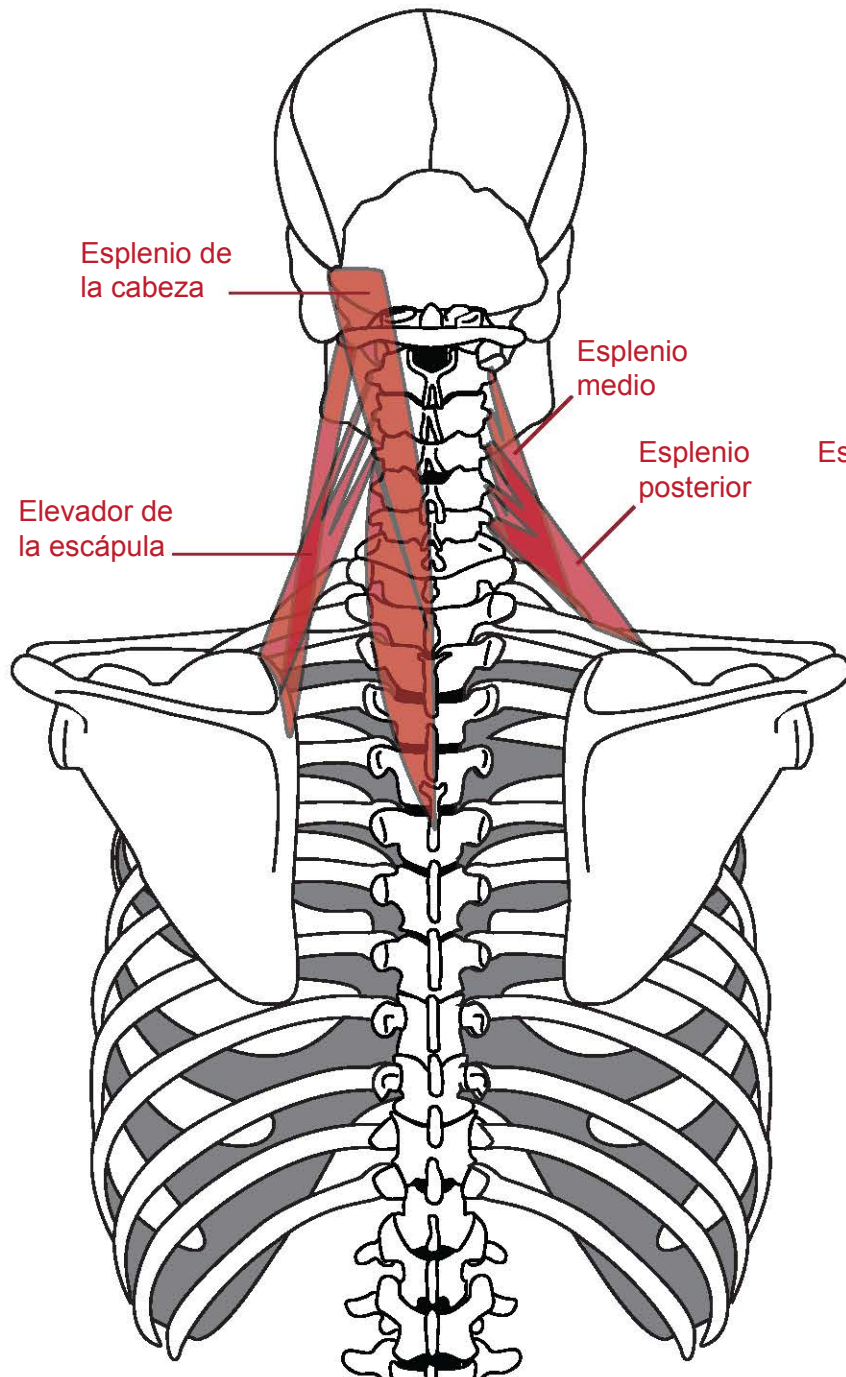
Músculos prevertebrales (largo del cuello, largo de la cabeza, recto anterior de la cabeza, recto lateral de la cabeza): están cubiertos por delante por la fascia prevertebral. Todos ellos flexionan el cuello y la cabeza sobre el cuello.

### **Faringe.**

Es la prolongación del tracto digestivo que comienza en la cavidad oral. Se trata de un tubo fibromuscular, con aspecto infundibular, funciona para el paso del aire y de los alimentos. Se extiende desde la base del cráneo hasta el borde inferior del cartílago cricoides, por delante, y hasta el borde inferior de la vértebra cervical seis por detrás. Este órgano es más ancho en frente del hueso hioides y más estrecho en su extremo inferior, en donde se continúa con el esófago (fig. 2.20).

Músculos externos de la faringe: constrictor superior, constrictor medio, constrictor inferior. Conстриñen la pared de la faringe durante la deglución.

Músculos internos de la faringe: estilofaríngeo, palatofaríngeo, salpigofaríngeo. Tiene la función de elevar la faringe y la laringe durante la deglución y al hablar.



**Músculos de los triángulos posterior y anterior**

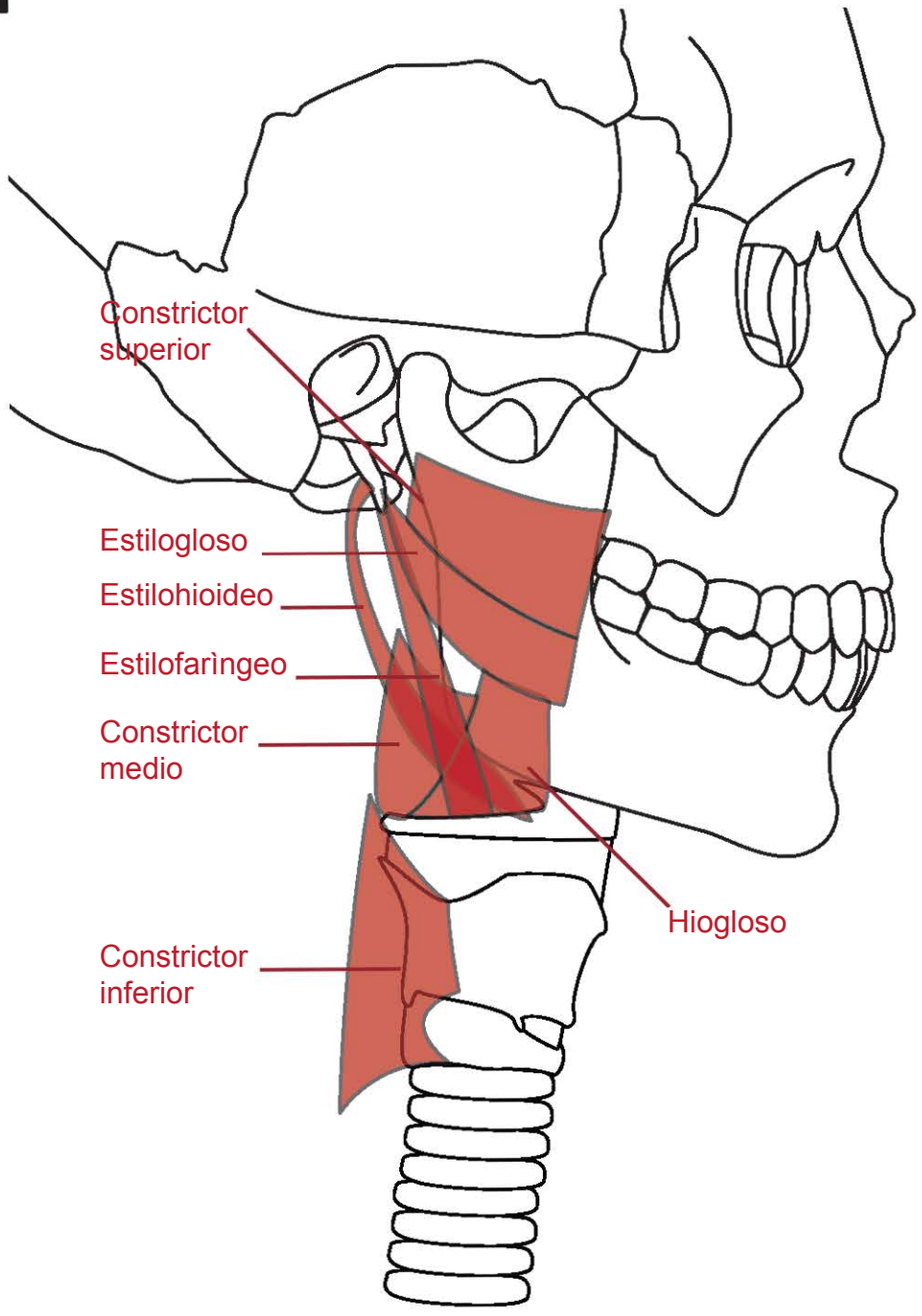


Fig. 2.20 Faringe.

## 2.6 Abdomen.

Es la parte del tronco comprendida entre el tórax y la pelvis. El ombligo es el signo más llamativo de la pared anterior del abdomen en la mayoría de las personas. La línea que une al apéndice xifoides con la sínfisis del pubis rebela la posición de la línea alba, la cual divide la pared anterior del abdomen en dos mitades. La línea semilunar es una línea curva o surco se extiende desde el noveno cartílago costal hasta el tubérculo del pubis, indica el borde lateral del músculo recto del abdomen. El surco inguinal es la división entre la pared anterior del abdomen y el muslo. Los músculos que forman las paredes abdominales tienen como función fundamental la evacuación (defecación, micción, parto, vómitos), estos músculos delimitan la cavidad abdominal por sus sectores anterolaterales.

### Sistema Muscular.

#### Músculos de la pared anterior del abdomen.

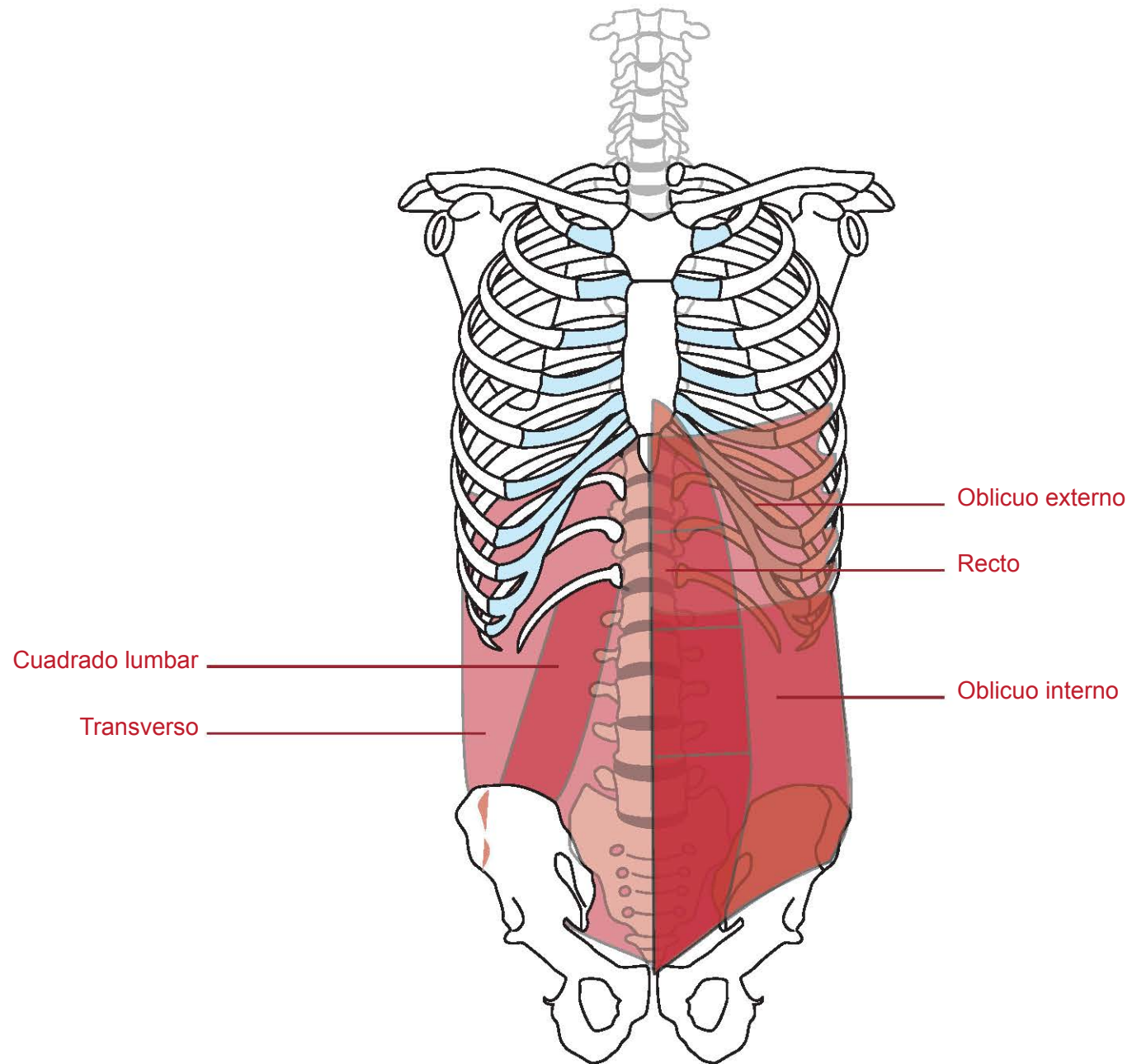
Protegen considerablemente la las vísceras abdominales, sobre todo si los músculos están adecuadamente desarrollados.

Oblicuo externo: es el músculo más grande y superficial de los tres músculos abdominales planos y se sitúa en la porción anterolateral de la pared. Se origina en la cara externa de la quinta a la doceava costilla, entrecruzando sus fibras con las del serrato mayor, su inserción se realiza en la línea alba, tubérculo del pubis y mitad anterior de la cresta iliaca.

Oblicuo interno: es el músculo intermedio de los tres músculos abdominales planos se origina en la fascia toracolumbar, 2/3 anteriores de la cresta iliaca y mitad lateral del ligamento inguinal, su inserción se realiza en los bordes inferiores de la décima a la doceava costilla, línea alba y pubis a través del tendón conjunto. Los oblicuos comprimen y refuerzan las vísceras abdominales, flexionan y rotan el tronco.

Transverso: es el más interno de los tres músculos abdominales planos, se origina en la cara interna del séptimo al doceavo cartílago costal, fascia toracolumbar, cresta iliaca y tercio lateral del ligamento inguinal. Se insertan en la línea





**Músculos  
del abdomen**

alba, aponeurosis del músculo oblicuo interno, cresta del pubis y cresta pectínea a través del tendón conjunto. Comprime y refuerza las vísceras abdominales.

Acciones de los tres músculos abdominales planos: la respiración se acompaña de movimientos rítmicos y suaves de la pared anterolateral del abdomen. Cuando el diafragma, se contrae en la inspiración, sus cúpulas se aplanan y descienden, aumentando la dimensiones verticales del tórax. Cuando la caja torácica y el diafragma se relajan durante la espiración la pared anterior del abdomen se hunde en forma pasiva. Durante la respiración forzada, tos, estornudo, vómitos y al realizar maniobras de esfuerzo abdominal, todos los músculos de la pared anterior del abdomen se contraen intensamente y comprimen el contenido abdominal. La acción combinada de los músculos abdominales planos determina un aumento de la presión intraabdominal, esta acción produce la fuerza necesaria para la defecación, micción y parto. Cuando actúan por separado mueven el tronco.

Recto: es el principal músculo vertical de la pared anterior del abdomen. Se origina en la sínfisis y cresta del pubis y se inserta en el apéndice xifoides y cartílagos costales 5 y 7. Flexiona el tronco y comprime las vísceras abdominales. Los dos músculos se encuentran separados por la línea alba y se alquilan unidos en la parte inferior.

### **Músculos de la pared posterior del abdomen.**

Psoas mayor: discurre lateral a las vertebrae lumbares sigue un trayecto inferolateral, su inserción superior se encuentra en la apófisis transversa de las vertebrae lumbares; caras laterales de los cuerpos de las vertebrae dorsal 2, en la lumbar 5 y discos intervertebrales correspondientes, su inserción inferior se encuentran el tendón robusto que se inserta en el trocánter menor del fémur. Actuando en conjunto con el músculo ilíaco, flexiona el muslo. Cuando actúan caudalmente, por sí mismo, tracciona lateralmente la columna vertebral. Se utiliza para equilibrar mejor del tronco al sentarse. Cuando actúa caudalmente con los músculos psoas del lado contrario e iliaco, flexiona el tronco.

Iliaco: es un músculo triangular que discurre por la cara lateral de la porción inferior del músculo psoas mayor, se inserta en los 2/3 superiores de la fosa ilíaca, ala del sacro y ligamento sacroiliacos anteriores, su inserción inferior se encuentra en el trocánter menor del fémur y diáfisis del fémur situada por debajo. Flexiona el muslo y estabiliza la articulación coxofemoral; actúa junto con el músculo psoas y se denominan conjuntamente como un músculo iliopsoas el cual es el principal flexor del muslo.

Cuadrado lumbar: forma una gruesa lámina muscular en la pared posterior del abdomen. Se inserta en la mitad medial del borde inferior de la doceava costilla y punta de las apófisis transversas lumbares, su inserción inferior se realiza en el ligamento iliolumbar y labio interno de la cresta iliaca. Extiende y flexiona lateralmente la columna vertebral; fija la doceava costilla durante la inspiración.

## **2.7 Miembro inferior.**

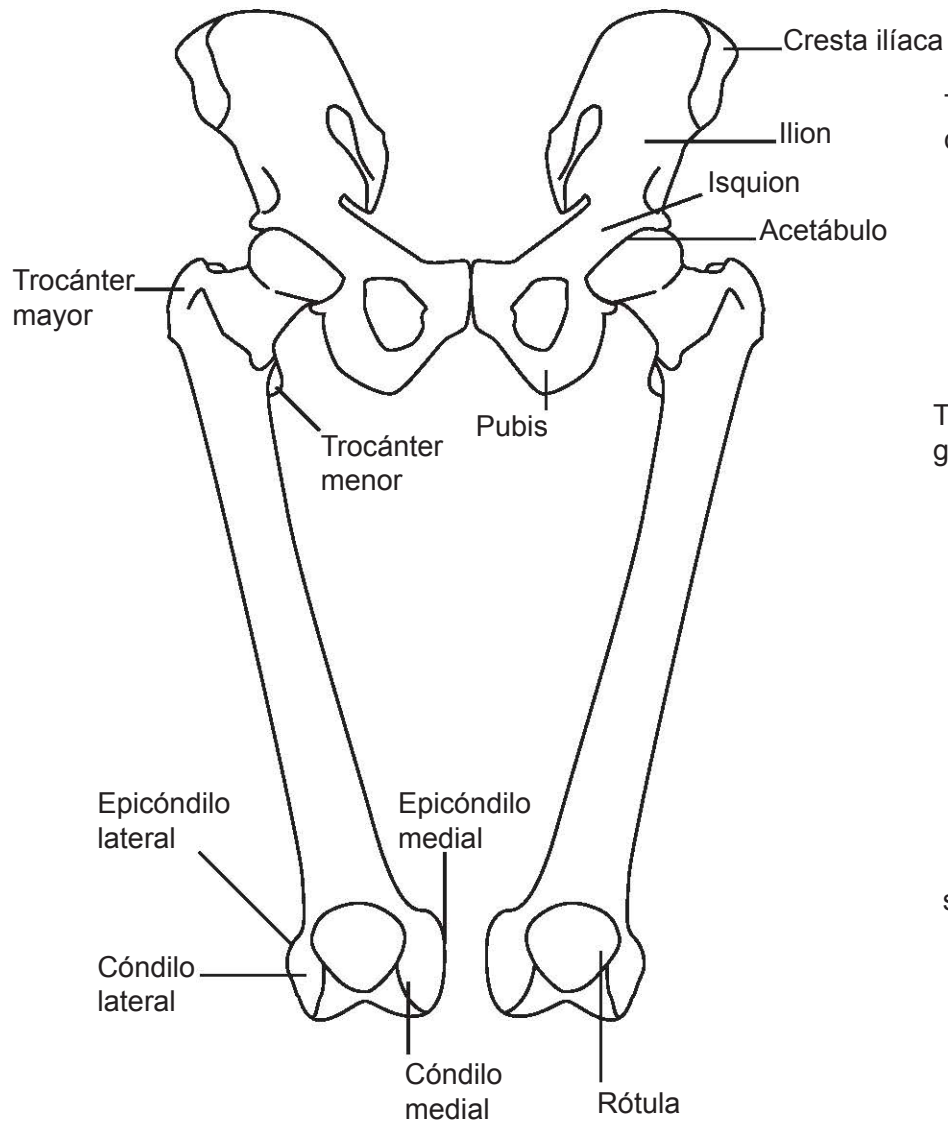
Se encuentra especializado en la locomoción, el soporte de peso y el mantenimiento del equilibrio. Consta de cuatro elementos:

- Cadera: contiene al hueso iliaco que comunica el esqueleto del miembro inferior con la columna vertebral.
- Muslo: contiene el fémur y comunica la cadera con la rodilla.
- Pierna: contiene la tibia y el peroné, ambos comunican la rodilla con el tobillo.
- Pie: contiene el tarso, metatarso y las falanges.

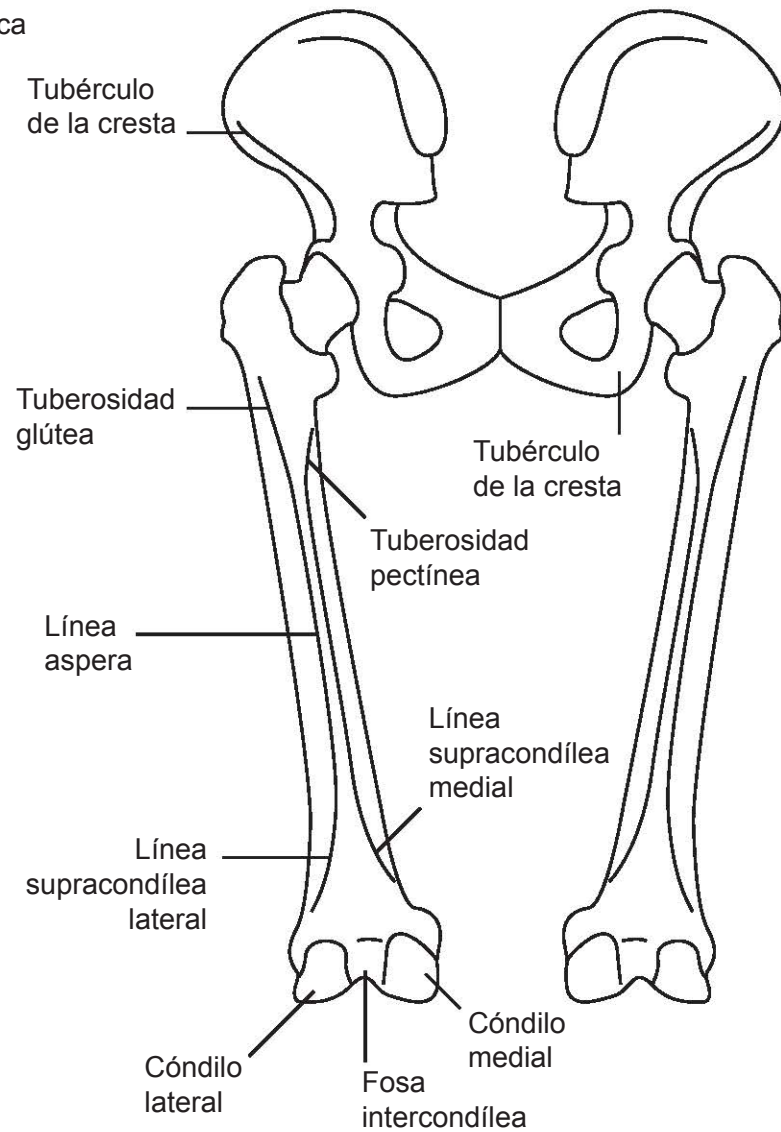
### **Estructuras óseas de la cadera y pierna.**

Huesos iliacos: se articulan por la cara posterior con el sacro y se reúnen por delante con la sínfisis del pubis. El cinturón pelviano esta formado por los dos huesos iliacos, en conjunto con el sacro y el cóccix forman el esqueleto de la pelvis ósea. El hueso iliaco a su vez se compone de tres huesos: ilion, isquion y pubis. Estos tres huesos están separados por cartílago antes de la pubertad y se unen en el acetábulo entre los 15 y 17 años formando un solo hueso iliaco, la fusión termina a los 23 años.

VISTA ANTERIOR



VISTA POSTERIOR



## Huesos ilíacos y fémur

La cadera dispone de una fosa que tiene forma de copa llamada acetábulo, la cual se articula con la cabeza femoral. Cuando se coloca la mano sobre la cadera, esta toca el borde superior del ilion conocido como cresta iliaca. Esta cresta tiene un labio externo y otro interno. El punto más alto que se palpa por la cara posterior se sitúa al nivel de la cuarta vértebra lumbar. La cresta iliaca termina por delante en la espina iliaca anterosuperior, por la cara posterior acaba en la espina iliaca posterosuperior. El tubérculo de la cresta iliaca es otra referencia ósea palpable que se localiza en el labio externo.

El isquion constituye el tercio posteroinferior de la cadera y las dos quintas partes posteriores del acetábulo, se compone de dos elementos: el cuerpo y la rama del isquion. El extremo inferior del isquion muestra una proyección rugosa conocida como tuberosidad isquiática, la cual está protegida por el músculo glúteo mayor, cuando se extiende el muslo, pero queda desprotegida cuando se flexiona, sobre esta estructura descansa el cuerpo al sentarse y es palpable por encima de la zona medial del pliegue glúteo. Este pliegue coincide con el borde inferior del músculo glúteo mayor pero el pliegue no es producido por el músculo sino por el surco glúteo. La rama del isquion tiene forma de barra y es más delgada que el cuerpo, forma la rama isquiopubiana que delimita por completo el orificio obturador.

El pubis es un hueso en forma de L que forma la porción inferoanterior del hueso de la cadera y constituye una quinta parte anteromedial del acetábulo. Está compuesto de tres elementos: el cuerpo y dos ramas. El cuerpo es aplanado y se sitúa medialmente, la rama superior se une con el ilion y el isquion, la rama inferior se une con la rama del isquion y forma la mitad del arco del pubis. El cuerpo del pubis se une al cuerpo del pubis contralateral en el plano medio formando una articulación fibrocartilaginosa llamada sínfis del pubis. El borde superior del cuerpo se engrosa y forma la cresta púbica.

Fémur: es el hueso más largo, pesado y potente del organismo. La talla de una persona equivale aproximadamente a cuatro veces la longitud del fémur. Se extiende desde la articulación de la cadera hasta la rodilla, en donde los cóndilos se articulan con

la tibia. Se compone de un cuerpo ó tallo y dos extremidades. El extremo proximal consta a su vez de cabeza, cuello, trocánter mayor y trocánter menor. El extremo distal se ensancha en los cóndilos medial y lateral, que se articulan con la tibia y la rótula, formando la articulación de la rodilla. El fémur es un hueso que está protegido por los músculos por lo que solo puede palparse en los extremos.

Rótula: es un hueso sesamoideo triangular cuyo vértice se dirige hacia abajo. Se encuentra incluido dentro del tendón del músculo cuádriceps femoral.

### **Articulación de la cadera o coxofemoral.**

Se trata de una enartrosis entre la cabeza del fémur y el acetábulo del hueso iliaco. La parte superior y ancha de la cara articular es la región que soporta el peso del cuerpo, es por eso que el ilion es el componente óseo del hueso iliaco encargado de esa función. El borde del acetábulo termina en la escotadura del acetábulo, sobre la que se extiende el ligamento transversal del acetábulo.

### **Movimientos de la articulación coxofemoral.**

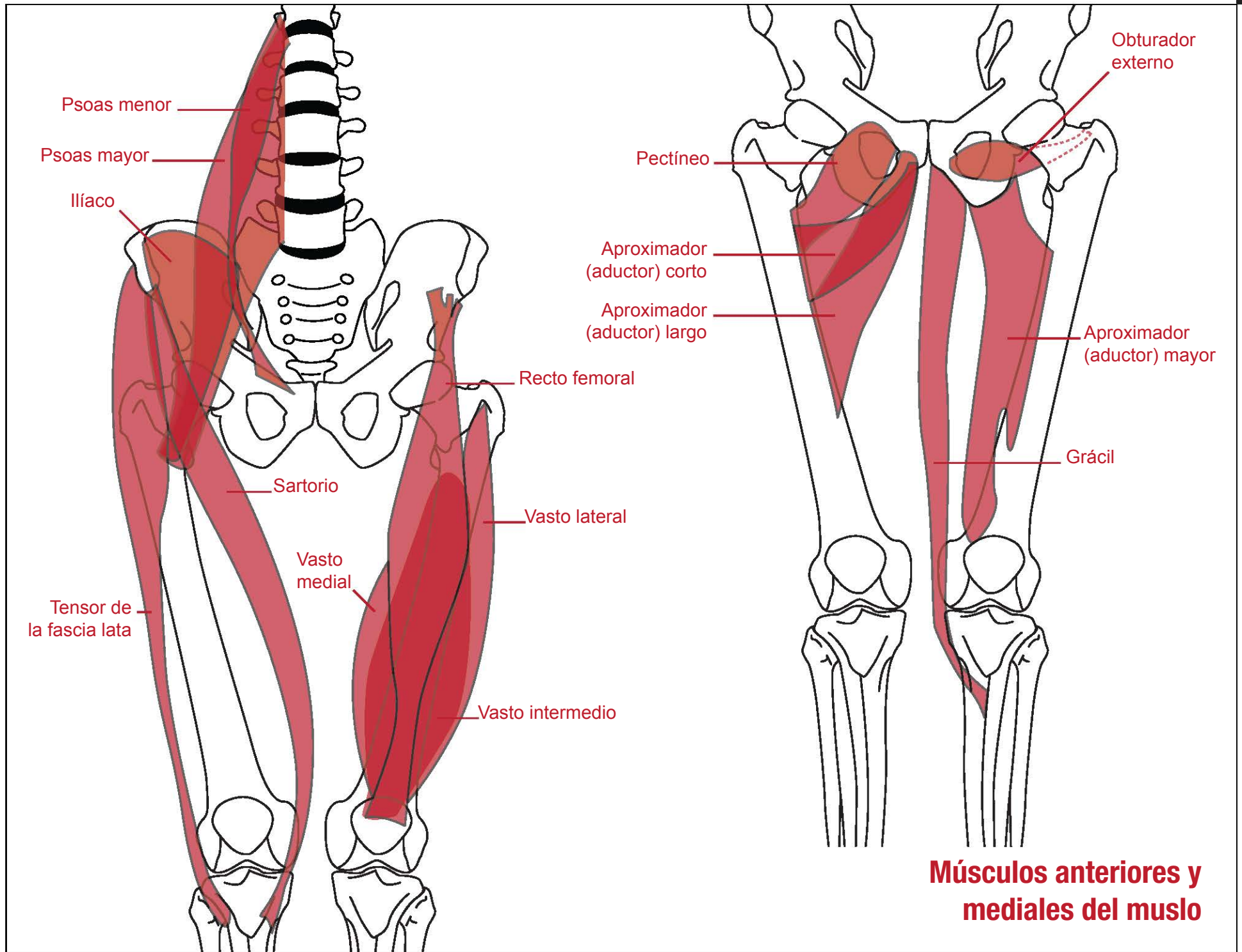
Sus movimientos son reducidos debido a que se necesita estabilidad y fortaleza en la articulación. Los movimientos que efectúa el muslo sobre la cadera comprenden: flexión - extensión, separación (abducción) - aproximación (aducción), rotación medial y lateral y circunducción.

### **Músculos del muslo.**

Están organizados en tres grupos: anterior, medial y posterior, de acuerdo con su localización, acción e inervación.

#### **Músculos anteriores del muslo:**

Iliopsoas: está formado por el psoas mayor y cuádriceps femoral. El músculo psoas mayor es largo y grueso y se dirige desde el abdomen hasta el muslo. Se inserta en las caras laterales de las vértebras 12 dorsal hasta la 5 lumbar y discos ventrales correspondientes y alcanza el trocánter menor del fémur en su inserción distal. El músculo ilíaco es de forma triangular en



forma de abanico, discurre a lo largo de la cara lateral del psoas mayor dentro de la pelvis, se inserta en la cresta ilíaca, fosa ilíaca, ala del sacro y ligamentos sacroilíacos anteriores, su inserción distal se hace en el tendón del músculo psoas mayor y cuerpo del fémur, por debajo del trocánter menor. El músculo iliopsoas se encarga de flexionar el muslo sobre la cadera, es el flexor más poderoso del muslo sobre la rodilla, contribuye al mantenimiento de la postura actuando en contra de la gravedad y manteniendo la erección al nivel de la cadera, también flexiona el tronco actuando sobre la porción inferior (como ocurre al levantarse de una silla).

**Tensor de la fascia lata:** se encuentra situado en la cara lateral del muslo, entre dos túnicas de la fascia lata, que forman su vaina muscular. La túnica profunda de esta vaina se une a la superficie anterior de la capsula de la rodilla. Su inserción proximal se encuentra en la espina iliaca anterosuperior y parte anterior del labio externo de la cresta iliaca, la inserción distal está ubicada en el ligamento iliotibial, que se inserta en el condilo lateral de la tibia. Se encarga de separar, rotar medialmente y flexionar el muslo, contribuye a extender la rodilla y endereza el tronco sobre el muslo. Tensa la fascia y aumenta la potencia de los músculos femorales.

**Sartorio:** es el músculo más largo del organismo y el más superficial del compartimiento anterior del muslo. Se inserta en la espina iliaca anterosuperior y parte superior de la escotadura situada por debajo, su inserción distal se encuentra en la parte superior de la tibia. Al agacharse, flexiona, separa y rota el muslo sobre la cadera al tiempo que flexiona la pierna al nivel de la rodilla. Cuando actúa desde la porción inferior, flexiona también el tronco sobre el muslo y rota el tronco hacia el lado contrario.

**Cuadríceps femoral:** es un músculo extensor de la pierna y es el mayor de todo el organismo. Cubre prácticamente toda la cara anterior y ambos lados del fémur. Se divide en cuatro componentes: recto femoral, vasto lateral, vasto medial y vasto intermedio. La inserción proximal del recto femoral está ubicada en la espina iliaca anteroinferior y surco situado por encima de acetábulo. El vasto lateral se inserta en el trocánter mayor y labio lateral de la línea áspera del fémur. El vasto medial tiene

su inserción proximal en la línea intertrocantera y labio medial de la línea áspera del fémur. El vasto intermedio se inserta en las caras anterior y lateral del cuerpo del fémur. La inserción distal se realiza en la base de la rótula y tuberosidad tibial, a través del ligamento rotuliano. Todos los componentes del cuádriceps, al fraccionar del ligamento rotuliano, extienden la pierna sobre la rodilla; el músculo recto femoral flexiona la cadera y contribuye a la flexión del muslo por parte del músculo iliopsoas. Los cuatro componentes musculares se utilizan en los ascensos, Carreras, saltos y también para levantarse de la silla.

### **Músculos mediales del muslo.**

Su principal acción consiste en la aproximación (aducción) del muslo.

**Pectíneo:** tiene forma cuadrangular y plana, forma parte del suelo del triangulo femoral. Se inserta en la cresta pectínea del pubis y alcanza la línea pectínea del fémur. Su función es aproximar y flexionar el muslo.

**Aproximador (aductor) largo:** tiene forma triangular y se encuentra situado en la parte más anterior del grupo de los aproximadores. Se inserta en el cuerpo del pubis, por debajo de la cresta púbica, su inserción distal está en el tercio medio de la línea áspera del fémur. Aproxima el músculo.

**Aproximador (aductor) corto:** se sitúa en la profundidad de los músculos pectíneo y aproximador largo y anterior al aproximador mayor. Se inserta en el cuerpo y ramo inferior del pubis, desde ahí alcanza la línea pectínea y parte proximal de la línea áspera del fémur. Tiene la función de aproximar al muslo y ayudar a flexionarlo.

**Aproximador (aductor) mayor:** es el más grande de este grupo, tiene forma triangular, está compuesto de una porción carnosa y otra tendinosa. Su inserción proximal se encuentra en el ramo inferior del pubis, ramo del isquion y tuberosidad isquiática, su inserción distal se encuentra en la tuberosidad glútea, línea áspera medial, línea supracondílea y tubérculo del aproximador del fémur. Funciona para aproximar el muslo, su porción carnosa lo flexiona y la porción tendinosa lo extiende.

**Grácil:** Tiene forma de cinta, discurre por la cara medial del muslo y de la rodilla. Es el más delgado del grupo de los aproximadores y también el más débil. Es el único que atraviesa la rodilla. Se inserta en el cuerpo y ramo inferior del pubis, la otra inserción se encuentra en la parte superior de la cara medial de la tibia. Tiene la función de aproximar el muslo, flexionar la pierna y la rotación medial.

**Obturador externo:** tiene forma de abanico y se sitúa en la profundidad de la cara superomedial del muslo. Su tendón atraviesa la cara posterior del cuello del fémur. Su inserción proximal se encuentra en los bordes del orificio obturador y membrana obturatriz, la inserción distal se realiza en la fosa trocéntrica del fémur. Se encarga de la rotación lateral del muslo; encaja la cabeza del fémur en el acetábulo.

**Anatomía del triángulo femoral:** cuando se flexiona activamente el muslo sobre la cadera, el triángulo femoral aparece como una depresión en la que se puede palpar y habitualmente ver el ligamento inguinal. El borde medial del músculo sartorio suele ser fácil de apreciar en la mayoría de las personas, pero el borde medial del aproximador largo no es tan fácil de identificar.

## Región glútea.

Se encuentra posterior a la pelvis y es la prominencia que forman a cada lado los músculos glúteos. El surco glúteo, localizado por debajo del pliegue glúteo, indica el borde inferior del músculo glúteo mayor. La porción superolateral está representada por el músculo glúteo medio.

## Músculos glúteos.

Están formados por el grupo de los glúteos (mayor menor y medio) que son los principales extensores y aproximadores del muslo sobre la cadera y un grupo de músculos más pequeños situados en la profundidad (piriforme, obturador interno, géminos y cuadrado femoral) que son los principales rotadores laterales del muslo sobre la cadera.

**Glúteo mayor:** es voluminoso y pesado, es uno de los

mayores músculos del organismo. Cuando se extiende forma un grueso cojinete cuadrilátero sobre la tuberosidad isquiática. Al flexionar el muslo, el borde distal del glúteo mayor se desplaza hacia arriba, quedando la tuberosidad isquiática en un plano subcutáneo. Su inserción proximal está ubicada en la cara externa del ala ilíaca, la inserción distal termina en su mayoría en el ligamento ilirotibial, que se inserta en el cóndilo lateral de la tibia, algunas fibras se insertan en la tuberosidad glútea del fémur. Tiene la función de extender el muslo, es su principal extensor y colabora en su rotación lateral; también endereza el muslo y ayuda a levantar el tronco desde una posición flexionada. Se encuentra relajado en posiciones de reposo y actúa cuando se requiere fuerza como al correr.

**Glúteo medio:** su mayor parte se encuentra en la profundidad del glúteo mayor sobre la cara externa del ilion. Se inserta en la cara externa del ilion entre las líneas glútea anterior y posterior, su inserción distal se encuentra en la cara lateral del trocánter mayor del fémur. Constituye un potente separador de la cadera e interviene en la locomoción, siendo el principal responsable de la oscilación de la pelvis.

**Glúteo menor:** es el más pequeño de todos los músculos glúteos, se sitúa en la profundidad del glúteo medio. Su inserción proximal se encuentra en la cara externa del ilion entre las líneas glútea anterior y exterior, la inserción distal se realiza en la cara anterior del trocánter mayor del fémur. Durante la locomoción sus funciones son similares a las del glúteo medio. Al levantarse sobre un solo pie, los músculos glúteo menor y medio evitan que el muslo se separe.

**Piriforme:** se sitúa en la pared posterior de la pelvis menor y en parte por detrás de la cadera. Abandona la pelvis a través del orificio ciático mayor y se dirige hacia su inserción distal en el trocánter mayor del fémur, la inserción proximal se encuentra en la cara anterior del sacro y ligamento sacrotuberoso.

**Obturador interno:** tiene forma de abanico y se localiza en parte dentro de la pelvis en donde cubre la mayor parte de la pared lateral de la pelvis menor. Se inserta en la cara pélvica de la membrana obturatriz y huesos circundantes. Abandona la pelvis a

través del orificio ciático menor y se dirige a su inserción distal en el trocánter mayor del fémur.

**Géminos superior e inferior:** representan unas porciones triangulares estrechas del obturador interno que se encuentran fuera de la pelvis. Se originan en la espina ciática y en la tuberosidad isquiática respectivamente, su inserción distal se encuentra en la cara medial del trocánter mayor del fémur. Estos músculos junto con el obturador interno y el piriforme, se encargan de rotar lateralmente el muslo extendido y lo separan cuando esta flexionado, también encajan la cabeza del fémur en el acetábulo.

**Cuadrado femoral:** se sitúa inferior a los músculos obturador interno y géminos. Se inserta en el borde lateral de la tuberosidad isquiática, su inserción distal se realiza en la cresta intertrocantérica del fémur y por debajo de ella.

### **Músculos femorales posteriores.**

En la cara posterior del muslo se encuentran tres grandes masas musculares: semitendinosa, semimembranosa y bíceps femoral. Se contraen cuando se flexiona la pierna contra la oposición del explorador. Poseen una inserción proximal común en la tuberosidad isquiática, en la profundidad del glúteo mayor, el bíceps femoral tiene otra inserción adicional en el labio lateral de la línea áspera y línea supracondílea lateral. Se encuentran comprendidos entre la cadera y la rodilla, es por eso que extienden el muslo y flexionan la pierna. Estos músculos descienden por la parte posterior del muslo y los tendones pueden ser vistos por detrás de la rodilla, forman la fosa poplítea.

**Semitendinoso:** la mitad de este músculo es tendinosa, su tendón comienza aproximadamente en los dos tercios inferiores del muslo. Su inserción distal se ubica en la cara medial de la parte superior de la tibia.

**Semimembranoso:** se compone de una mitad membranosa, se sitúa en la profundidad del músculo semitendinoso. Su inserción distal está en la parte superior del cóndilo medial de la tibia. Junto con el músculo semitendinoso, tienen la función de extender y rotar medialmente el muslo así como también flexionar la pierna,

extienden el tronco con el muslo y la pierna flexionada.

**Bíceps femoral:** tiene dos cabezas, una larga y otra corta. Su inserción distal se hace en la cara lateral de la cabeza del peroné. Su función es rotar lateralmente la pierna y flexionarla, también extiende el muslo como cuando se empieza a caminar.

### **La pierna.**

#### **Estructuras óseas del pie.**

Es la parte más baja del miembro inferior y se encuentra situada entre la rodilla y el tobillo. Los huesos de la pierna son la tibia y el peroné. La tibia soporta la mayor parte del peso corporal y se articula con los cóndilos de fémur por arriba y con el astrágalo por abajo. El peroné sirve fundamentalmente de inserción a distintos músculos, también aporta estabilidad a la articulación del tobillo. Los cuerpos de la tibia y el peroné están comunicados por una membrana interósea.

Los huesos del tobillo y el pie están compuestos por el tarso, metatarso y las falanges. El tarso se compone de siete huesos: astrágalo, calcáneo, cuboides, escafoides, y las tres cuñas. Únicamente el astrágalo se articula con los huesos de la pierna.

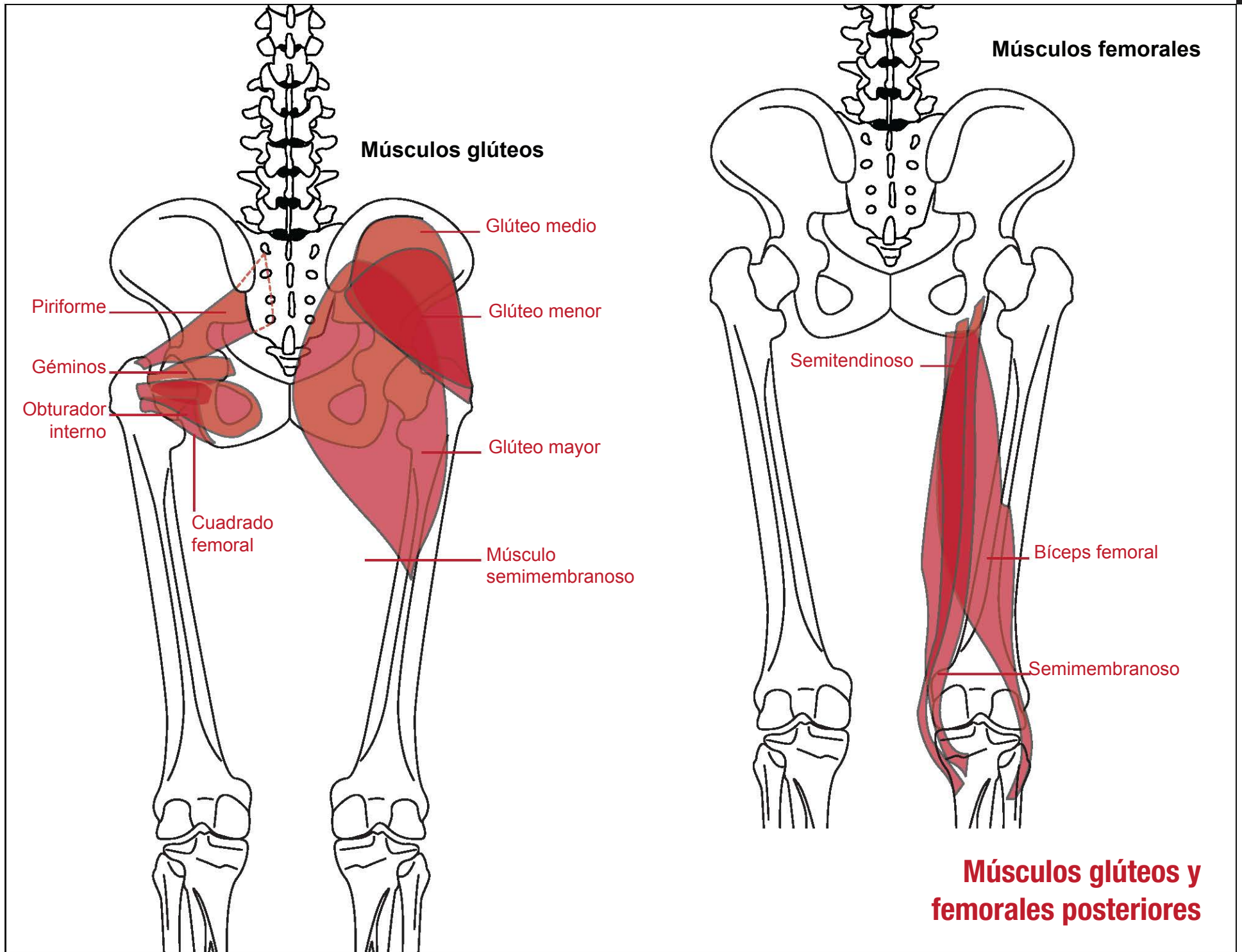
**Astrágalo:** se compone de cuerpo, cuello y cabeza. Se apoya en los dos tercios anteriores del calcáneo y se articula también con la tibia, peroné y escafoides. La cara superior del astrágalo soporta todo el peso del cuerpo que es transmitido desde la tibia.

**Calcáneo:** es el hueso más grande y robusto del pie, también es el primero en osificarse. Se articula por arriba con el astrágalo y por delante con el cuboides. Al encontrarse por debajo del astrágalo, dispone de varias caras articulares en su parte superior. La superficie lateral posee una cresta oblicua que se denomina tróclea peroneal, por debajo de esta cresta pasa el tendón del músculo peroneo largo.

**Escafoides:** está situado entre la cabeza del astrágalo y las tres cuñas. Posee caras articulares para los huesos mencionados. En la cara medial inferior se encuentra un tubérculo rugoso en el que se inserta el tendón del músculo tibial posterior.

**Cuboides:** tiene una cara posterior que se articula con el calcáneo y dos anteriores que lo hacen con el cuarto y quinto





metatarsiano. En la superficie medial dispone de unas caras articulares para los huesos cuneiforme y escafoides. Por delante del tubérculo del cuboides y en la cara lateral e inferior existe un surco para el tendón del músculo peroneo largo.

**Cuñas:** son tres huesos que se conocen como cuña medial, intermedia y lateral. Cada una se articula por detrás con el escafoides y por delante con la base del correspondiente metatarsiano. La cuña lateral se articula con el cuboides.

**Metatarso:** esta integrado de 5 huesos metatarsianos, estos huesos constan de base, cuerpo y cabeza. Las bases de los metatarsianos se articulan con las cuñas y el hueso cuboides y las cabezas con las falanges proximales. El II hueso metatarsiano se encuentra atrapado en forma de cuña entre las cuñas medial y lateral y entre el I y III metatarsiano. En la cara plantar de la cabeza del I metatarsiano se encuentran unos prominentes huesos sesamoideos. Las cabezas de los metatarsianos soportan parte del peso corporal. La base del V metatarsiano dispone de un tubérculo que se proyecta sobre el borde lateral del hueso cuboides. El tubérculo del V metatarsiano representa el lugar de inserción sobre su cara dorsal del tendón del músculo peroneo corto.

**Falanges:** el primer dedo tiene dos falanges robustas (proximal y distal) mientras que los dedos restantes tienen tres falanges cada uno. Cada falange se compone de una base, cuerpo y cabeza.

### **Articulaciones de la pierna y del pie.**

**Articulación de la rodilla:** es una trocleartrosis ó en bisagra que permiten cierto grado de rotación. Su estructura es compleja ya que se compone de tres articulaciones: una intermedia entre la rótula y el fémur y otras dos, lateral y medial, entre los cóndilos femorales y tibiales. Las caras articulares se corresponden con los grandes cóndilos curvos del fémur, los cóndilos aplanados de la tibia y las caras articulares de la rótula. Es una articulación bastante débil desde el punto de vista mecánico por la estructura de sus caras articulares y depende del refuerzo ligamentario que une el fémur con la tibia. Las caras superiores de los dos cóndilos

tibiales se articulan con los correspondientes cóndilos femorales.

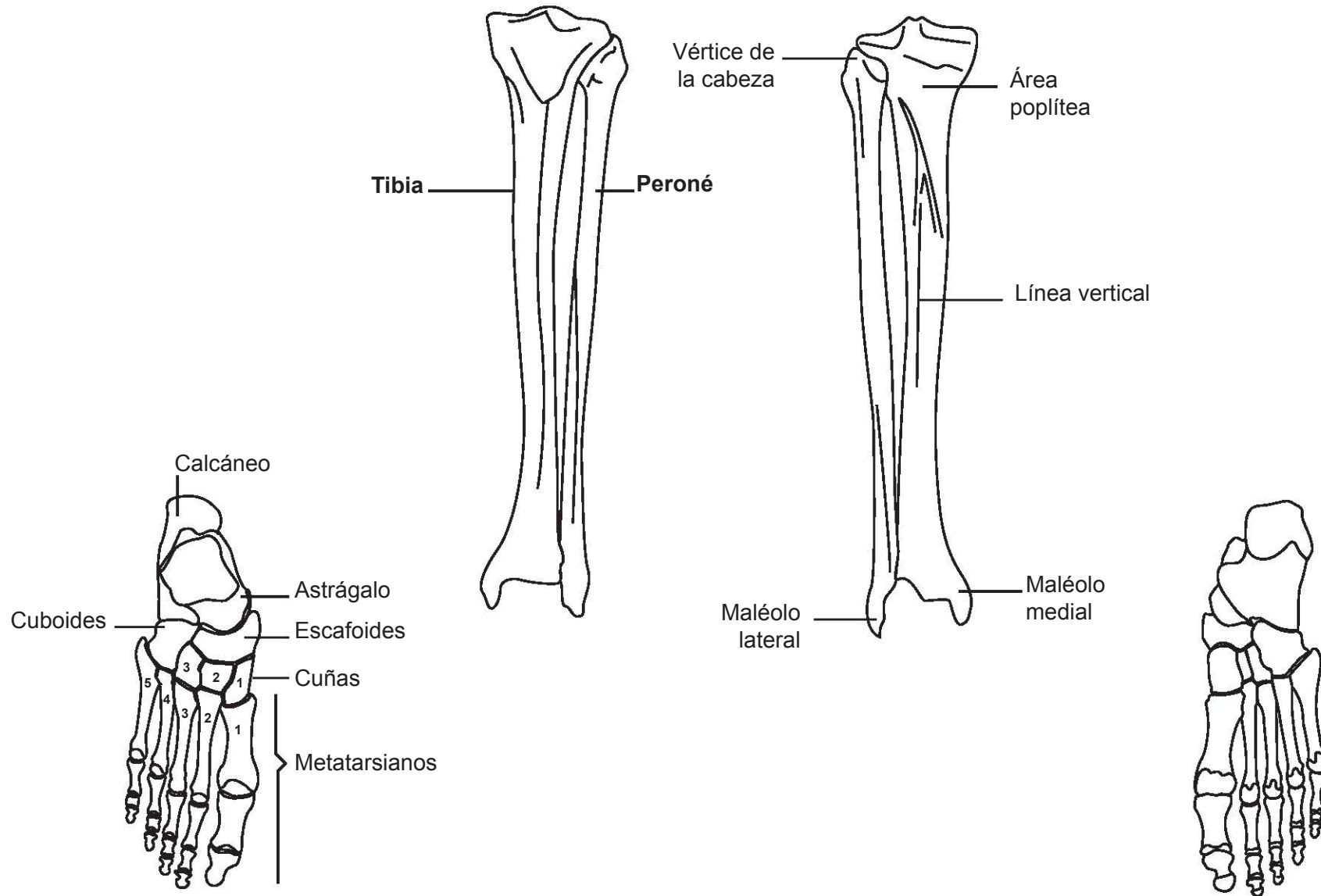
Los principales movimientos de esta articulación consisten en la flexión y extensión de la pierna, aunque también se observa cierto grado de rotación con la rodilla flexionada. La flexión y la extensión de la rodilla son movimientos absolutamente libres, la flexión normalmente se detiene cuando la pantorrilla entra en contacto con el muslo. La extensión de la pierna es detenida por los ligamentos de la rodilla. Cuando la rodilla se extiende completamente, la piel de la rótula se vuelve laxa y resulta fácil de pellizcar, facilitando la flexión. Esta laxitud cutánea desaparece al reflexionar la pierna. Cuando la pierna se encuentra totalmente extendida, la rodilla “se encaja” como consecuencia de la rotación medial del fémur sobre la tibia. Para “desencajar” la rodilla, es necesario que se contraiga el músculo poplíteo, que rota lateralmente el fémur y permite la flexión de la rodilla.

**Articulaciones tibioperoneas:** la tibia y el peroné se articulan en sus extremos proximal y distal. El movimiento de la articulación tibioperonea proximal es imposible si no ocurre el movimiento de la distal. La articulación tibioperonea proximal (superior), del es una anfiartrosis entre la cabeza del peroné y el cóndilo lateral de la tibia. La cara plana, ovalada o circular, de la cabeza del peroné se articula con otra cara articular, que se encuentra en un plano posterolateral bajo el cóndilo lateral de la tibia. Esta articulación se puede mover ligeramente durante la dorsiflexión del pie sobre el tobillo, durante este movimiento se comprime del maléolo lateral hacia afuera y se desplaza el cuerpo y la cabeza del peroné. La articulación tibioperonea distal (inferior) es una articulación fibrosa de tipo sindésmosis y que se localiza entre los extremos inferiores de la tibia y el peroné. En el área articular de la cara medial del extremo inferior del peroné se articula con una cara situada en la extremidad inferior de la tibia. Sus movimientos permiten la acomodación del astrágalo durante la dorsiflexión del pie sobre el tobillo.

**Articulación del tobillo:** se trata de una trócleartrosis situada entre los extremos inferiores de la tibia y el peroné y la parte superior del astrágalo. Se palpaba entre los tendones de la cara anterior como una depresión. Los extremos inferiores de la tibia

## VISTA ANTERIOR

## VISTA POSTERIOR



**Huesos de la pierna y del pie**

y del peroné crean una cavidad profunda sobre la que se encaja la tróclea del astrágalo, dicha cavidad está formada por los dos maléolos y la extremidad inferior de la tibia. El peroné tiene una cara articular en su maléolo lateral, que se dirigen sentido medial y se articula con la cara lateral del astrágalo. La articulación del tobillo es monoaxial y sus movimientos principales consisten en la flexión dorsal y plantar del pie. Cuando se realiza la flexión plantar del pie, también se puede producir cierta rotación, separación y aproximación del tobillo. Durante la flexión dorsal, la tróclea del astrágalo se desplaza posteriormente hacia la cavidad y los maléolos son separados, puesto que la cara articular superior del astrágalo es más ancha por delante que por detrás.

### **Articulaciones del pie.**

El pie contiene múltiples articulaciones entre los huesos del tarso, metatarso y falanges, las articulaciones del tarso más importantes son la subtalar, la astrágalo-calcáneo-escafoidea y la calcáneo-cuboidea. Las demás articulaciones son bastante pequeñas y se encuentran tan reforzadas por los ligamentos que apenas tienen ningún grado de movilidad. Todos los huesos del pie están unidos por ligamentos dorsales y plantares.

Articulación subtalar: se encuentra distal al tobillo, ocurre en el lugar donde el astrágalo se apoya y se une al calcáneo. Es de tipo sinovial y tiene lugar entre la cara inferior del cuerpo del astrágalo y la cara superior del calcáneo. Sus principales movimientos consisten en la inversión y eversión del pie, permite un ligero desplazamiento y rotación que ayudan a la inversión y eversión de la parte posterior del pie.

Articulación astrágalo-calcáneo-escafoidea: está situada en el punto de unión de la cabeza del astrágalo con la cavidad formada por la cara posterior del escafoide, la cara superior del ligamento calcáneo-escafoideo plantar, la apófisis menor del calcáneo y la cara articular de este hueso. Es una enartrosis, en donde el elemento esférico es la cabeza del astrágalo y la cavidad está formada por dos huesos y dos ligamentos.

Articulación calcáneo-cuboidea: es una articulación sinovial que une la cara anterior del calcáneo con la cara posterior del cuboides.

Articulación transversa del tarso: la Articulación astrágalo-calcáneo-escafoidea y la articulación calcáneo-cuboidea están separadas entre sí, pero forman entre ambas la articulación transversa del tarso, sus movimientos provocan la inversión y eversión del pie.

### **Articulaciones tarsometatarsianas.**

Son anfiartrosis que solo permiten movimientos discretos de desplazamiento. Los cuatro huesos anteriores del tarso se articulan con las bases de los metatarsianos. Los metatarsianos se hayan unidos a los huesos del tarso por ligamentos dorsales, plantares e interóseos. Existen tres cavidades articulares diferentes:

Articulación tarsometatarsiana medial: tiene lugar entre la cuña medial y la base del primer metatarsiano y muestra un mayor grado de movilidad que las dos restantes.

Articulación tarsometatarsiana intermedia: ocurre entre las tres cuñas del pie y el segundo y tercer metatarsiano.

Articulación tarsometatarsiana lateral: se produce entre el cuboides y el cuarto y quinto metatarsianos. Su movilidad es mayor que la de la articulación intermedia, pero menor que la de la medial.

### **Articulaciones intermetatarsianas**

Son anfiartrosis entre las bases de los metatarsianos que permiten mínimos movimientos de deslizamiento.

### **Articulaciones metatarsofalángicas (abducción).**

Son articulaciones entre las cabezas de los metatarsianos y las bases de las falanges proximales que se ajustan al tipo de cóndiloartrosis. Tiene movimientos de flexión, extensión, en cierta medida, separación (abducción) - aproximación (aducción) y circunducción. Las caras articulares se adaptan a las caras dorsal y plantar de los huesos metatarsianos. Las caras articulares de la primera articulación metatarsofalángica son especialmente grandes y permiten la dorsiflexión del dedo gordo al caminar.

### Articulaciones interfalángicas.

Están situadas entre la cabeza de una falange y la base de la falange distal. Son trócleartrosis que permiten únicamente la flexión y extensión. Los cuatro últimos dedos se encuentran flexionados parcialmente a nivel de las articulaciones interfalángicas en todo momento, en la mayoría personas.

### Arcos del pie.

Los huesos del pie están dispuestos en dos arcos, longitudinal y transversal, destinados a absorber los choques y a soportar e impulsar el peso del cuerpo durante los movimientos. El diseño del pie facilita su adaptación a los cambios de superficie y de peso.

### Sistema muscular de la pierna.

El retináculo superior de los músculos extensores es una robusta banda ancha de la fascia profunda que discurre desde el peroné a la tibia y protege a los tendones de los músculos del compartimiento crural anterior, evitando que se arqueen hacia delante durante la dorsiflexión del tobillo.

El retináculo inferior de los músculos extensores es una banda de la fascia profunda que tiene forma de Y, se inserta lateralmente en la cara anterosuperior del calcáneo y forma una potente asa que rodea los tendones de los músculos tercer peroneo y extensor largo de los dedos.

La tibia y el peroné, la membrana interósea y los tabiques intermusculares crurales dividen a la pierna en tres compartimientos crurales: anterior (extensor), lateral (peroneal) y posterior (flexor).

La porción lateral de la pierna contiene los compartimientos crurales anterior y lateral, que están separados por el tabique intermuscular crural anterior. Los músculos del compartimiento crural lateral son separados de los del compartimiento posterior por el tabique intermuscular crural posterior. El compartimiento posterior de la pierna se divide a su vez por un ancho tabique intermuscular en un compartimiento crural posterior superficial y otro profundo.

### Compartimiento anterior de la pierna.

El compartimiento extensor, situado por delante de la membrana interósea, está limitado por la cara lateral de la tibia y el tabique intermuscular crural anterior. Los cuatro músculos de este compartimiento son extensores (dorsiflexores). Se ocupan principalmente de la dorsiflexión del tobillo y de la extensión de los dedos del pie.

Tibial anterior: se apoya en la cara lateral de la tibia. Se inserta en el cóndilo lateral y mitad superior de la cara lateral de la tibia, su inserción distal se encuentra en la cara medial e inferior de la cuna medial y base del primer metatarsiano. Tiene la función de dorsiflexión e inversión del pie.

Extensor largo del dedo gordo: se encuentra situado entre y en parte, en la profundidad de los músculos tibial anterior y extensor largo de los dedos. Su inserción proximal se realiza en la parte media de la cara anterior del peroné y membrana interósea, la inserción distal se encuentra en la cara dorsal de la base de la falange distal del dedo gordo. Su función consiste en la extensión del dedo gordo y la dorsiflexión del pie.

Extensor largo de los dedos: se sitúa lateral al músculo tibial anterior, sus tendones se ven al hacer una dorsiflexión de los dedos del pie. Su inserción proximal está ubicada en el cóndilo lateral de la tibia, tres cuartas partes superiores de la cara anterior del peroné y la membrana interósea, la inserción distal está en las falanges media y distal de los cuatro últimos dedos. Sus acciones son la extensión de los últimos cuatro dedos y dorsiflexión del pie.

Tercer peroneo: se encuentra parcialmente separado del músculo extensor largo de los dedos. Los dos músculos se unen en sus inserciones proximales, pero el tendón del tercer peroneo no se inserta distalmente en ninguna falange. Se inserta en el tercio inferior de la cara anterior del peroné y membrana interósea, su inserción distal se realiza en el dorso de la base del V metatarsiano. Tiene la función de la dorsiflexión del pie y colabora con la eversión.

### Compartimiento lateral de la pierna.

Está limitado por la cara lateral del peroné, los tabiques intermusculares crurales anterior y posterior y la fascia crural.

**Peroneo largo:** se origina en un punto bastante alto, sobre el cuerpo del peroné. Se extiende desde la cabeza del peroné hasta la planta del pie. Su tendón se palpa y se puede ver proximal y posterior al maleolo lateral. Se inserta en la cabeza y dos tercios superiores de la cara lateral del peroné, su inserción distal se encuentra en la base del I metatarsiano y cuna medial. Al levantarse sobre uno de los pies, el músculo peroneo largo endereza la pierna sobre el pie.

**Peroneo breve:** se sitúa en la profundidad del peroneo largo. Se inserta en los dos tercios inferiores de la cara lateral del peroné, la inserción distal se encuentra en la cara dorsolateral del tubérculo de la base del V metatarsiano. Estos músculos funcionan para la eversión y flexión plantar débil del pie.

### Compartimiento posterior de la pierna.

Se sitúa posterior a la tibia, membrana interósea, peroné y tabique intermuscular crural posterior de la zona medial a lateral. El tabique intermuscular crural transverso divide a los músculos de esta región en los grupos superficial y profundo.

#### Grupo superficial.

**Gastrocnemio:** es el músculo más superficial del compartimiento posterior, que determina la mayor parte de la prominencia de la pantorrilla. Tiene dos cabezas y está situado entre dos articulaciones. Ambas cabezas entran unidas en el hueso poplíteo dando lugar a los límites inferolateral e inferomedial de esta fosa. Su cabeza lateral se inserta en la cara lateral del cóndilo lateral del fémur, la cabeza medial lo hace en la cara poplíteo del fémur por encima del cóndilo medial. Tiene la función de la flexión plantar del pie, la elevación del talón al caminar y la flexión rodilla. Las fibras musculares siguen un trayecto vertical por lo que la contracción muscular causa un movimiento rápido durante los saltos y carreras. Ayuda a enderezar la pierna por lo que trabaja al caminar, incluso

relajadamente. Al ponerse de puntillas o utilizar tacones altos el trabajo muscular se acentúa.

**Sóleo:** se sitúa en la profundidad del músculo gastrocnemio y puede palparse a cada lado, por debajo del centro de la pantorrilla, cuando el sujeto se pone en puntillas. Se inserta en la cara posterior de la cabeza del peroné, parte superior de la cara posterior del peroné y borde medial de la tibia. Tiene la función de la flexión plantar del pie y enderezamiento de la pierna sobre el pie, impidiendo, por ejemplo, que el cuerpo se caiga hacia adelante al levantarlo.

**Plantar:** es un pequeño músculo que tiene un tamaño y extensión variable y que puede estar ausente en algunas personas o duplicarse en otras. Se inserta en el extremo inferior de la línea supracondílea lateral del fémur y ligamento poplíteo oblicuo.

La inserción distal de estos músculos se ubica en la cara posterior del calcáneo a través del tendón calcáneo.

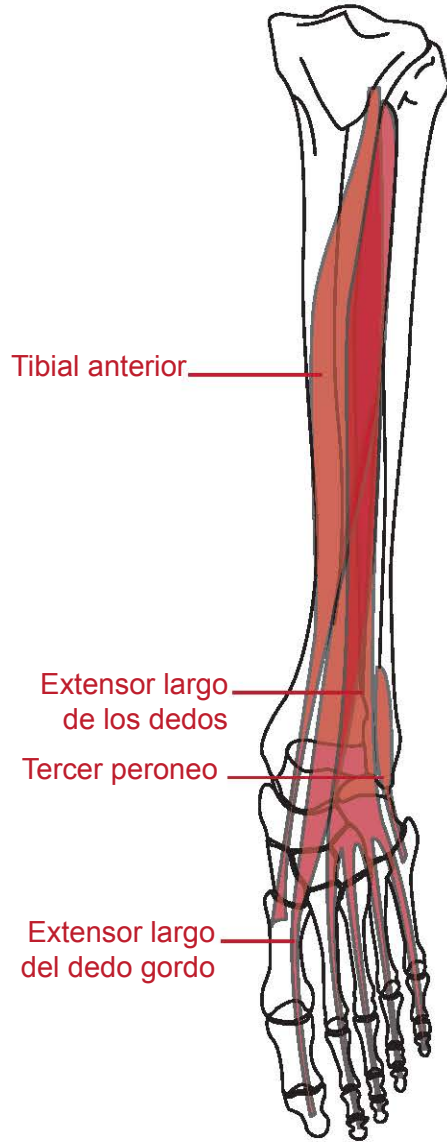
#### Grupo profundo.

**Poplíteo:** este músculo forma la porción inferior del hueso poplíteo. Se inserta en la cara lateral del cóndilo lateral del fémur y menisco lateral, su inserción distal se ubica en la cara posterior de la tibia por encima de la línea de músculo sóleo. Flexiona débilmente la rodilla y la desbloquea.

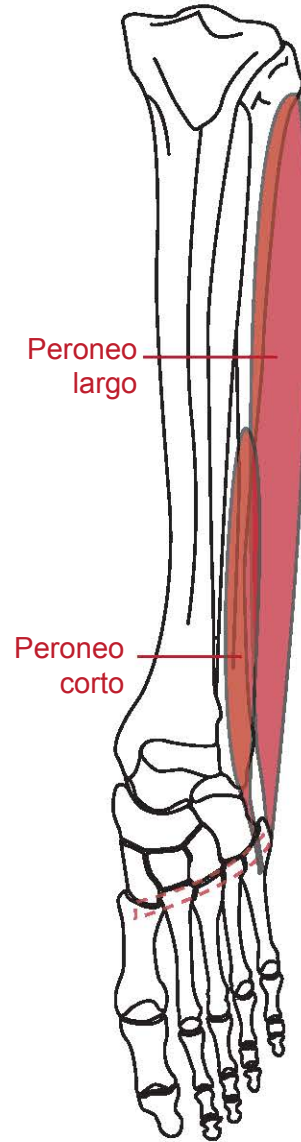
**Flexor largo del dedo gordo:** es el más voluminoso de los músculos profundos, se sitúa en la cara lateral, muy próximo al peroné. Se inserta en los dos tercios inferiores de la cara posterior del peroné y parte inferior de la membrana interósea, su inserción distal se realiza en la base de la falange distal del dedo gordo. Tiene la función de flexionar el dedo gordo en todas las articulaciones y contribuye a la flexión plantar del pie; soporta el arco longitudinal del pie. A su paso por el dedo gordo, el tendón discurre entre los dos huesos sesamoideos hasta llegar a los tendones del músculo flexor corto del dedo gordo. Levanta la punta del pie al caminar, correr y saltar.

**Flexor largo de los dedos:** se sitúa en la cara medial muy próximo a la tibia. Es más pequeño que el flexor del dedo gordo. Se inserta en la parte medial de la cara posterior de la tibia, su

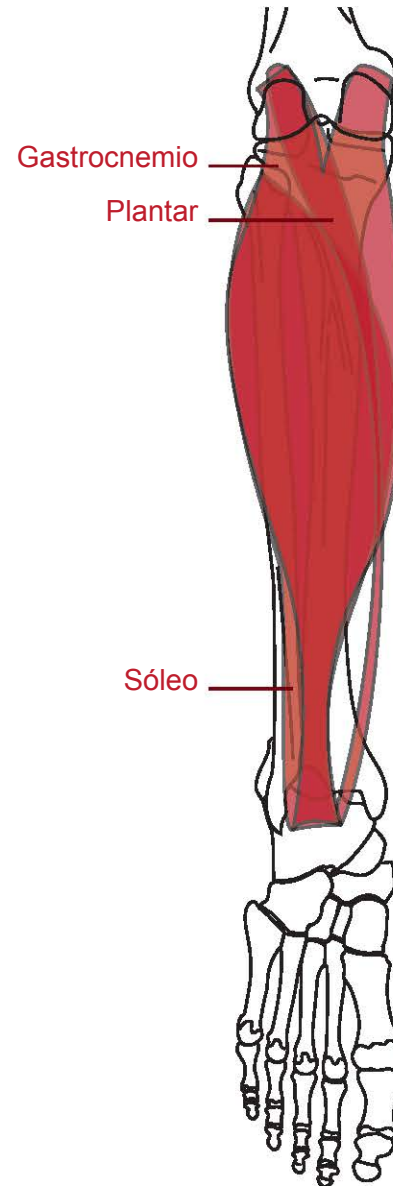
**Compartimiento anterior**



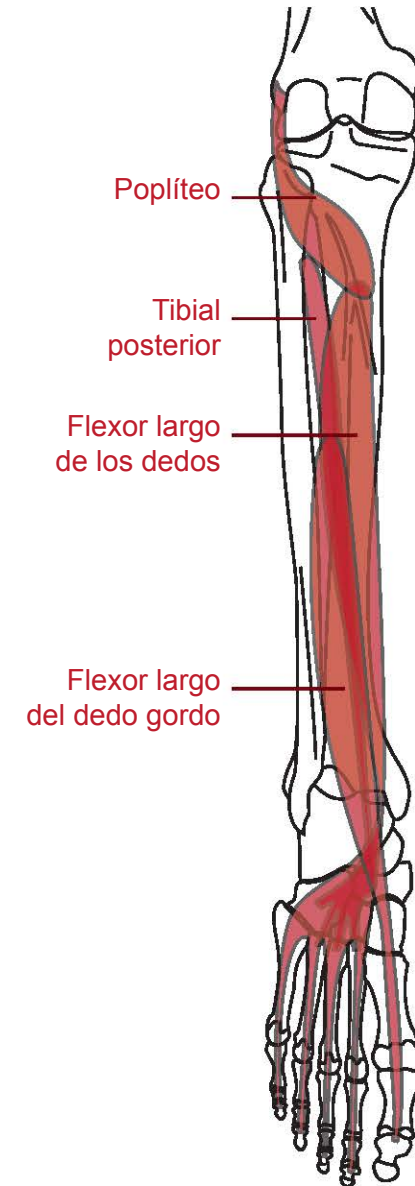
**Compartimiento lateral**



**Compartimiento posterior superficial**



**Compartimiento posterior profundo**



**Músculos de la pierna**

inserción distal se realiza en las bases de las falanges distales de los últimos cuatro dedos. Tiene la función de flexionar los últimos cuatro dedos del pie y la flexión plantar del pie; soporta el arco longitudinal del pie.

Tibial posterior: es el más profundo del compartimiento crural posterior. Está comprendido entre los músculos flexor largo de los dedos y flexor largo del dedo gordo, en el mismo plano que la tibia y el peroné. El tendón de este músculo se puede ver y palpar por detrás del maléolo medial, sobre todo cuando se invierte el pie poniendo resistencia. Se inserta en la membrana interósea, cara posterior de la tibia por debajo de la línea del músculo sóleo y cara posterior del peroné, su inserción distal se encuentra en el tubérculo del escafoides, cuñas y cuboides y bases del II, III y IV metatarsianos. Tiene la función de la flexión plantar del pie e inversión del pie.

## El pie.

Es la parte del miembro inferior distal al tobillo que se ocupa fundamentalmente del soporte y de la locomoción del cuerpo.

La aponeurosis plantar está formada por la porción central de la fascia plantar la cual es muy gruesa. Da soporte y consolida los arcos longitudinales y las distintas partes del pie. Se origina en la cara posterior en la tuberosidad del calcáneo y se extiende en abanico por toda la planta.

## Músculos del pie.

### Músculos del dorso del pie.

Extensor corto de los dedos y extensor corto del dedo gordo: crean una masa carnosa en la porción lateral del dorso del pie, por delante del maléolo lateral que se puede ver en la mayoría de los casos. Ambos músculos se insertan en la parte anterior de la cara dorsal del calcáneo y en el retináculo inferior de los músculos extensores, sus inserciones distales se encuentran en la base de la falange proximal del dedo gordo y en el borde lateral de los tendones correspondientes al segundo, tercer y cuarto dedo. Las acciones son extender del segundo al cuarto dedo y extender el primer dedo a nivel de la articulación metatarsofalángica.

## Músculos de la planta del pie.

En la planta del pie existen cuatro planos musculares. Estos músculos se especializan en mantener los arcos del pie y permiten conservar la erección en los suelos irregulares. Estos músculos no tienen importancia de forma aislada ya que el control fino de cada uno de los dedos del pie no es muy importante en la mayoría de los casos.

**Primer plano de los músculos plantares**: actúan como un grupo funcional que actúa como muelle elástico soportando los arcos del pie y manteniendo su concavidad.

Separador (abductor) corto del dedo gordo: se inserta en la cara medial de la tuberosidad calcánea, retináculo de los músculos flexores y aponeurosis plantar, su inserción distal se encuentra en la cara medial de la base proximal del dedo gordo. Tiene la función de separar y flexionar el dedo gordo.

Flexor corto de los dedos: su inserción proximal se realiza en el tubérculo medial del calcáneo, aponeurosis plantar y tabiques intermusculares, su inserción distal se encuentra en ambos lados de las falanges medias de los últimos cuatro dedos. Flexiona los cuatro últimos dedos.

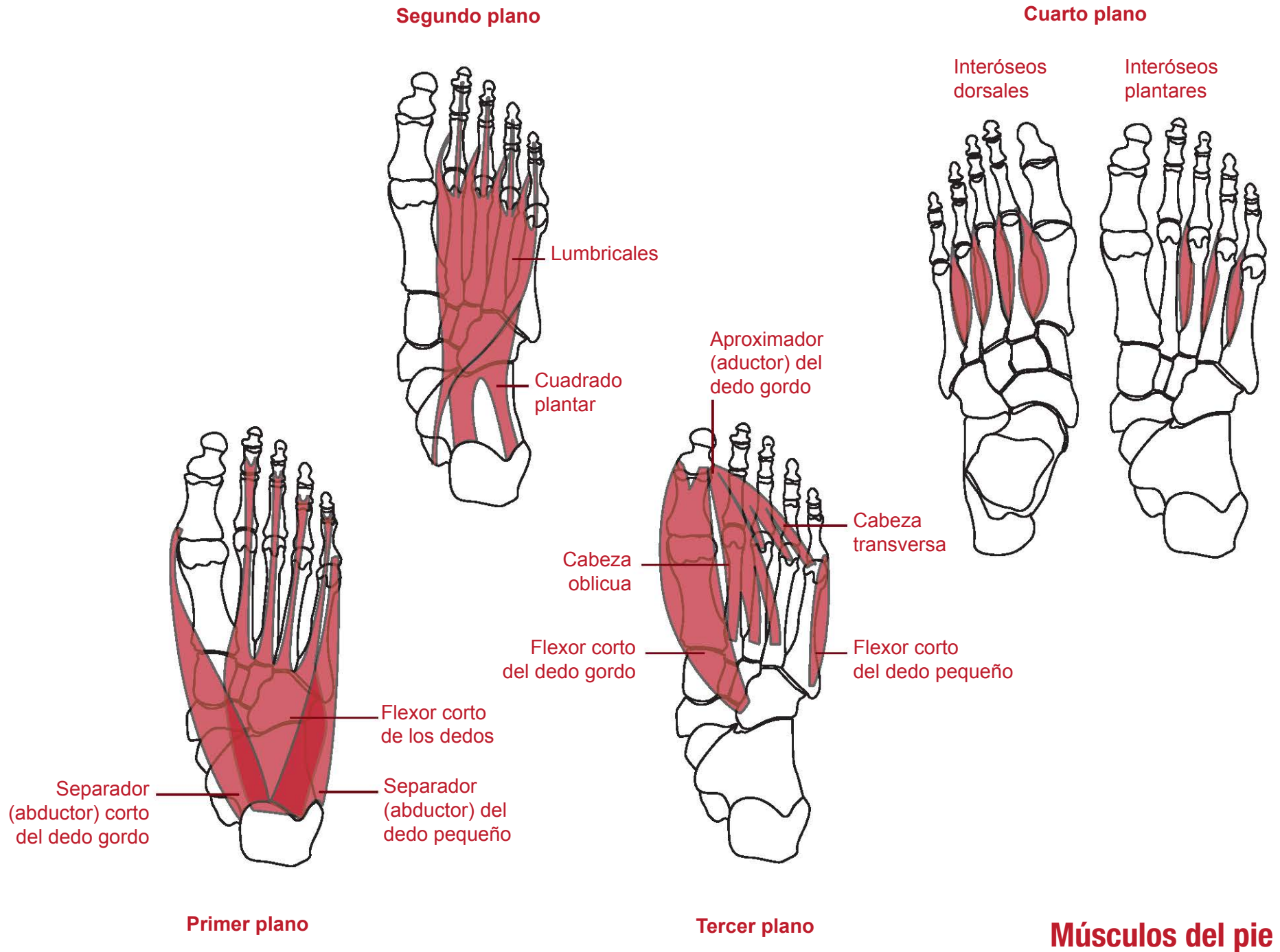
Separador (abductor) del dedo pequeño: se inserta en el tubérculo medial y lateral del calcáneo, aponeurosis plantar y tabiques intermusculares, su inserción distal se ubica en la cara lateral de la base de la falange proximal del quinto dedo. Separa y flexiona el dedo pequeño.

### Segundo plano de los músculos plantares:

Cuadrado plantar: se inserta en la cara medial y borde lateral de la cara plantar del calcáneo, su inserción distal se realiza en el borde posterolateral del tendón del músculo flexor largo de los dedos. Ayuda al músculo flexor largo de los dedos a flexionar los últimos cuatro dedos.

Lumbricales: se insertan en los tendones del músculo flexor largo de los dedos y desde ahí alcanzan las caras mediales de las falanges proximales de los últimos cuatro dedos y prolongaciones extensoras de los tendones del flexor largo de los dedos. Flexionan las falanges proximales y extienden las falanges media y distal de los últimos cuatro dedos.





**Tercer plano de los músculos plantares:**

Flexor corto del dedo gordo: se inserta en las caras plantares del cuboides y cuñas laterales, su inserción distal se realiza en ambos lados de la falange proximal del dedo gordo. Flexiona la falange proximal del dedo gordo.

Aproximador (aductor) del dedo gordo: su cabeza oblicua se inserta en las bases del II al IV metatarsianos, su cabeza transversa lo hace en el ligamento plantar de las articulaciones metatarsofalángicas, su inserción distal está en la cara lateral de la base de la falange proximal del dedo gordo. Aproxima al dedo gordo y contribuye a mantener el arco transversal del pie.

Flexor corto del dedo pequeño: se inserta en la base del V metatarsiano, su inserción distal se realiza en la falange proximal del dedo pequeño. Flexiona la falange proximal del quinto dedo y contribuye a su flexión global.

**Cuarto plano de los músculos plantares:**

Interóseos: esos músculos ocupan el espacio intermetatarsiano entre los huesos metatarsianos, se dividen en dorsales y plantares siendo los dorsales mayores que los plantares. Los interóseos plantares son tres y se insertan en las bases y caras mediales del III-V metatarsianos, su inserción distal se realiza en las caras mediales de las bases de las falanges proximales del tercer al quinto dedo y sirven para la aproximación del segundo al cuarto dedo y la flexión de las articulaciones metatarsofalángicas. Los interóseos dorsales son cuatro y se insertan en las caras adyacentes del I al V metatarsiano, su inserción distal se encuentra, del primero en la cara medial de la falange proximal del segundo dedo, del segundo al cuarto, en las caras laterales del segundo al cuarto dedo. Separan del segundo al cuarto dedo y flexionan las articulaciones metatarsofalángicas.

# CAPÍTULO 3

## Modelado 3D

### con base en una estructura anatómica.

### 3.1 Modelado poligonal.

El proceso de modelado es repetitivo. No existe un método definitivo para modelar, cada autor tiene su proceso particular, algunos como Peter Ratner<sup>1</sup> ó Erick Miller<sup>2</sup> optan por comenzar el modelado con una figura geométrica primitiva (ya sea un cubo o una esfera) y a partir de esta detallan o “esculpen” la forma que deberá tener el modelo, guiándose con las imágenes de referencia. En otras fuentes consultadas, como los videos

1. Animación 3d”, 1a ed. España, Ed. Anaya Multimedia, 2005, 441 p.

2. Maya Techniques Hyper-Realistic Creature Creation” EUA, Ed. Alias Learning Tools, 2006, 238 p

3. <http://www.digitaltutors.com/11/index.php>.

4. <http://www.thegnomonworkshop.com/>

de Digital Tutors<sup>3</sup> o los de Gnomon<sup>4</sup>, comienzan modelando partes específicas del cuerpo (ojos, boca, dedos), de ahí parten extruyendo los edges para modelar el resto. En internet existen muchos tutoriales al respecto y aunque en el proceso difieren, la gran mayoría concuerda en el conocimiento anatómico básico.

Otros factores a tener en cuenta mencionados en el libro Maya Techniques Hyper-Realistic Creature Creation son los siguientes:

- Modelar siguiendo las direcciones del tejido muscular para lograr deformaciones menos forzadas.
- Mantener el modelo con caras de 4 lados.
- Mantener el espacio de la topología uniforme.

Se realizaron sesiones fotográficas para obtener las imágenes de referencia (frente, perfil izquierdo, perfil derecho y espalda).

Para modelar el personaje digital se utilizaron polígonos debido a que son fáciles de texturizar y exportar. Las herramientas básicas que fueron ocupadas para modelar al humano digital fueron:



El personaje solo es modelado por una mitad, en este caso fué el lado izquierdo, posteriormente es reflejado con la herramienta Mirror Geometry y se ajustan algunos detalles.

### Cabeza.

La parte del cuerpo que requiere más trabajo y dedicación es la cabeza debido a que su estructura es bastante compleja. Se realizaron también imágenes de referencia del rostro. En el software, se colocan las dos imágenes en la vista frontal y lateral (fig. 3.1).



Fig. 3.1 Imágenes de referencia del rostro.

Se decidió crear el rostro a partir del perfil utilizando la vista lateral ya que de esta forma se puede visualizar desde el principio algo concreto, por el contrario, comenzando con una figura geométrica primitiva como un cubo o una esfera, hay que modificarla bastante para comenzar a ver parecidos con un rostro. Se creó la geometría con la herramienta Create Polygon Tool colocando los vértices en puntos que determinan los cambios en la superficie (como la unión de la boca) dando como resultado un polígono irregular con la forma del perfil de la cabeza humana (fig. 3.2).

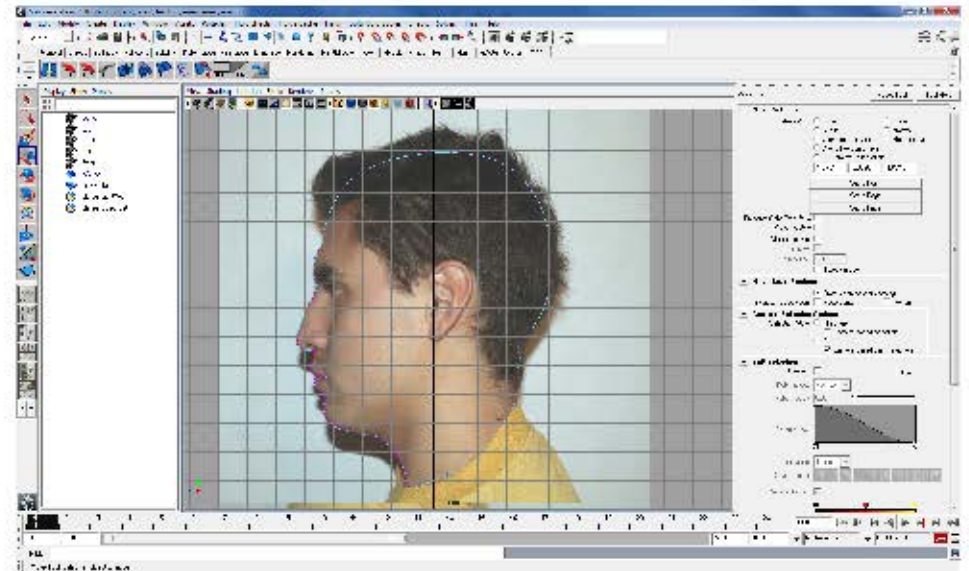


Fig. 3.2 Perfil del rostro creado con la herramienta Split Polygon Tool.

Este polígono formó una cara la cual es extruida con la herramienta Extrude Face generando un cuerpo con volumen, ambas caras son eliminadas y a partir de los Edges o fillos de la figura restante se construye el resto del rostro empleando las vistas lateral, frontal y perspectiva para posicionar los vértices.

Se modela la nariz primero, luego la boca y por último el ojo. Es indistinta la zona con la que se empieza, puede ser la nariz o la boca. Para darle forma a la nariz, se extruyen los edges correspondientes a esa zona y se posicionan los vértices utilizando las vistas lateral y frontal. La construcción de las

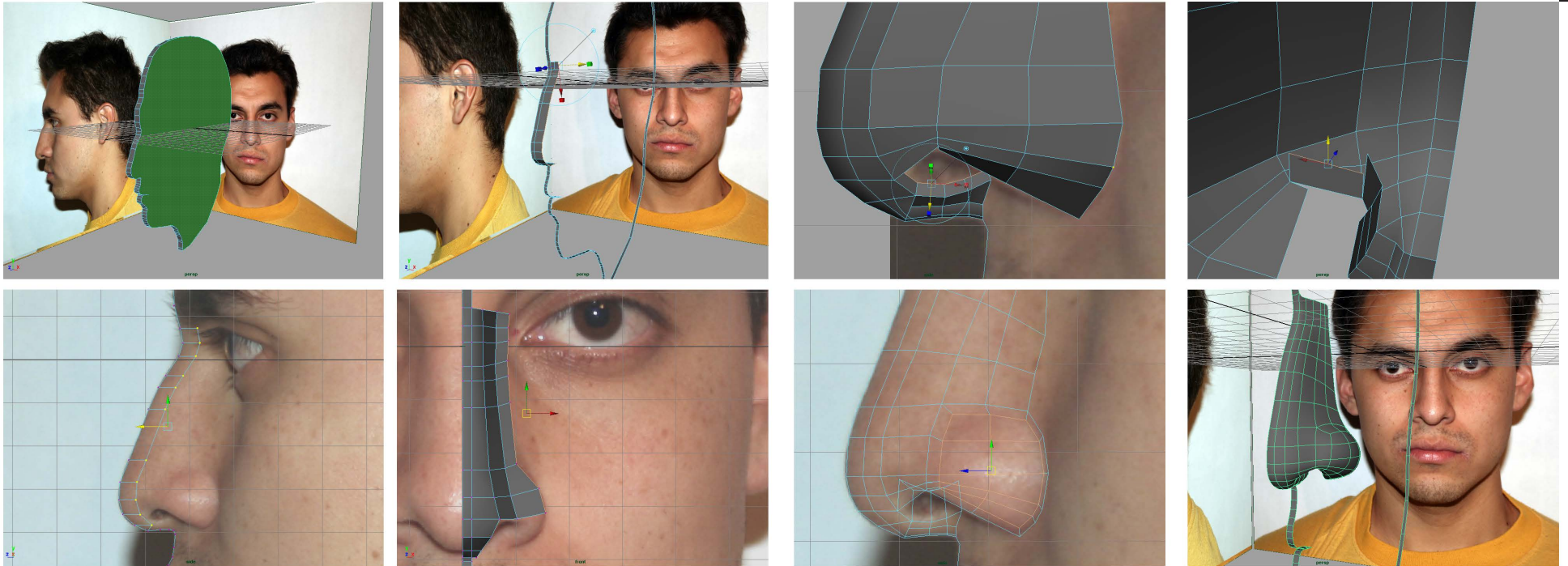


Fig. 3.3 Modelado de la nariz.

narinas se realiza extruyendo las caras que en la imagen lateral concuerdan con esa zona y se escalan a un tamaño menor. Todo el proceso de modelado es bastante similar (fig. 3.3).

La construcción de la boca parte de los edges del polígono principal que corresponden a esa zona, al igual que con la nariz, se emplea la herramienta Extrude Face para colocar los edges de acuerdo a la referencia de la boca, teniendo en cuenta los vértices de la nariz, para que posteriormente puedan ser unidos (fig. 3.4).



Fig. 3.4 Modelado de la boca.

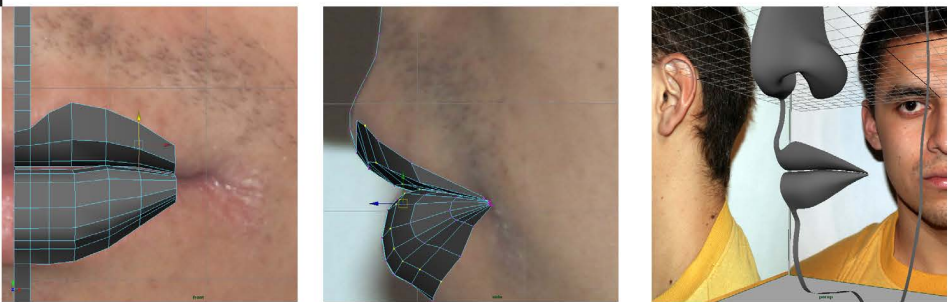


Fig. 3.4 Modelado de la boca.

La boca se une a la nariz seleccionando los edges (en este caso de la boca), extruyéndolos y colocándolos de acuerdo a los edges de la silueta del rostro. Los vértices son seleccionados y se ajustan a los de la silueta (presionando la tecla "v") para luego unirlos con la herramienta Merge Vertices (fig. 3.5).

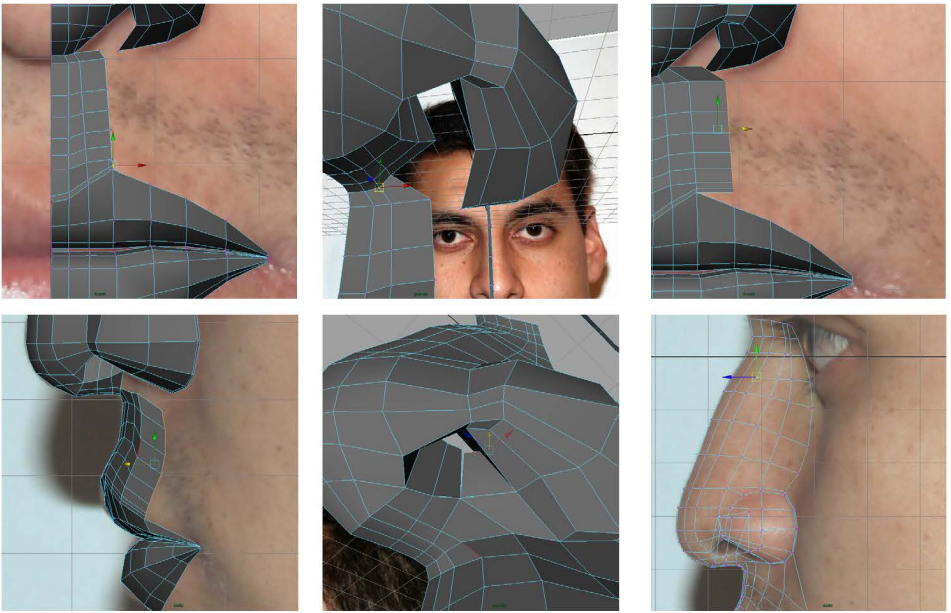


Fig. 3.5 Union de la boca con la nariz.

El ojo también es construido partiendo de la silueta y siguiendo la imagen frontal, los vértices se acomodan con base en la vista lateral. Para tener una mayor referencia se utiliza una esfera para simular el globo ocular y colocar los vértices de acuerdo a ella, rebasando un poco la geometría para que no queden huecos (fig.3.6).

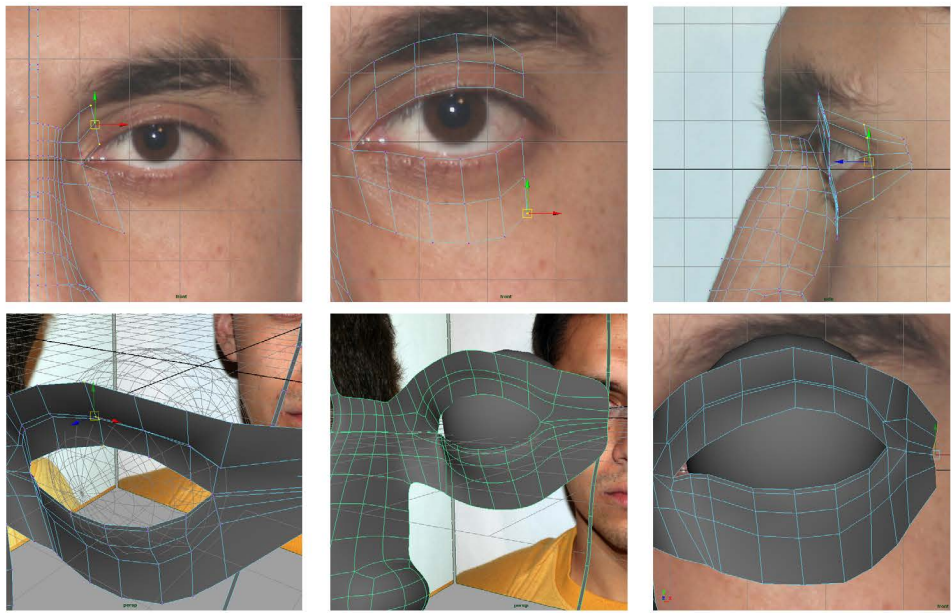


Fig. 3.6 Modelado del ojo.

Al terminar la construcción del ojo se analizó la topología construida hasta ese momento y se encontraron errores significativos. El modelo tenía demasiada resolución y el rostro no seguía la estructura anatómica de los músculos. Se continuó modelando para observar el resultado siguiendo esa estructura compleja y se obtuvo una geometría que carecía de las cualidades anteriormente mencionadas (fig. 3.7).

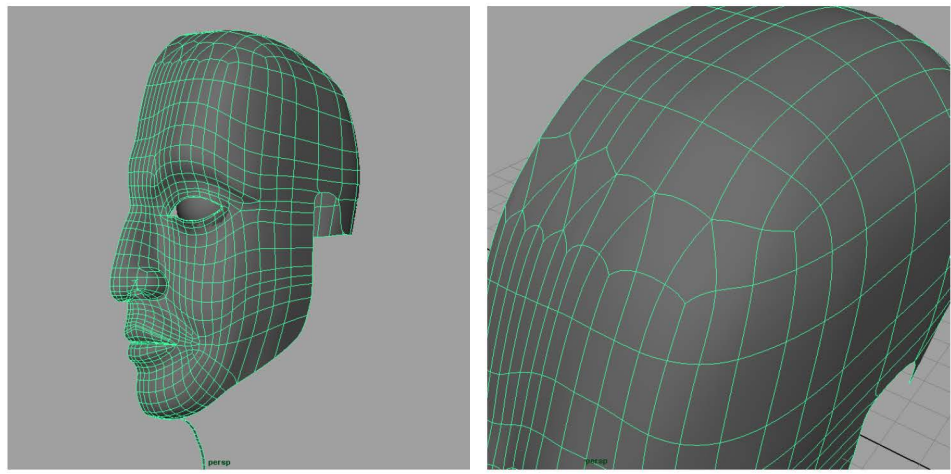


Fig. 3.7 Errores en el modelado.

Se optó por deshacer ese avance y reestructurar el ojo, la nariz y la boca con menos resolución y siguiendo la forma de los músculos. La geometría del ojo fue modificada para que tuviera más uniformidad (fig. 3.8).

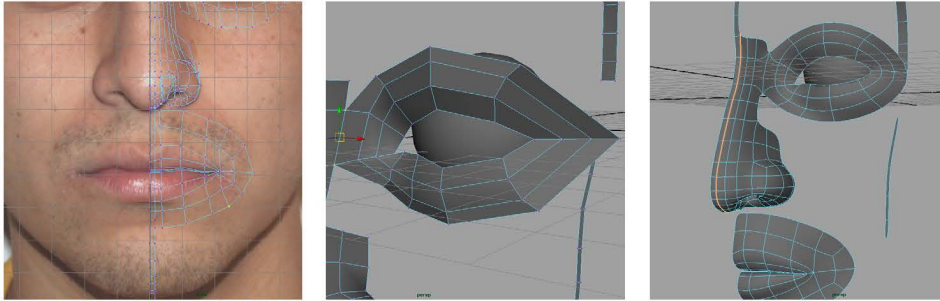


Fig. 3.8 Optimización del modelo.

La topología de la nariz es recta, la de la boca y el ojo están construidas circularmente debido a que es la forma que tienen los músculos orbicular de la boca y orbicular del ojo. Para construir las mejillas se unen la boca, el ojo y la nariz la topología sigue la dirección de los músculos cigomático mayor, cigomático menor y elevador del labio superior y del ala de la nariz.

El oído se creó utilizando nuevamente la herramienta Create Polygon Tool se trazó el contorno del oído utilizando la imagen lateral. Empleando la herramienta Split Polygon Tool se trazaron edges utilizando los vértices del rostro creando así caras de 4 lados. Los edges que corresponden al origen del antehélix son seleccionados y se extruyen, al terminar se acomodaron todos los vértices de la figura siguiendo la vista frontal (fig. 3.9).

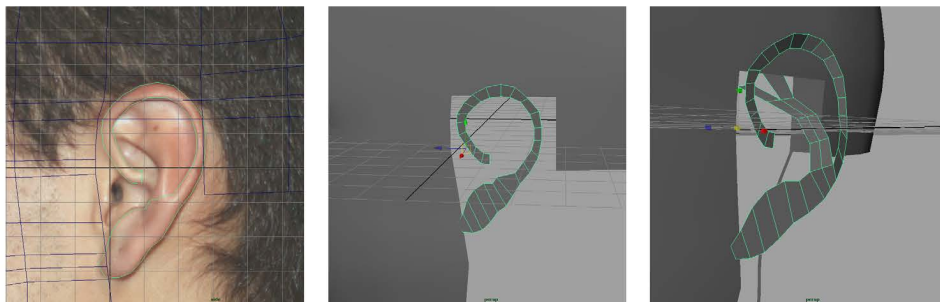


Fig. 3.9 Modelado del oído.

Seleccionando todas las caras, se extruyeron para crear el volumen. Para aumentar la resolución se empleó la herramienta Split Polygon Tool. Las caras del antehélix son eliminadas puesto que se unirá al resto del oído. Para rellenar los huecos, se extruyeron los edges, los vértices fueron colocados ajustándolos a los vértices que les corresponden (tecla "v") y posteriormente se unen con la herramienta Merge Vertices. Si en determinadas partes la geometría que se planea unir no concuerda con los edges extruidos, se aumenta ó se disminuye la resolución de esa parte para hacer que coincida (dependiendo de las circunstancias, en este caso, el hélix tenía poca resolución por lo tanto, se aumentó) (fig. 3.10).

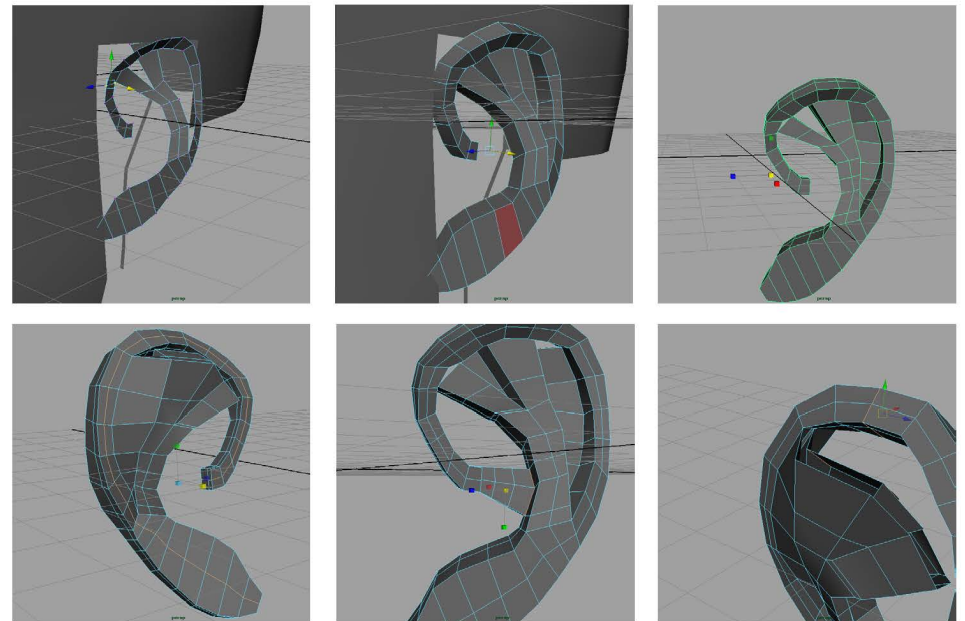


Fig. 3.10 Modelado del oído.

Otra forma para crear geometría es con la herramienta Bridge, la cual permite unir dos superficies que tengan el mismo número de edges en cada extremo y entre sus opciones se encuentra la posibilidad de dividir la geometría generada. El trago fue construido eliminando las dos caras que corresponden a esa zona, seleccionando todos sus edges y usando la herramienta Bridge. El hueco restante se relleno extruyendo los edges y fusionando los vértices (fig. 3.11).

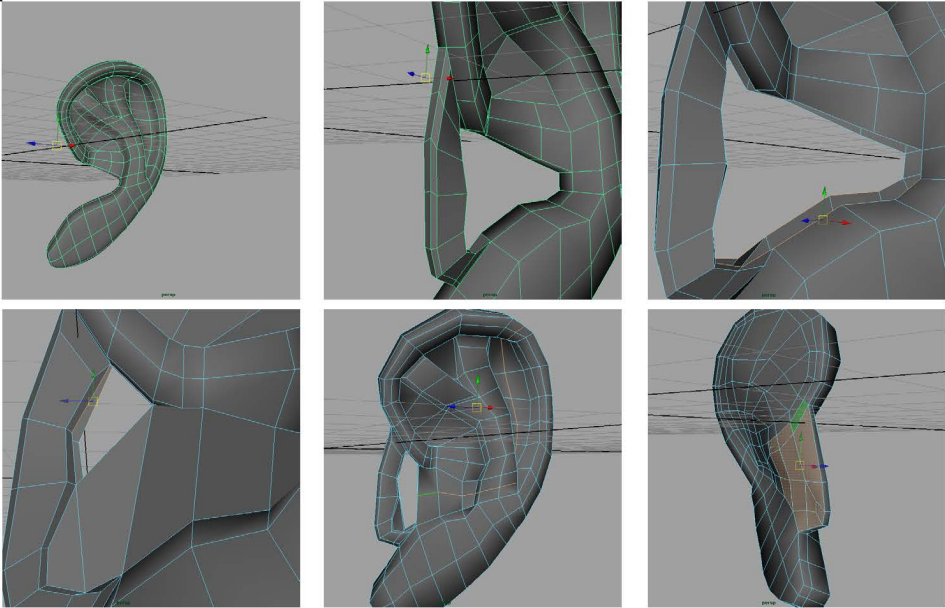


Fig. 3.11 Modelado del oído.

La parte restante fue el orificio del conducto auditivo externo, para su creación se aumentó la resolución de la geometría desde el trago para que existiera una cara en esa posición y poder extruirla (fig. 3.12).

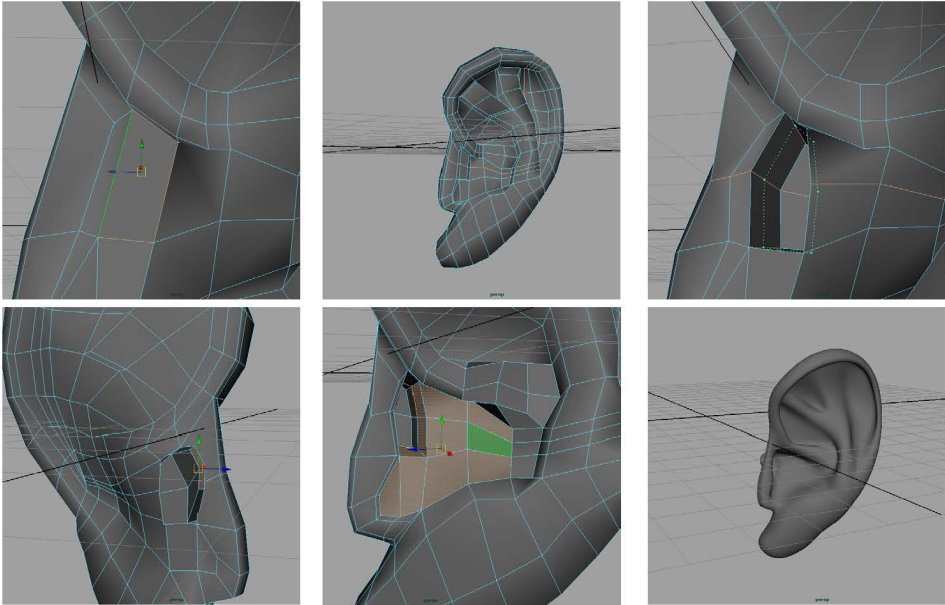


Fig. 3.12 Modelado del oído.

La nariz aún tenía mucha resolución, por lo tanto, fueron seleccionadas y borradas varias filas de edges (herramienta Delete Edge/Vertex) y así poder unirla a la estructura del ojo. Esta zona fue realizada mediante la extrusión de los edges, reduciendo la geometría y uniendo los vértices (fig. 3.13).

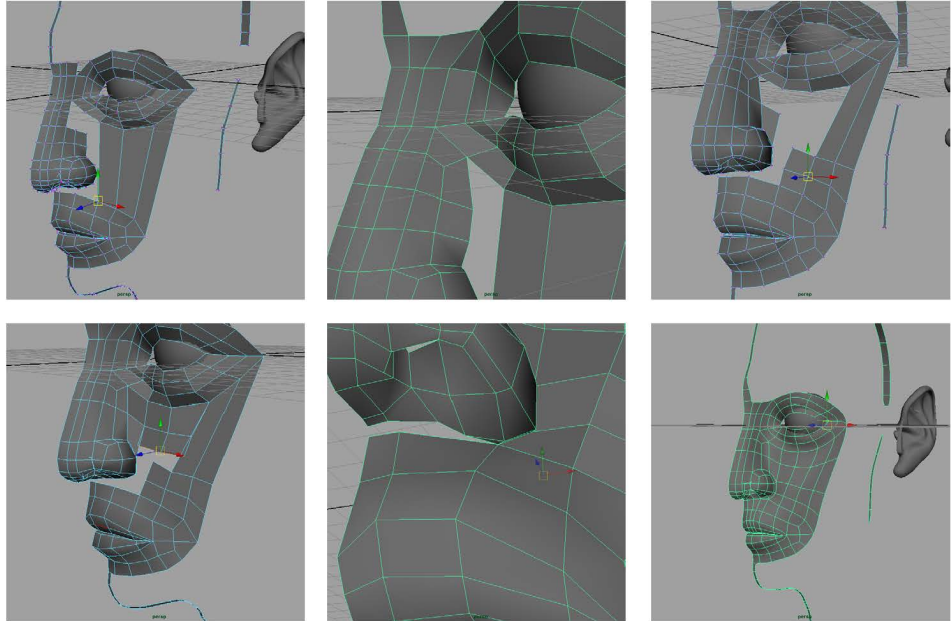


Fig. 3.13 Modelado de las mejillas.

La barbilla se formó mediante la extrucción de los edges, agregando resolución donde se requería y uniendo los vértices. Se repitió el procedimiento hasta rodear por completo el rostro y crear la frente. La estructura forma elipses (fig. 3.14). La geometría resultante sigue la dirección de los músculos de la barbilla,

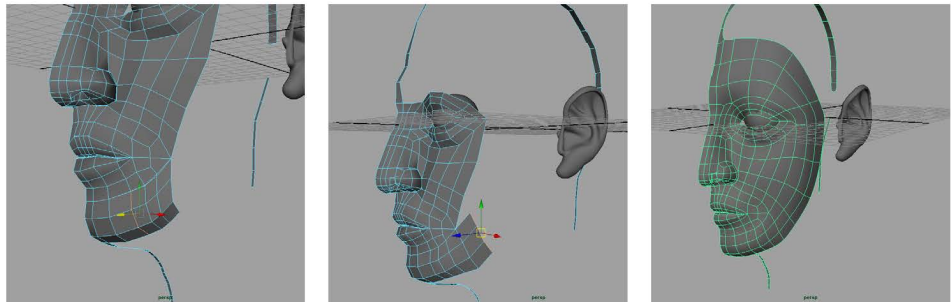


Fig. 3.14 Modelado de la barbilla y de la frente



mejillas y frente (depresor del labio inferior, depresor del ángulo de la boca, risorio, buccinador y frontal).

A partir de la frente se extruyeron los edges para formar el resto de la cabeza hasta la nuca rodeando el oído. Para unir el oído con la cabeza, fueron seleccionadas ambas geometrías y se combinaron con la herramienta Mesh/Combine (fig. 3.15).

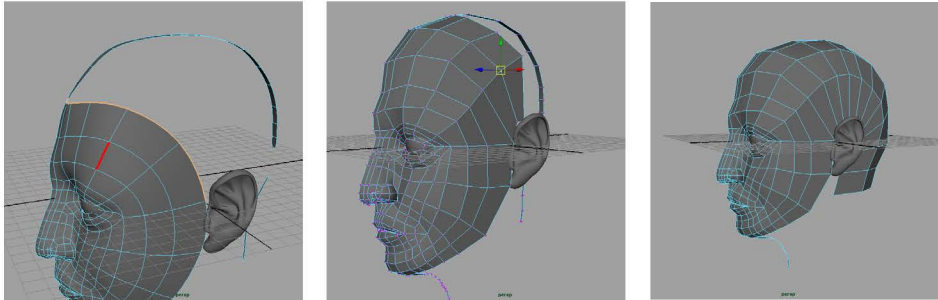


Fig. 3.15 Creación del resto del cráneo.

Debido a que el oído tiene más resolución que la cabeza, se redujo el número de vértices que tenía el borde del oído para poder fusionarlos con los vértices de la geometría de la cabeza, para eso se reduce la geometría como en el siguiente diagrama:

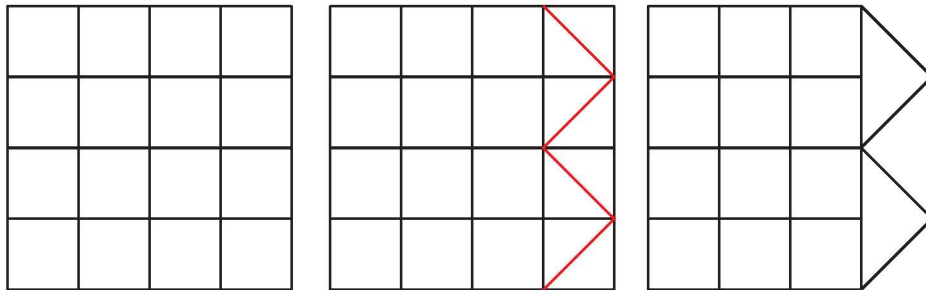


Fig. 3.16 Reducción de la geometría.

Se trazan edges con la herramienta Split Polygon Tool ó se unen los tres vértices formando caras triangulares, posteriormente los edges sobrantes son eliminados formando nuevamente caras de cuatro lados.

También se aumentó la resolución de la cabeza para que concordaran sus vértices con los del oído. Al tener el mismo

número de vértices tanto en la cabeza como en el oído se pudieron unir con la herramienta Merge Vertices (fig. 3.17).

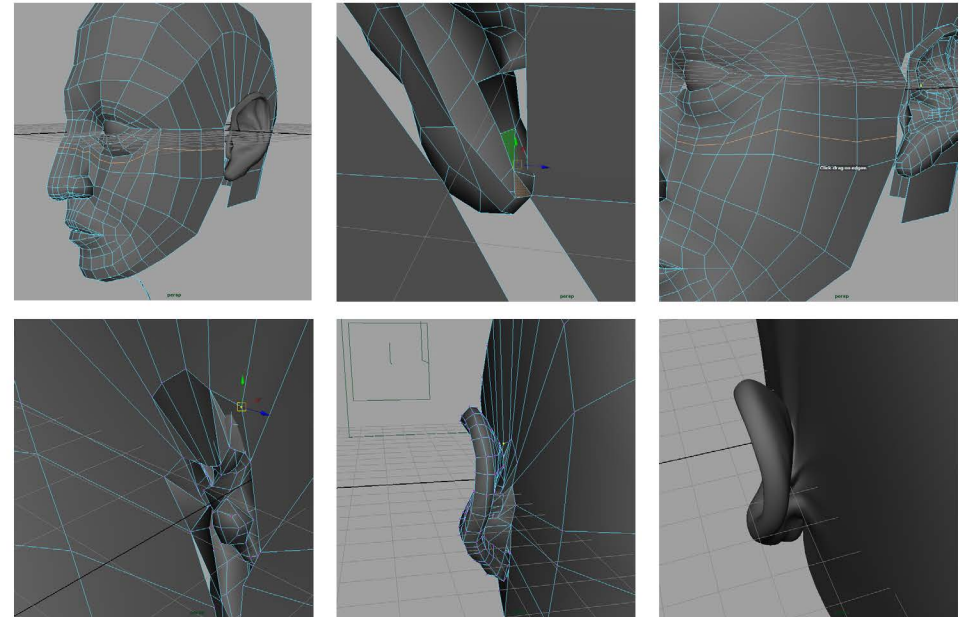


Fig. 3.17 Union cabeza-oído.

## Tronco.

Esta zona partió de un cubo el cual se fue deformando de acuerdo a las imágenes de referencia. Se aumentó la resolución y se extruyeron las caras superiores, las cuales formaran la base del cuello. Así mismo se colocó la geometría de acuerdo a la dirección que tiene el músculo pectoral mayor. La zona del ombligo fue construida creando edges los cuales formaron caras de tres lados, cuando el modelo se refleje los edges sobrantes serán eliminados y quedarán caras de cuatro lados nuevamente. El pezón requería para su creación más geometría, se ocupó la herramienta Insert Edge Loop Tool para crear 2 líneas transversales de edges teniendo en su intersección el centro del pezón. Seleccionando las cuatro caras creadas, fueron extruidas escalándolas hacia adentro para formar la base del pezón, se acomodaron los vértices y se volvieron a extruir las caras tres veces más para modelar el pezón (fig 3.18). Con la herramienta Sculpt Geometry Tool se suaviza la geometría para que no tenga bordes duros.

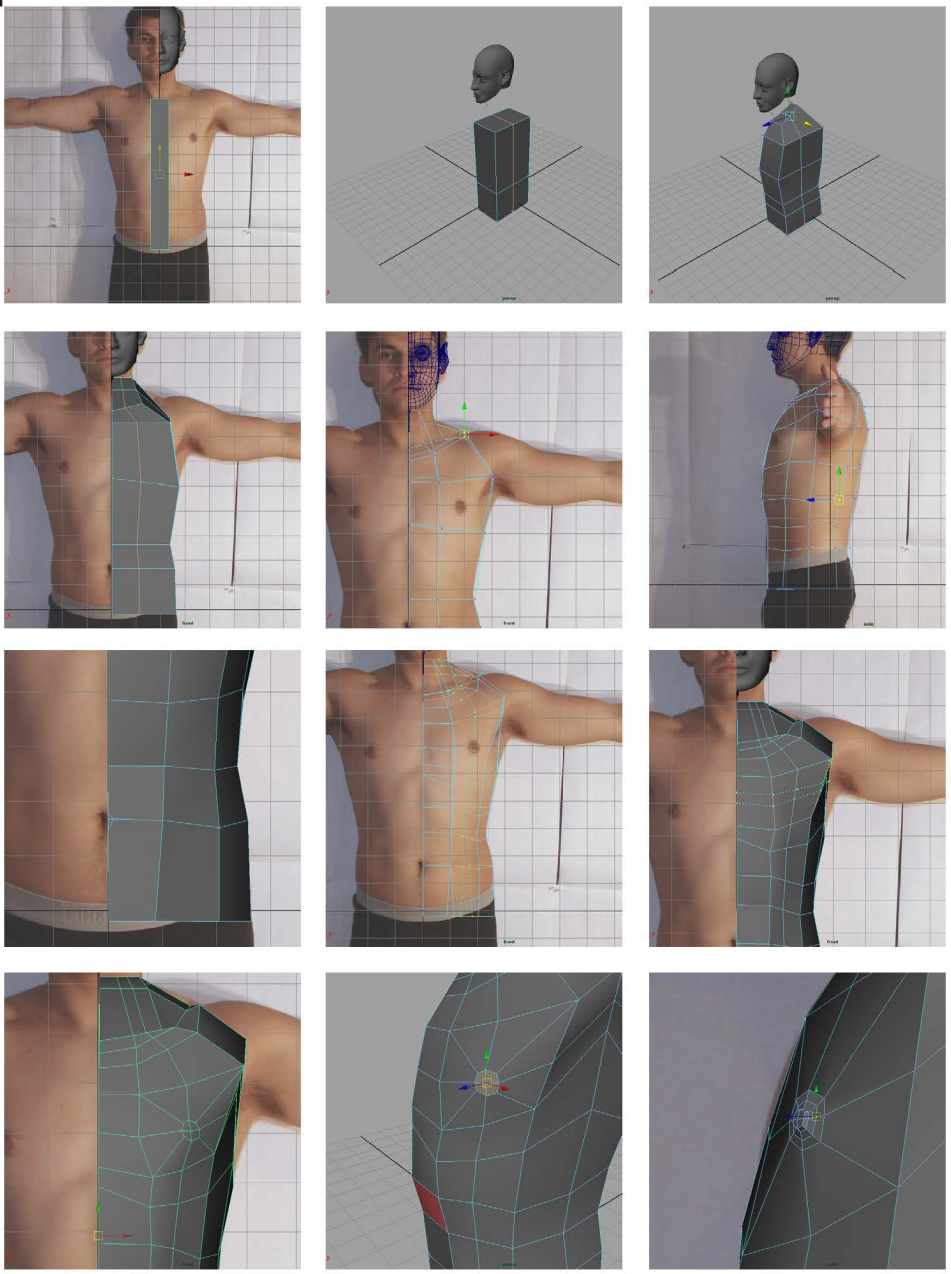


Fig. 3.18 Modelado del tronco.

los vértices de la parte inferior de la cabeza se unieron con el cuello. Posteriormente se modeló la superficie del músculo esternocleidomastoideo utilizando los edges de la clavícula y de la base de la quijada. A partir de la barbilla y mediante la extrucción de los edges fue construida la parte frontal del cuello. La geometría del esternocleidomastoideo se dividió para poder unirse con el resto del cuello. Debido a los movimientos que realiza la laringe, la parte frontal del cuello tiene bastante resolución, para unirla con la escotadura yugular se disminuyó la resolución (fig. 3.19).

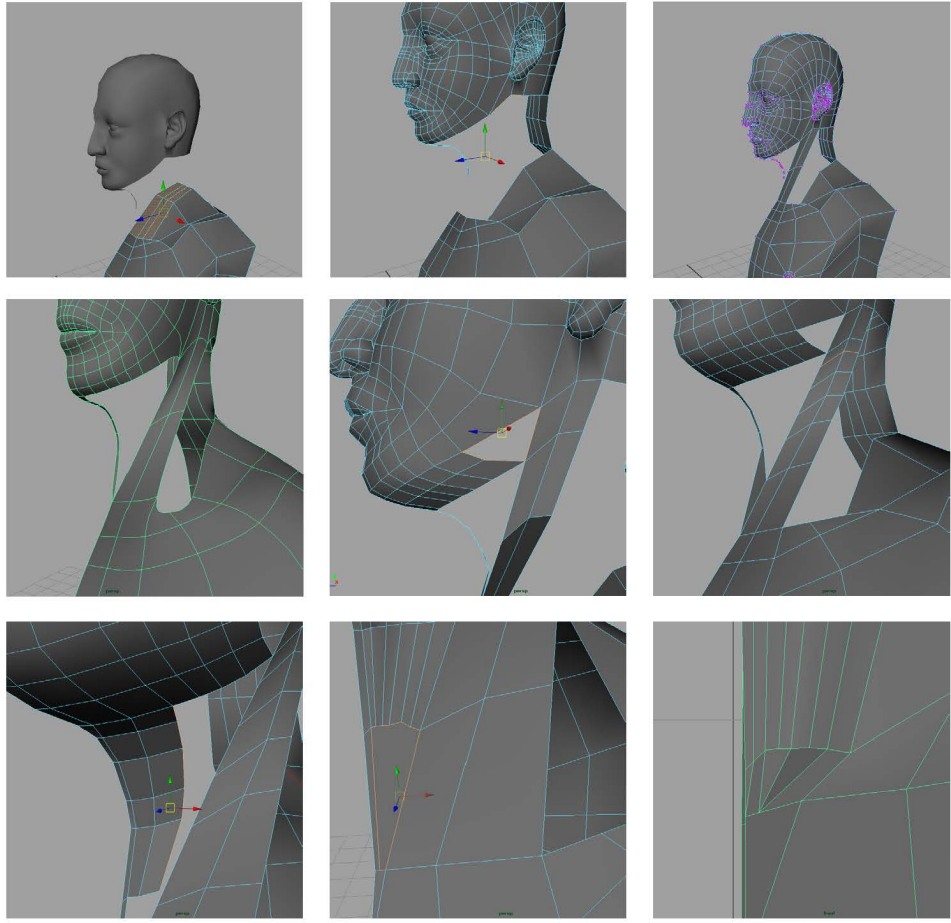


Fig. 3.19 Modelado del cuello.

**Cuello.**

El cuello fue construido eliminando las 6 caras superiores del tronco. La primer zona del cuello construida fue la nuca,

El último hueco fue llenado con la herramienta Fill Hole, sobre esa cara se trazaron los edges correspondientes al resto de la geometría (fig. 3.20).

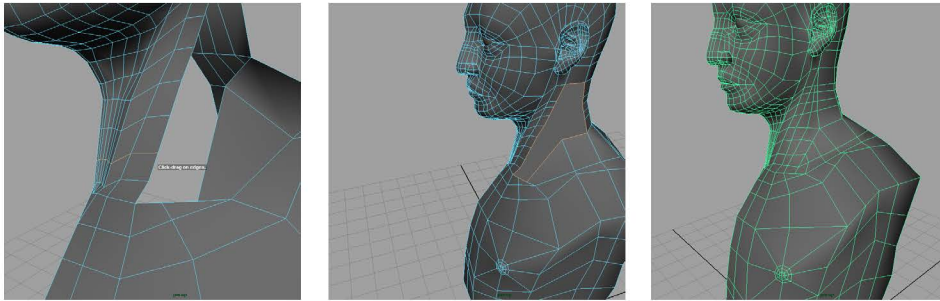


Fig. 3.20 Modelado del cuello.

## Mano.

La mano fue modelada por separado debido a que tiene mayor resolución que el brazo y es más fácil encontrar la forma de disminuir esa resolución en la zona de la muñeca para conectarla con el antebrazo. Fue generado un cubo a partir del cual se formó la mano mediante su división y acomodo de vértices, su geometría fue reconstruida para crear las eminencias tenar e hipotenar (fig. 3.21).

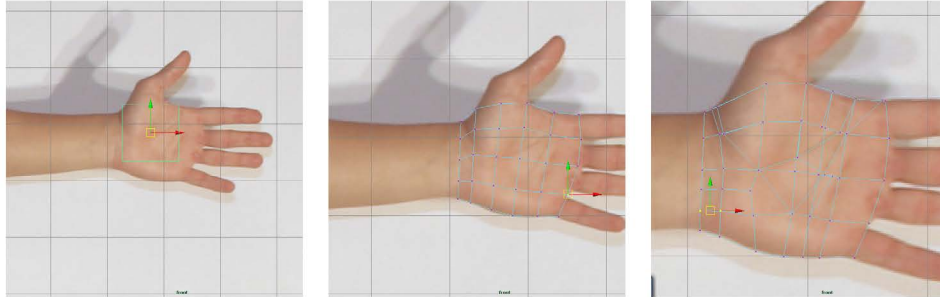


Fig. 3.21 Modelado de la mano.

Para crear los dedos se modeló únicamente el dedo índice, los demás, incluyendo el pulgar, son copias de éste, a las cuales se les cambió la forma modificando la posición de sus vértices. La estructura básica del dedo surgió de otro cubo con dos divisiones colocadas en la posición de las articulaciones en la imagen frontal. Posteriormente se aumentaron divisiones para crear los pliegues de flexión del dedo y la separación para poder extruir el hueco donde va la uña. También son extruidas las caras posteriores que formaron las divisiones de los

pliegues de flexión para crear los pliegues de las articulaciones interfalángicas. La uña fue creada por separado del modelo debido a que su construcción afectaría la resolución de la mano y sería complejo texturizarla (fig. 3.22).

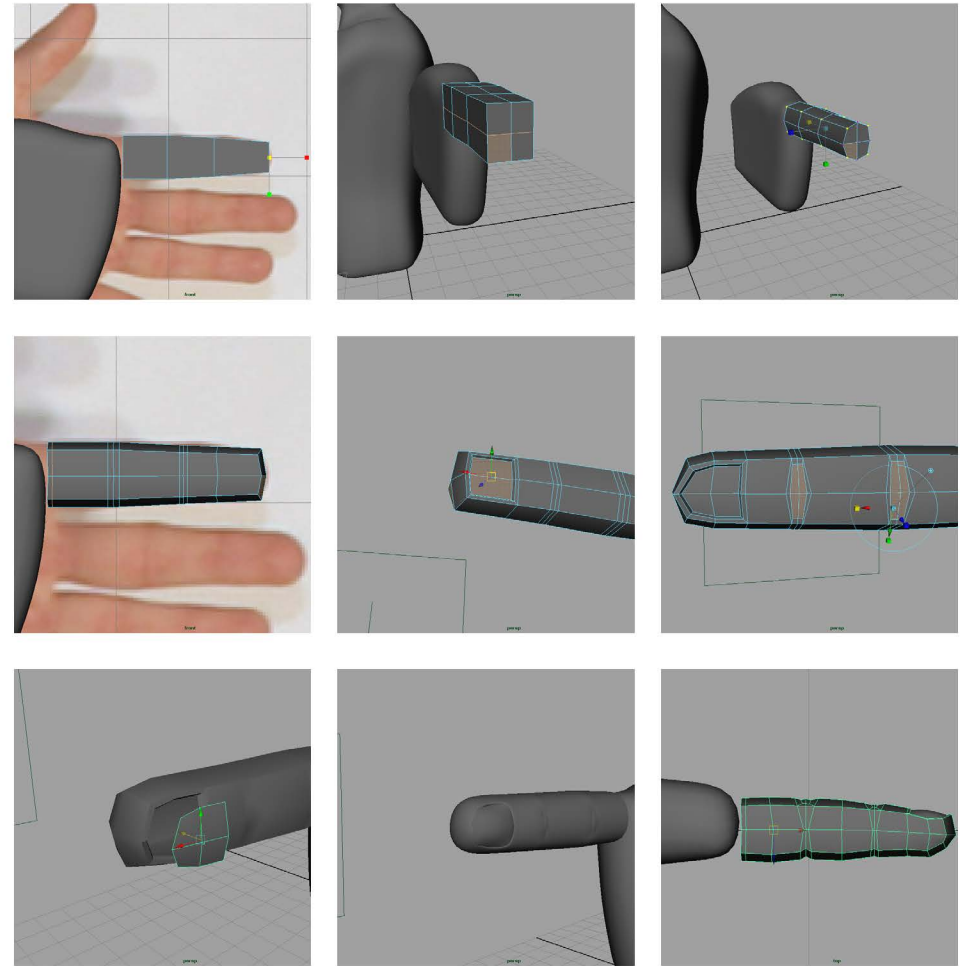


Fig. 3.22 Modelado del dedo índice

Las caras de la base del dedo y de los nudillos fueron eliminadas para poder unir los dedos a la mano. Por la forma en que fueron construidas dichas geometrías, los vértices resultaron ser 6 en cada pieza facilitando unirlos. Los nudillos fueron creados mediante la extracción de las caras correspondientes a ellos (fig 3.23).

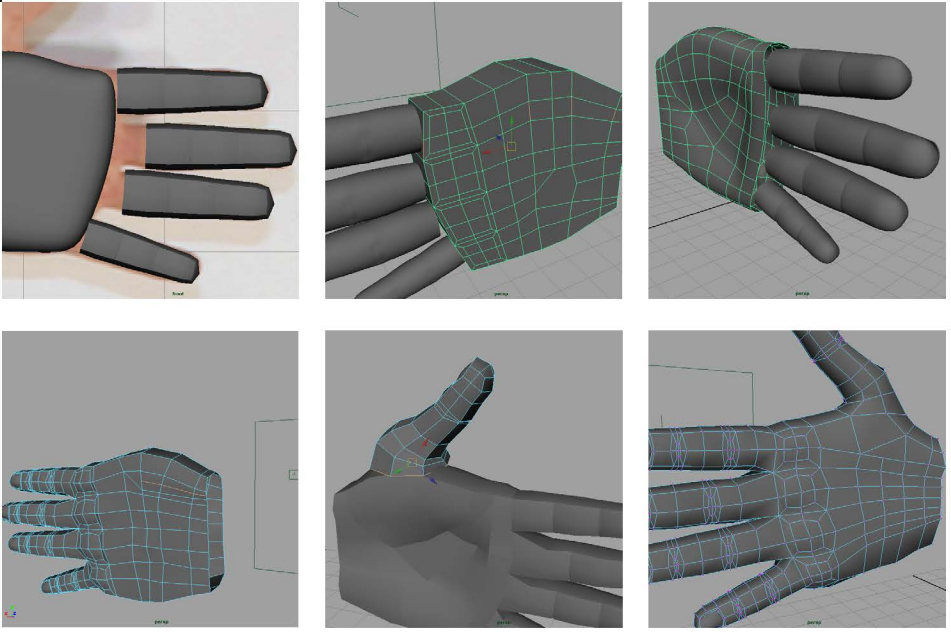


Fig. 3.23 Unión de los dedos con la mano

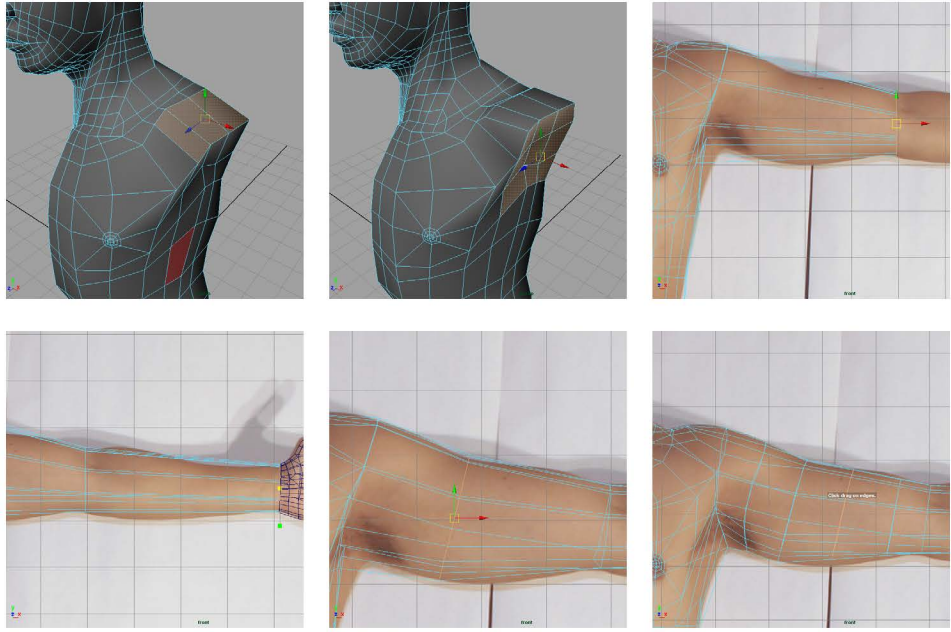


Fig. 3.24 Extrucción del músculo deltoides y del brazo.

**Brazo.**

Antes de comenzar a modelar el brazo, se ajustó la geometría del deltoides extruyendo las caras del hombro para darle una mejor forma, las 6 caras de la base del brazo se extruyeron hasta el codo y posteriormente hasta la muñeca. Se crearon más divisiones para poder generar la forma de los músculos (fig. 3.24).

La superficie de los músculos bíceps y tríceps fue creada de forma errónea, el músculo bíceps adquirió volumen extruyendo las caras superiores del brazo, para el tríceps, las inferiores. El error consistió en que en la imagen de referencia frontal, el cuerpo no estaba fotografiado completamente de frente, tronco, cara y extremidades tendrían que estar en una posición cerca del paralelo con el encuadre, para que al modelar no existan deformaciones evidentes ocasionadas por la flexión extensión o rotación de algún miembro. Al modelar el brazo, el músculo bíceps braquial al igual que el tríceps, no correspondían a una vista paralela, y debido a que la imagen de referencia fue fotografiada

con el brazo rotado por estar ligeramente relajado, se modelo con esa rotación, no fue hasta que se empezó a detallar en los músculos del brazo que se notó este contratiempo (fig. 3.25).

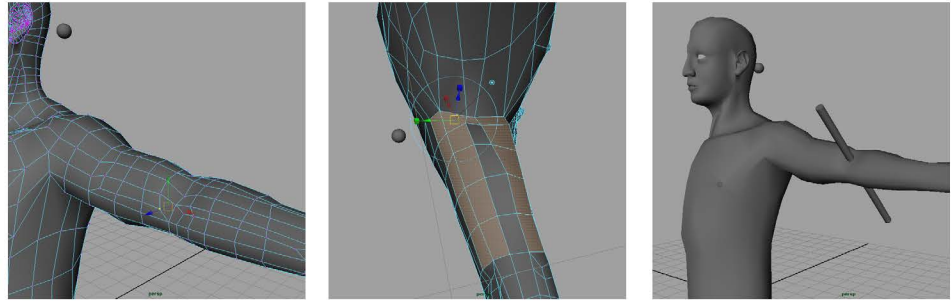


Fig. 3.25 Errores en el brazo.

Se eliminaron esas caras y se reconstruyó, esa parte del cuerpo, pero esta vez con los parámetros correctos, si hubiese quedado modelado de esa forma, en el momento de colocar el esqueleto y animar, las deformaciones resultarían complicadas de manipular ya que los joints tendrían que estar orientados con esa rotación del brazo (fig. 3.26).

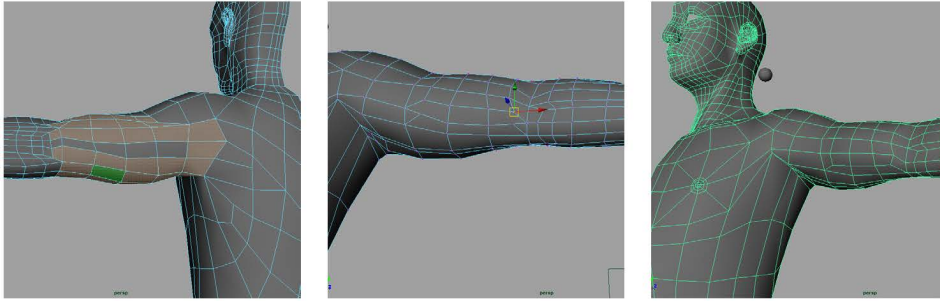


Fig. 3.26 Corrección en el brazo.

La superficie de los músculos braquiorradial y extensor radial largo del carpo fue creada usando las mismas caras ya que se encuentran en la misma zona y al estar cubiertos por la piel no se necesita detallar su geometría. La superficie de los músculos extensores de los dedos se construyó de la misma forma. Debido a la resolución de la mano, extruir las caras del antebrazo para crear los extensores de los dedos y aumentar la resolución, ayudó a unir la mano al antebrazo logrando hacer que los tendones que se modelaron en la mano coincidan con la superficie de los músculos (fig. 3.27).

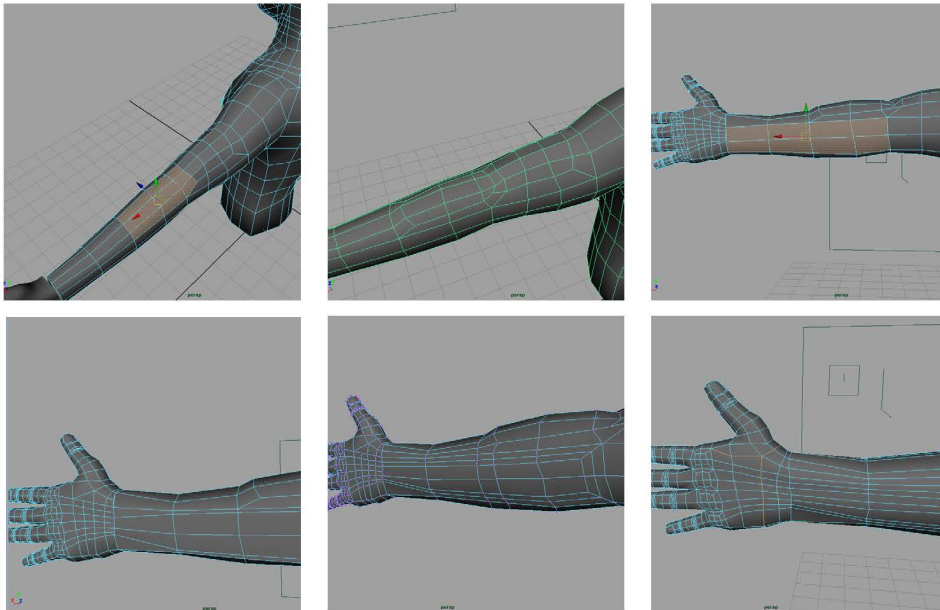


Fig. 3.27 Músculos del antebrazo.

Las caras que son extruidas generan edges diagonales, dependiendo del caso, algunos edges de las caras extruidas se modifican para mantenerse paralelos y perpendiculares, en el caso del extensor de los dedos, se reconstruyó para poder unir la mano con el brazo (fig. 3.28).

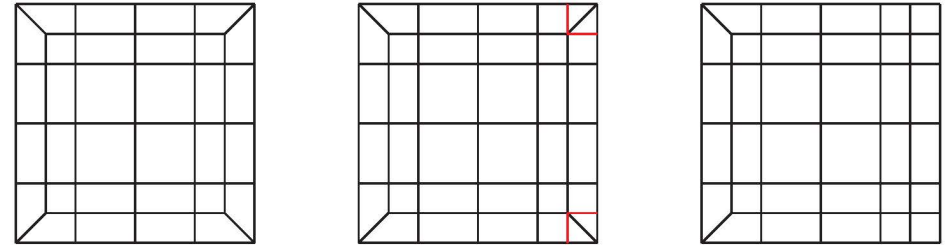


Fig. 3.28 Modificación de extrucciones.

La mano requería afinar algunos detalles en su cara posterior, como definir la superficie del músculo interóseo dorsal del pulgar y en un costado aumentar el volumen del músculo separador (abductor) del meñique. Por otra parte se extruyeron algunas caras en el antebrazo para darle mayor volumen a la superficie de los flexores de los dedos (fig. 3.29).

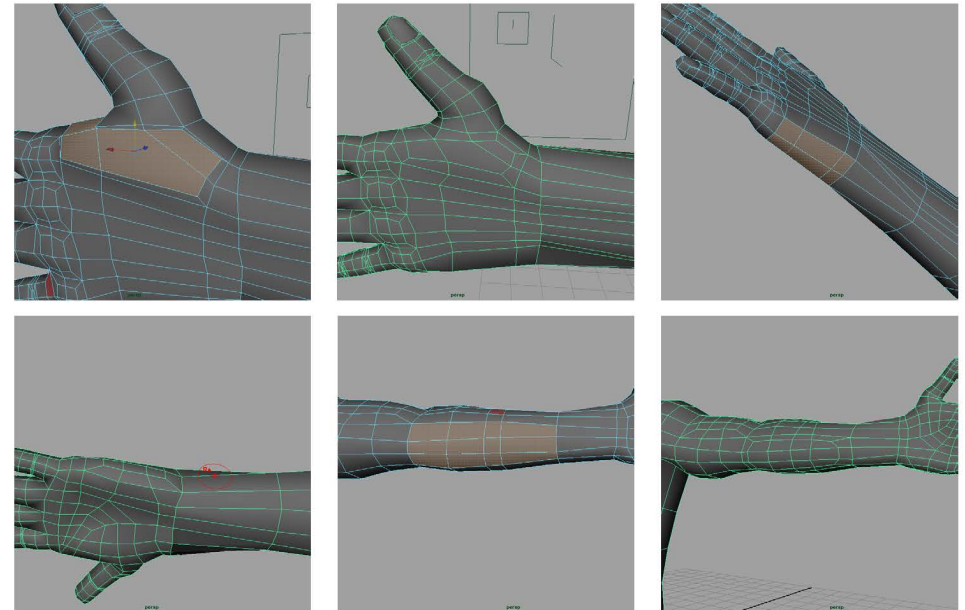


Fig. 3.29 Músculos: interóseo dorsal del pulgar, separador del meñique y extensores de los dedos.

### Clavícula y espalda.

Las caras que se encuentran en la zona de la clavícula son extruidas para generar volumen y hacer más notorio ese hueso, también se reestructuro la geometría (fig. 3.30).

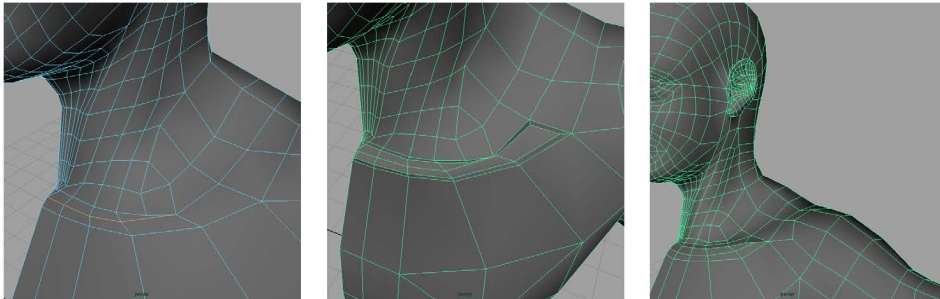


Fig. 3.30 Clavícula.

En cuanto al modelado de la espalda, se requiere cambiar la imagen de referencia de la cámara frontal por la imagen de espalda del modelo, los músculos superficiales de esta zona son el trapecio, el dorsal ancho, y los redondos. La topología de la espalda no correspondía con esos músculos por lo tanto se modificaron los edges (fig. 3.31).

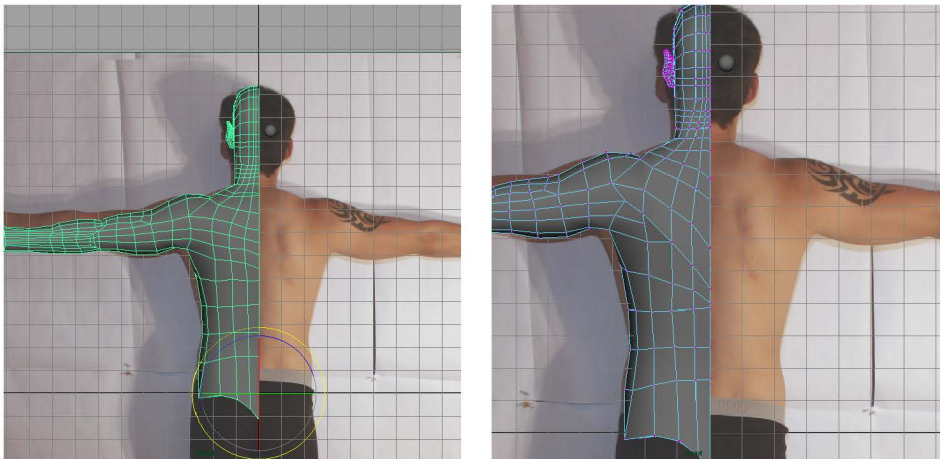


Fig. 3.31 Músculo Dorsal y músculo trapecio.

### Pelvis y muslo.

Las caras de la base del tronco fueron extruidas para crear la pelvis, posteriormente se eliminaron y se acomodaron los vértices.

Fueron seleccionados los edges que se encuentran en un costado y que corresponden al tensor de la fascia lata para extruirlos hasta llegar arriba de la rodilla, se aplicó el mismo procedimiento a los edges de la vista anterior. Los edges de la vista posterior, fueron extruidos hasta la unión del glúteo con la pierna, para así formar la superficie del músculo glúteo mayor, las caras de esa parte fueron extruidas para darle mayor volumen. Los edges de la base del glúteo mayor fueron extruidos para así crear la estructura básica del muslo formando una especie de cilindro. Las caras del costado exterior fueron extruidas para construir el vasto lateral del músculo cuádriceps femoral. La geometría de la vista anterior del muslo fué modificada al un crear una diagonal que serviría como base al músculo sartorio (fig. 3.32).

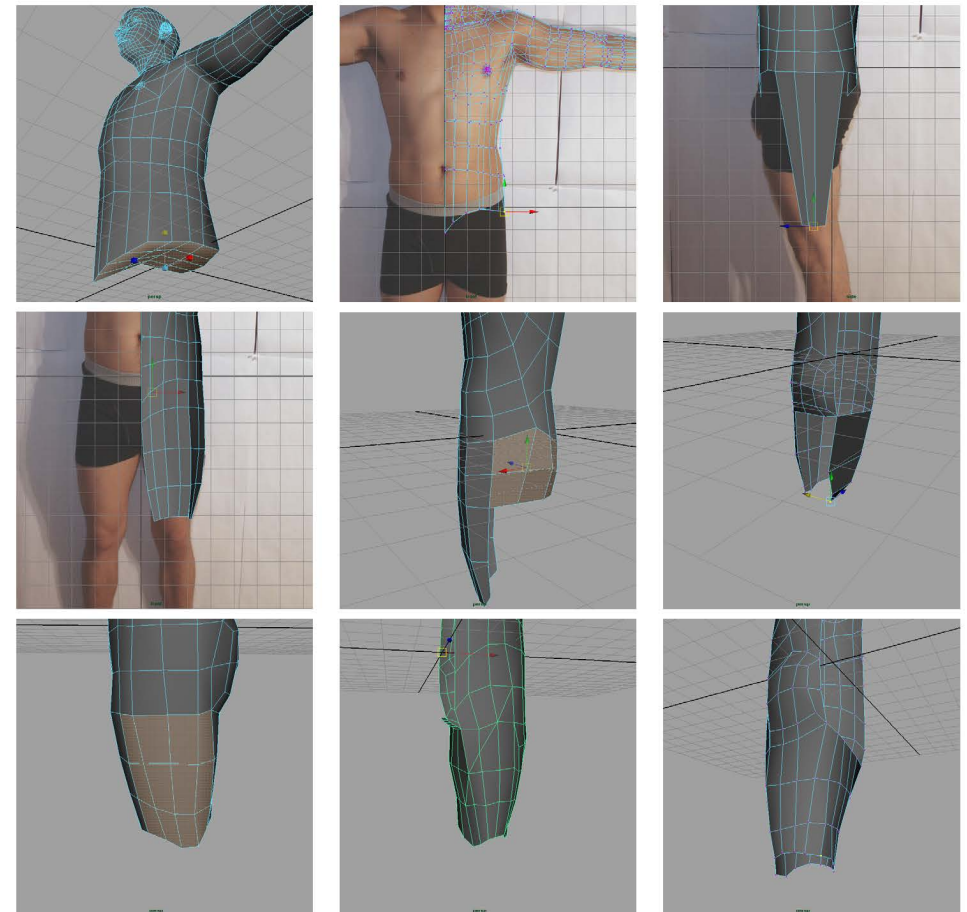


Fig. 3.32 Pelvis y muslo.

Se recorrieron también los edges inferiores ligeramente hacia arriba para después extruirlos hasta la base de la rodilla. Las caras que se generaron en este proceso se extruyeron, se escalaron y se acomodaron los vértices para formar la rótula (fig. 3.33).

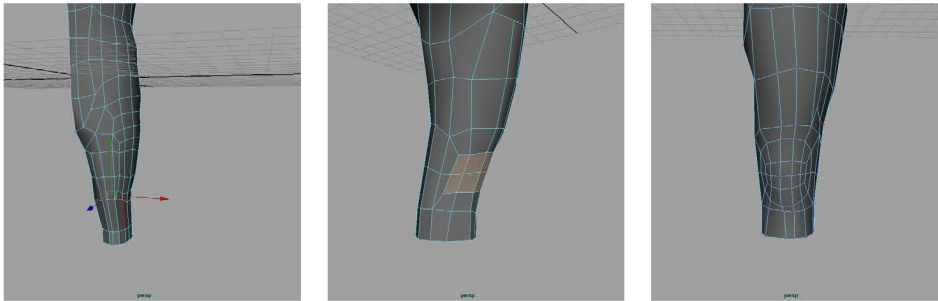


Fig. 3.33 Rodilla

En la vista posterior del muslo se creó la superficie de los músculos bíceps femoral y semimembranoso extruyendo las caras para aumentar el volumen de la masa muscular y hacer visibles sus tendones, los cuales forman la fosa poplítea (fig. 3.34).

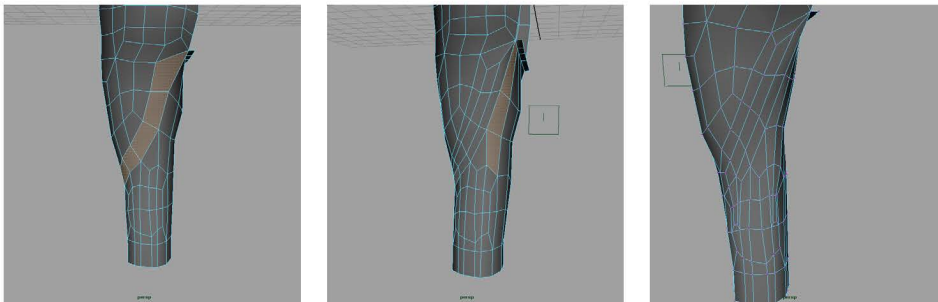


Fig. 3.34 Músculo bíceps femoral y músculo semimembranoso.

## Pierna y pie.

Los edges de la base de la rodilla se extruyeron hasta el talón y posteriormente al tobillo. También se modificó la geometría para que concordara con la superficie de los músculos y se agregaron divisiones. El volumen del músculo gastrocnemio se construyó extruyendo las caras posteriores, dejando una línea de caras en medio, para marcar las cabezas del gastrocnemio. Las caras anteriores fueron extruidas para crear la superficie de los músculos peroneo largo y tibial anterior. De las caras comprendidas entre el

talón y el tobillo surgió el pie mediante la extrucción de las mismas, empleando la vista lateral se posicionaron los vértices hasta la punta de los metatarsianos (fig. 3.35).

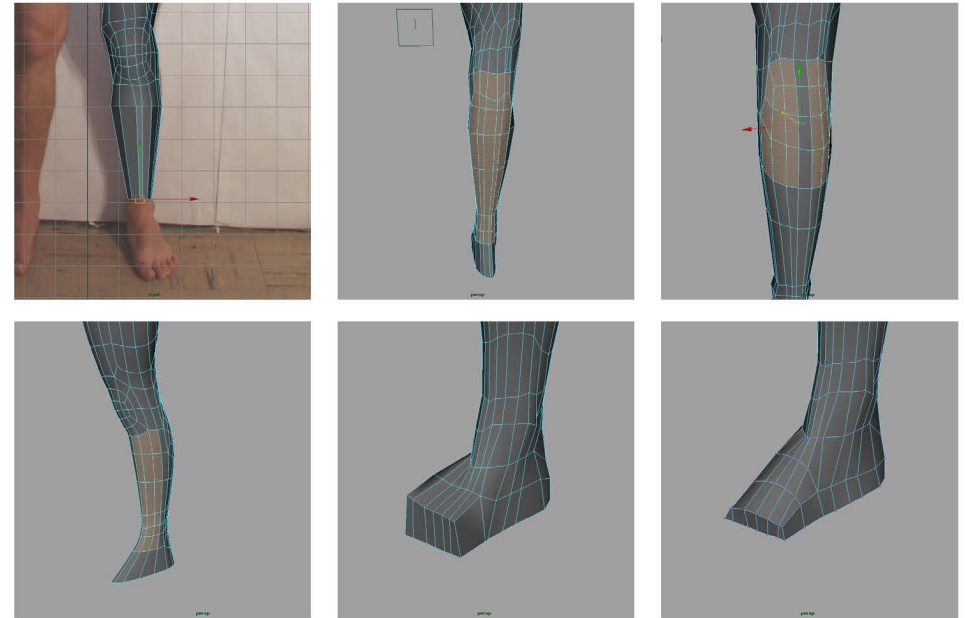


Fig. 3.35 Músculos de la pierna y estructura básica del pie .

Se agregan más edges con la herramienta Split Polygon Tool para crear el volumen de los tendones del extensor largo de los dedos. Los dedos del pie son copias del dedo índice, al cual se le eliminaron edges para disminuir su resolución ya que estos dedos no tienen tanto movimiento como los de la mano y no necesitan la misma estructura. Para poder unirlos al pie, se realizó un proceso bastante similar al de la mano: se aumentó una fila de edges que junto con los edges del extensor largo de los dedos generaron en la punta de los metatarsianos 20 caras las cuales fueron eliminadas. Al terminar de modificar los dedos y posicionarlos, se combinaron con la geometría del modelo y se unieron los vértices. El hueco de la planta del pie fué cubierto extruyendo los edges de un extremo y uniendo los vértices de ambos lados, el resto de la resolución fue creada trazando los edges con la herramienta Split Polygon Tool siguiendo la estructura de los músculos separador corto del dedo gordo, separador del dedo pequeño y flexor corto de los dedos. Las

6 caras de cada uno de los lados del tobillo se extruyeron con el fin de crear un mayor volumen, la geometría de la planta del pie se modifica mediante la manipulación de sus vértices para generar el arco del pie (fig. 3.36).

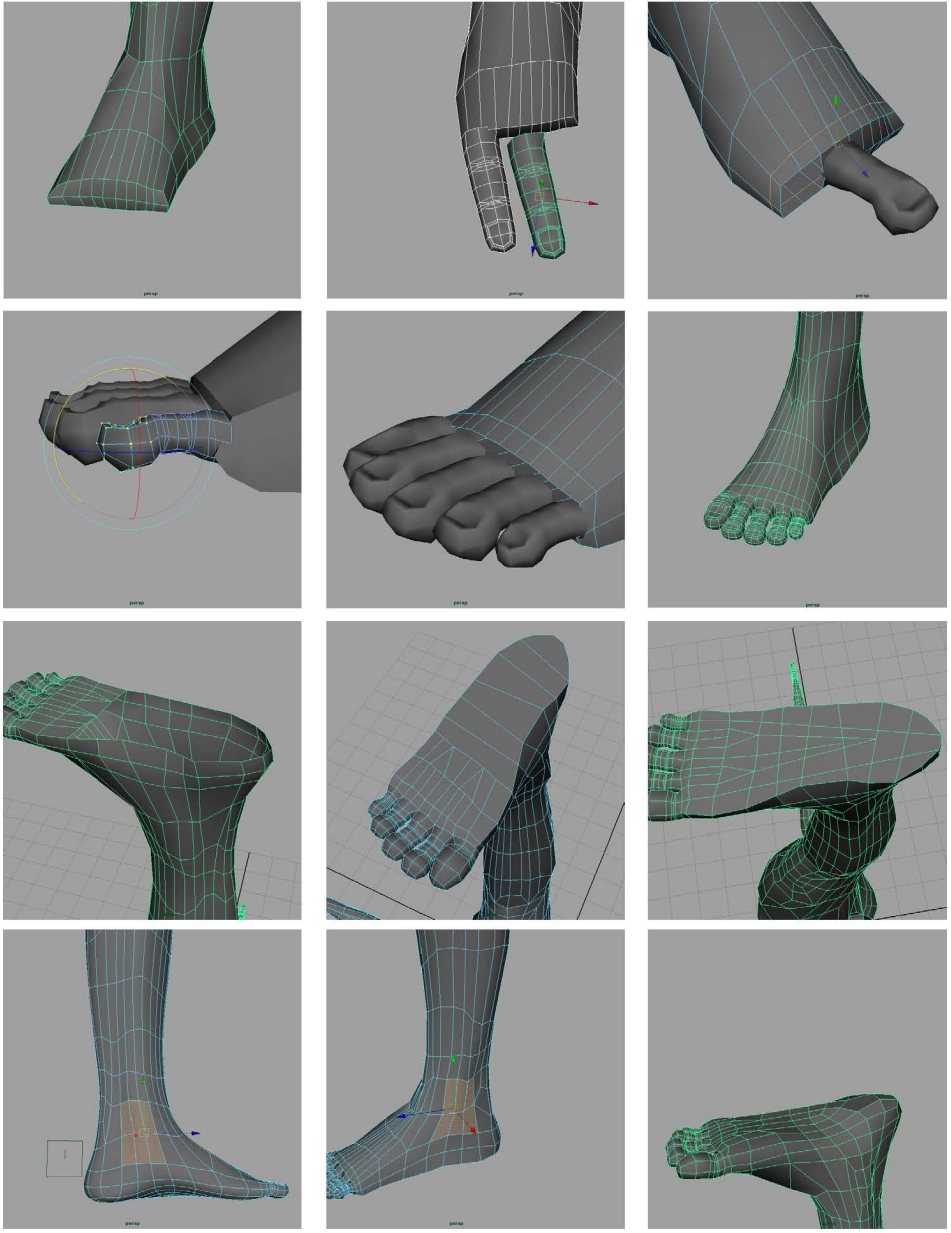


Fig. 3.36 Union de los dedos y creación de la planta del pie

**Detalles en el cuerpo antes de usar la herramienta Mirror Geometry.**

Para definir el abdomen, las caras correspondientes al músculo recto abdominal se extruyeron cada una por separado para crear las divisiones tendinosas que existen entre él. Las caras que pertenecen al músculo oblicuo externo no necesitaron extruirse. La superficie del músculo pectoral mayor necesitaba más volumen por lo que sus caras fueron extruidas, eso ayudó a resaltar más su separación del abdomen (fig. 3.37).

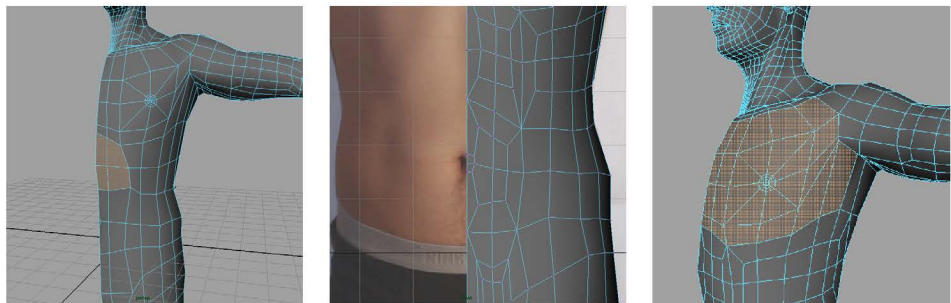


Fig. 3.37 Músculos recto abdominal y pectoral mayor.

El globo ocular fue creado con base en el cristalino, el iris y la pupila mediante el uso de dos esferas. La esfera que hasta este punto funcionó como referencia fue modificada para crear una estructura similar a la de un ojo, para ello, se hizo coincidir una fila de edges al borde del iris, las caras que se encontraban dentro de esa circunferencia fueron extruidas y movidas hacia adentro, al final se extruyeron nuevamente y se ajustaron para crear la pupila. El cristalino es otra esfera, las caras correspondientes son extruidas hacia afuera para hacerlo cóncavo (fig. 3.38).

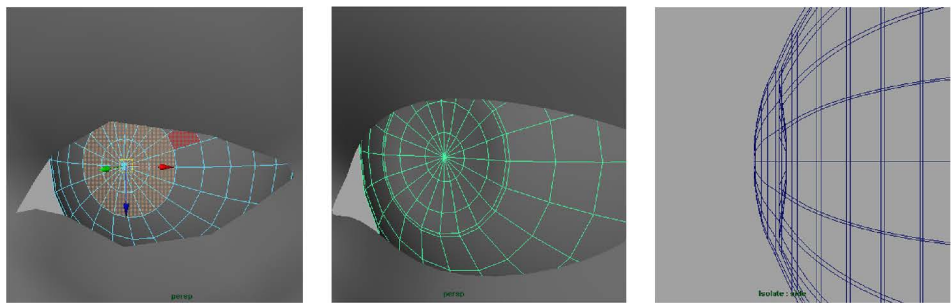


Fig. 3.38 Globo ocular.



La modificación de los párpados fué realizada agregando más edges y acomodando los vértices para que concordaran con la imagen de referencia. En la nariz, las caras de las narinas se extruyeron para aumentar su volumen. Por último los dedos de los pies se ajustaron para darles una mejor forma, para ello se utilizó un deformador llamado Lattice (el cual crea una caja que puede dividirse), mediante la manipulación de sus puntos de control, se modificó rápidamente la geometría (fig. 3.39).

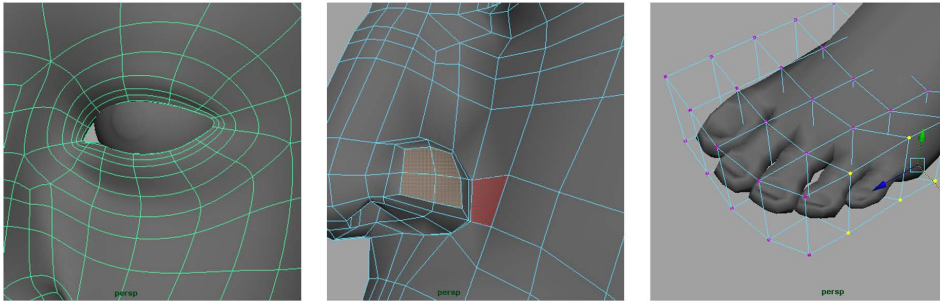


Fig. 3.38 Ajustes en los párpados, nariz y dedos del pie.

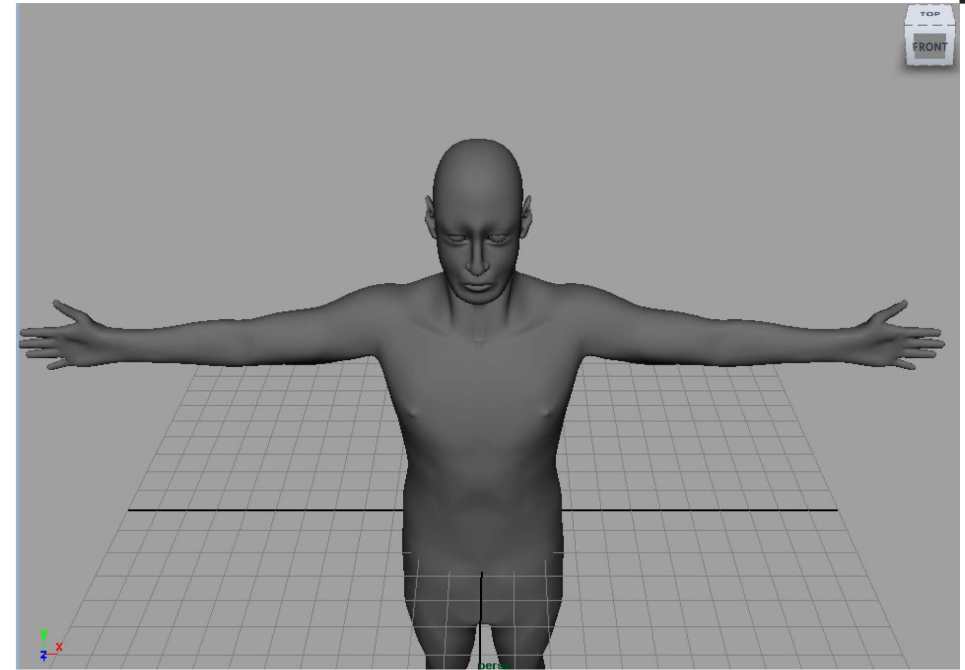


Fig. 3.40 Modelo reflejado.

### Reflejo de la geometría y detalles finales.

Los vértices del borde del cuerpo tienen que estar perfectamente alineados con el centro de la retícula en la vista frontal (pueden ser seleccionados para escalarlos en el eje X y posicionarlos en el centro del grid presionando la tecla “x”) de esta forma, al reflejarlos no se encimaran ni dejaran huecos (fig. 3.39).

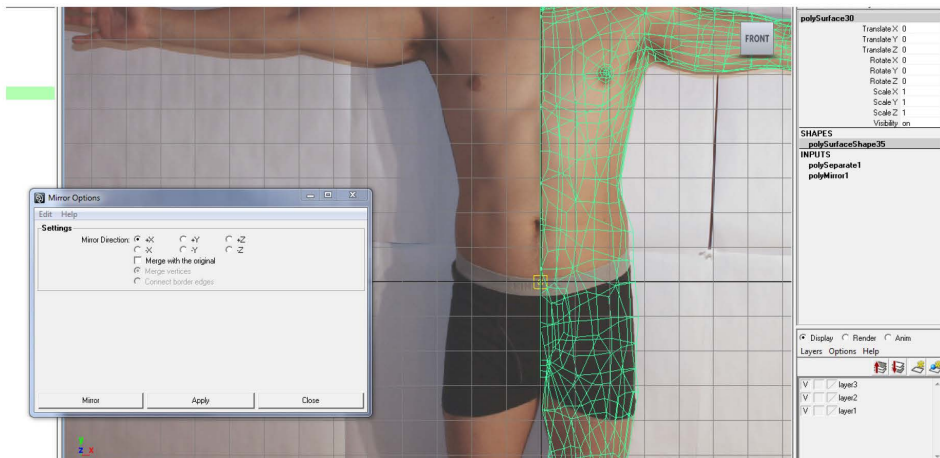


Fig. 3.39 Mirror Geometry

Al reflejar la geometría, el modelo tiene una apariencia poco natural, luce extraño y no tiene ningún parecido con el humano real debido a que es perfectamente simétrico, si se comparan la imagen de referencia con el lado derecho del modelo, sobre todo en el rostro, se puede apreciar que no coinciden (fig. 3.40). En el ojo derecho este error es más visible. Se creó otro deformador Lattice para modificar la geometría de la cabeza y se posicionaron los vértices de manera que coincidieran con la imagen de referencia (fig. 3.41).

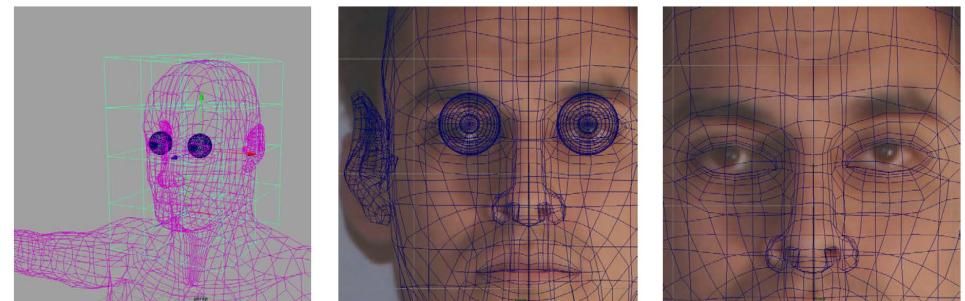


Fig. 3.41 Errores de simetría.

En el ombligo se extruyeron sus caras varias veces y se le dió forma acomodando los vértices, proceso que es más fácil en esta etapa del modelado (fig. 3.42).

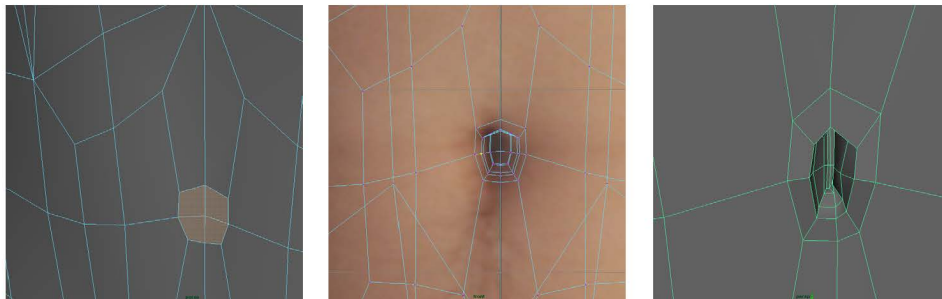


Fig. 3.42 Ombligo.

En la zona de la escotadura yugular solo se ajustaron los edges para tener una mejor estructura topológica formando 6 caras más. (fig. 3.43).

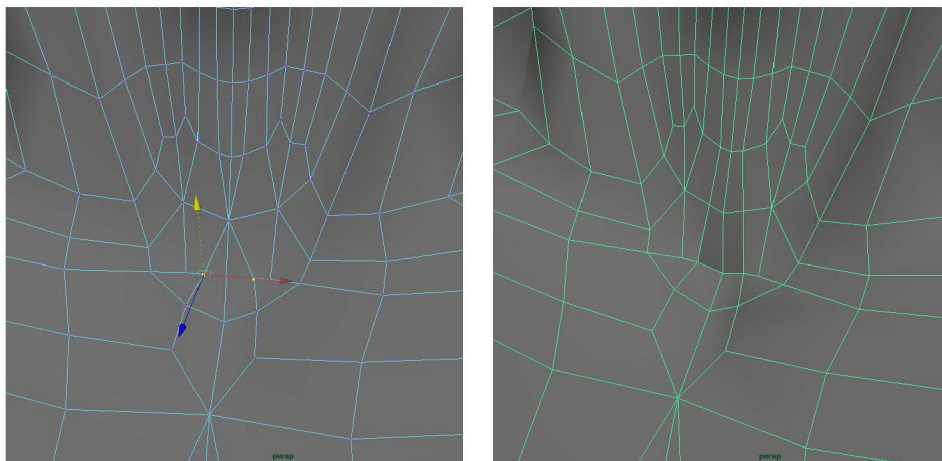


Fig. 3.43 Ajustes en la escotadura yugular.

La estructura del pectoral mayor también requería ajustes, ya que este músculo se inserta en el surco intertubercular del humero, por lo tanto se reconstruyeron algunos edges del hombro y del bíceps para darle esa continuidad (figs. 3.44). La geometría al final se ajusta con la herramienta Sculpt Geometry Tool para evitar que existan superficies irregulares.

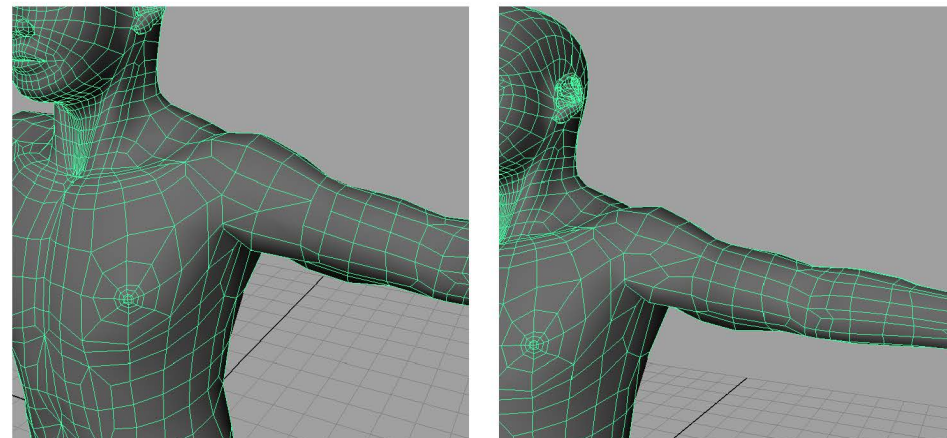


Fig. 3.44 Ajuste en el pectoral mayor.

Las cejas y pestañas pueden ser creadas una por una o con un mapa de transparencia aplicado a un polígono. Se decidió que lo más conveniente es utilizar el mapa de transparencia debido a que su realización no requiere tanto tiempo. La carúncula lagrimal y el pliegue semilunar se modelaron separadamente usando un torus y un cubo respectivamente (fig. 3.45).

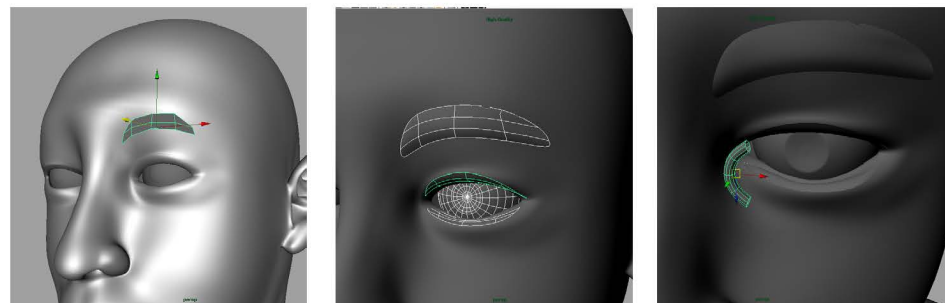


Fig. 3.45 Detalles en la zona ocular.

## 3.2 Mapas UV y textura.

El mapa UV original era incorrecto ya que estaba desordenado y no tenía ninguna forma aparente, para modificarlo, se utilizaron 3 proyecciones: esférica, planar y automática, debido a que la geometría del modelo es bastante complicada y se necesitan varios planos para poder acomodar los UVs. Estas proyecciones

son aplicadas seleccionando únicamente las caras de la zona que se va a proyectar. En el caso del cuerpo, todas sus caras fueron seleccionadas y se aplicó una proyección automática. Esta proyección genera muchas caras sueltas, para unirlos, son seleccionados sus edges y se utiliza la herramienta Move and Sew UVs. Para facilitar el proceso, fueron seleccionados en el modelo una fila de edges que dividen al cuerpo por un costado a la mitad (en parte anterior y posterior) y en la ventana UV Texture Editor esos edges fueron cortados usando la herramienta Cut UV Edges, logrando seleccionar todos los edges y unirlos con la herramienta Move and Sew UVs, se cuidó que no se unieran los planos anterior y posterior deseleccionando los edges que forman parte de ambos generando como resultado dos planos. Para darles una mejor forma a estos planos se emplea la herramienta Unfold UVs. En la cabeza se aplica una proyección esférica y seleccionando únicamente el rostro se aplica una proyección planar. Por último, pensando en la forma más conveniente de mezclar las imágenes, y evitar cortes al aplicar la textura al modelo, se acomodaron todos los UVs y se reestructuraron: los dos planos del cuerpo fueron unidos en uno solo y se recortaron por los edges inferiores del latísimo del dorso para después ser desplegados y formar un solo plano, las manos, los dedos de la mano, los dedos del pie, la planta del pie y las orejas fueron separadas para poder aumentar su detalle (fig. 3.46).

Los UVs se exportaron como JPEG a Photoshop en donde sirvieron como guía para crear la imagen de la textura. Para este propósito, se realizó otra sesión fotográfica debido a que las imágenes de referencia no tienen la suficiente resolución para ser empleadas en la textura. Se fotografiaron detalles del rostro, los pies, el pecho, etc. En Photoshop se unieron las fotos tratando de no generar cambios tonales bruscos. Debido a la forma en que estuvieron posicionados los UV, cuando la textura fue aplicada al modelo, mostraba una serie de "cortes" en la superficie, se decidió unir las UV del cuerpo con las de la espalda para que la textura mostrara mayor continuidad.(fig. 3.47).

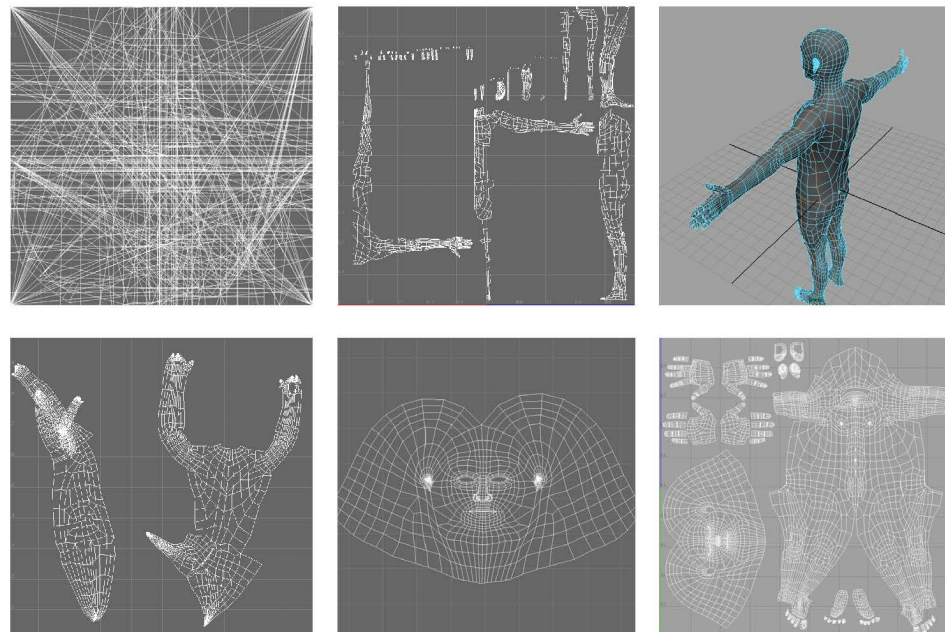


Fig. 3.46 UVs.

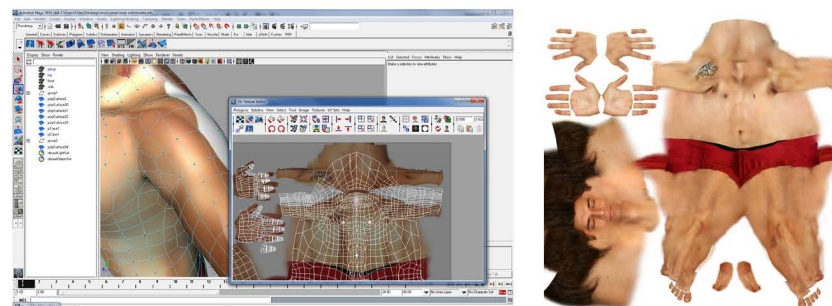


Fig. 3.47 Textura.

Para desvanecer esas uniones o cortes es necesario un programa que permita pintar objetos en 3D, Photoshop tiene esas funciones, sin embargo, Zbrush es más accesible en este tipo de herramientas (fig. 3.48).



Fig. 3.48 Corrección de la textura en Zbrush.

El modelo fue construido con los ojos abiertos, para mantener el detalle de los párpados al cerrarse, los UVs se modificaron para simular que los ojos están cerrados (fig. 3.49).

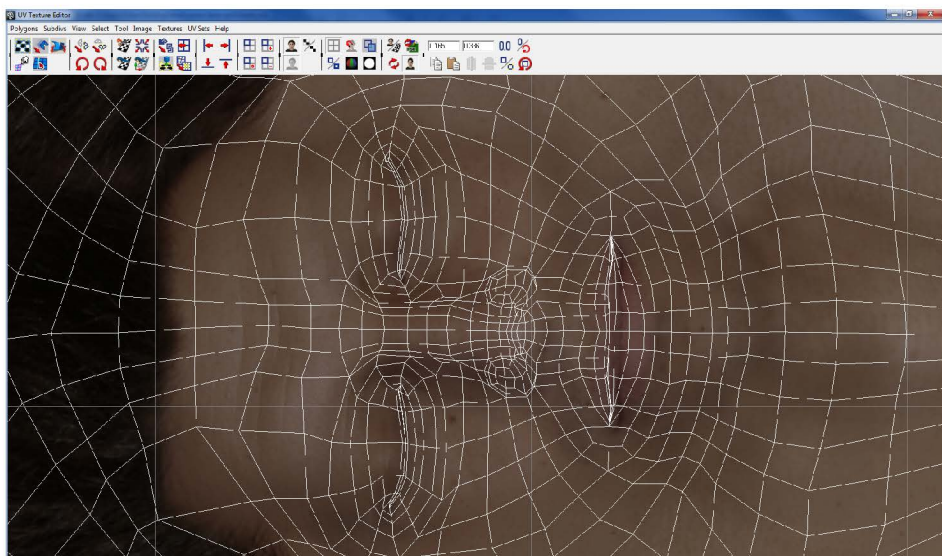


Fig. 3.49 Ajuste de los UVs correspondientes a los párpados.

### 3.3 Joints.

Los joints encargados de las deformaciones básicas del cuerpo, tienen una estructura bastante simple que simula —en la animación—

el sistema óseo del cuerpo humano, hay huesos que no se colocan de acuerdo a como se encuentran en la realidad, por ejemplo, el cúbito y el radio son representados con un solo joint a pesar de ser dos huesos separados. Por otra parte, debido a que existen ciertos huesos que generan deformaciones en el cuerpo, tendrán que ser modelados para crear efectos de deslizamiento, ejemplos de esos huesos son las costillas y la escápula. Los joints se colocan siguiendo la posición con la que el modelo fue creado, las piernas y los brazos, aunque están extendidos, tienen una ligera flexión, misma que se imita en la posición de los joints.

La cadena de joints se emparenta a un joint principal o raíz. Dicho joint es el primero en crearse para posteriormente generar los joints de la columna vertebral, del cuello y de la cabeza respectivamente. Cada joint debe tener un nombre específico que tenga relación con su función o la parte que representa (columna 1, antebrazo, fémur). Los joints de los brazos son emparentados del joint `clavícula_izq` al joint `columna5`. Los dedos de las manos se emparentan con el joint `izq_muneca`. Debido a que el movimiento del I metacarpiano es libre, para el pulgar se crearon 3 joints como si tuviera una falange media, de otra forma no simularía correctamente el movimiento del pulgar. Para la pierna se crearon tres joints: `izq_femur`, `izq_tibia_perone` y `izq_tobillo`. Los dedos de los pies son emparentados al joint `izq_tobillo`. La cabeza está compuesta por 3 joints (cuello,

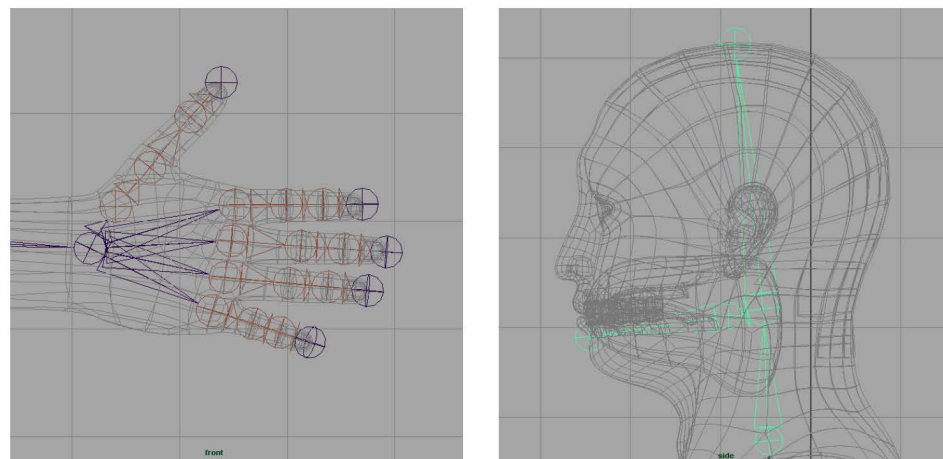


Fig. 3.50 Joints de la mano y la cabeza.

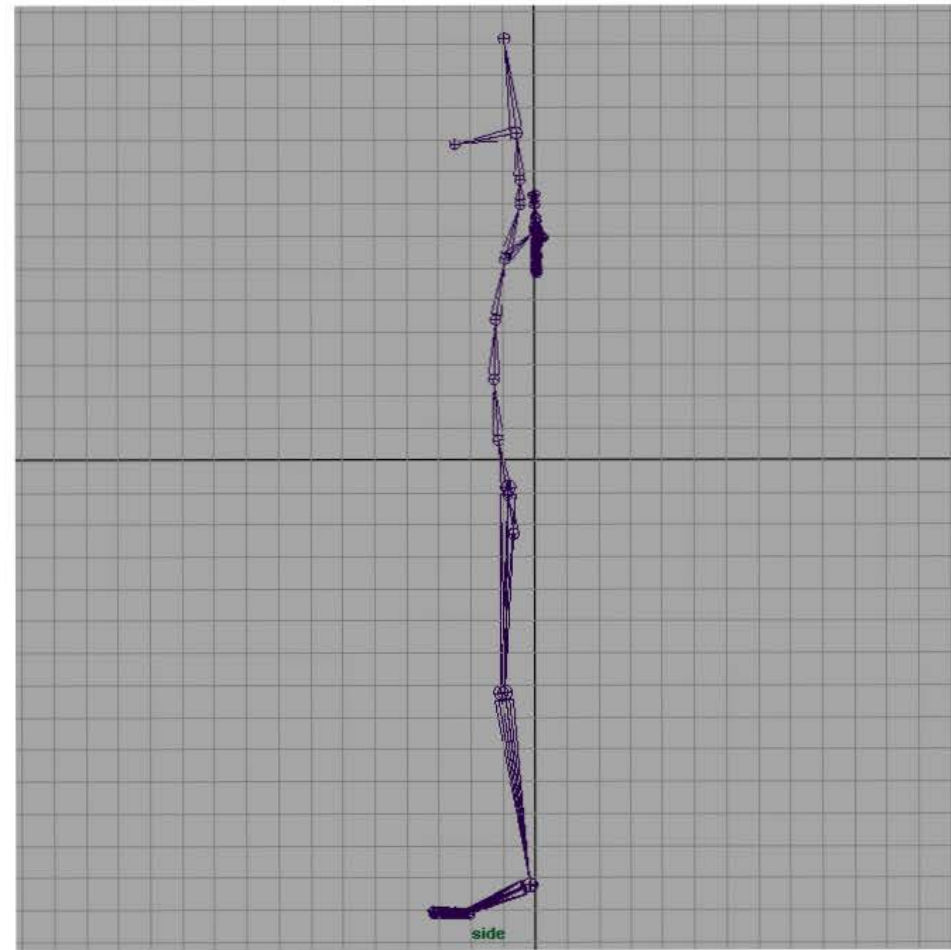
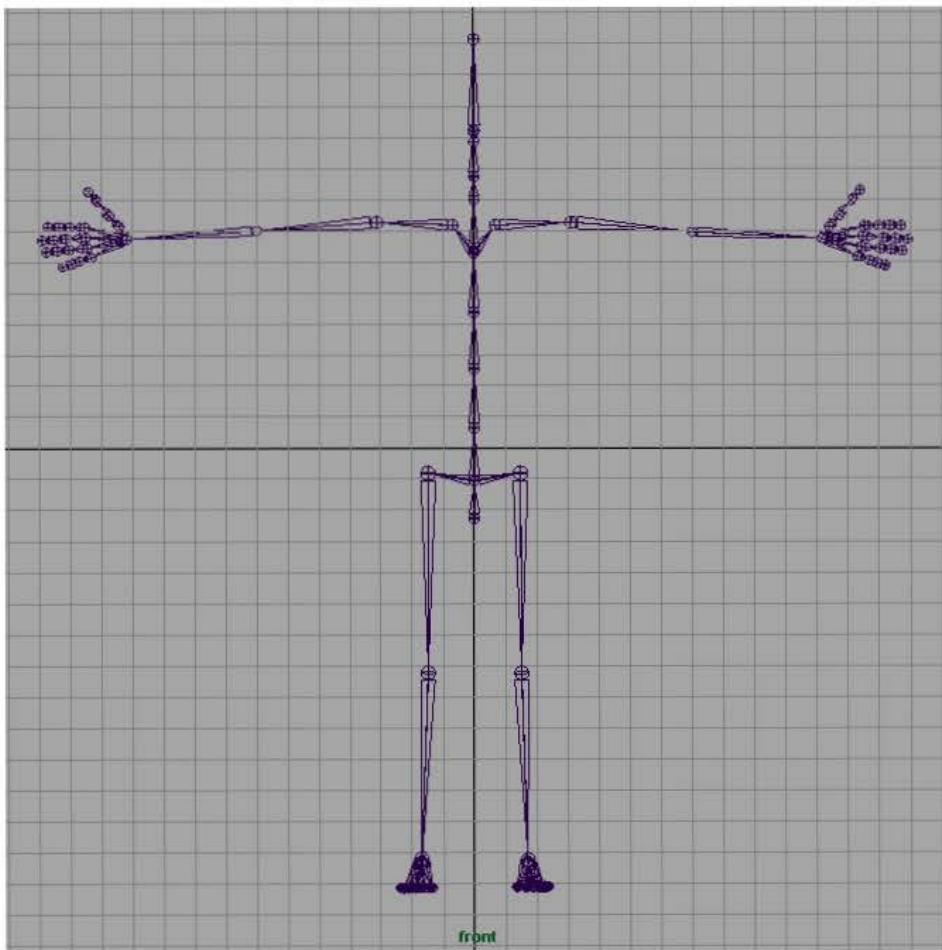


Fig. 3.51 Esqueleto formado por joints.

cabeza y cabezaPunta), del joint `cabeza` surge el joint `boca` que se encargará del movimiento de la mandíbula.(figs. 3.50 y 3.51).

## 3.4 Cinemática Inversa, IK Handles y controladores.

La cinemática inversa es una herramienta que funciona

seleccionando dos joints de una cadena para determinarlos como extremos y se empleada para automatizar el movimiento que existe entre ellos. El software ofrece tres tipos de cinemática inversa:

- IK SC (single chain): controla la orientación y posición
- IK RP (rótate plane): controla la posición, la orientación es manipulada por un constrain llamado pole vector.
- IK Spline Handle: controla la cadena de joints por medio de una curva.

Entre los joints `columna1` y `columna6` se crea un IK Spline

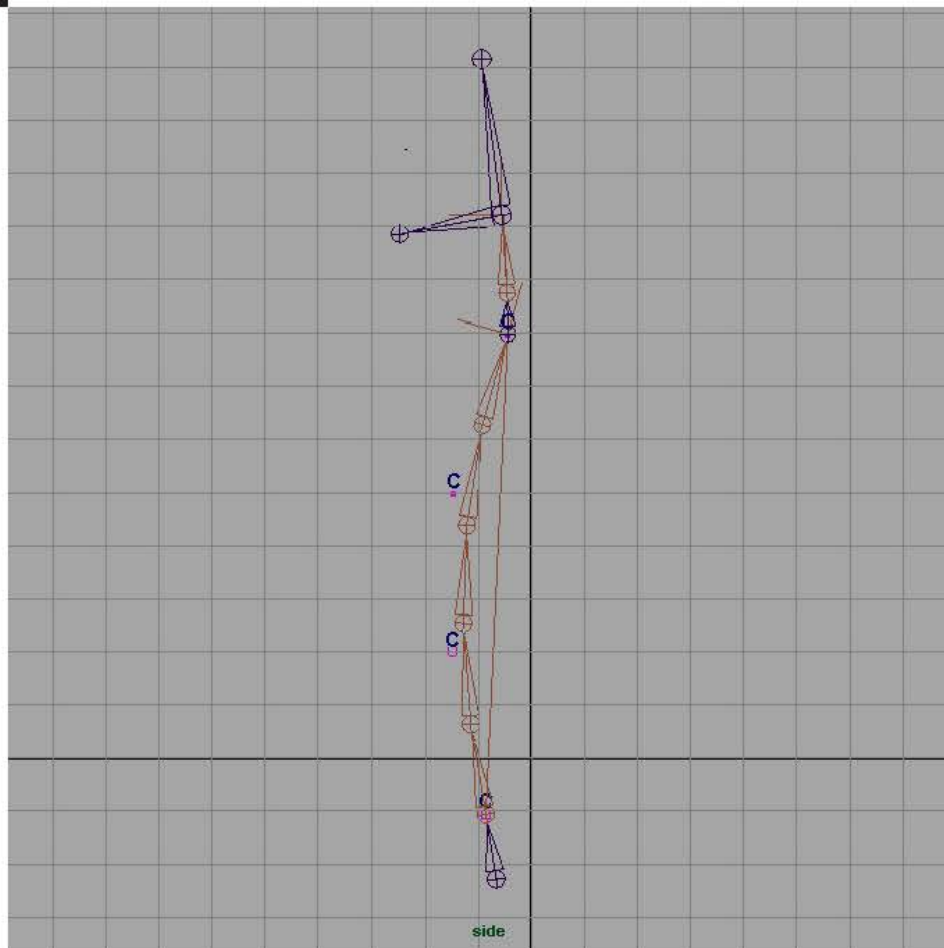


Fig. 3.52 IK Spline Handle de la columna con los Cluster colocados.

Handle que es utilizado para mover la zona del tronco. Para manipular la curva se emplea el deformador Cluster (Animation/ Create Deformers/Cluster) en cada uno de sus Control Vertex (fig. 3.52).

Los joints no se manipulan directamente, se hace uso de controladores que son emparentados o conectados a los joints. Los controladores son creados usando curvas (fig. 3.53).

En los joints de las piernas y de los brazos, se utilizan los IK RP. El IK RP del brazo se conecta del joint `izq_humero` al joint `izq_muneca`, el IK RP de la pierna va del joint `izq_femur` al

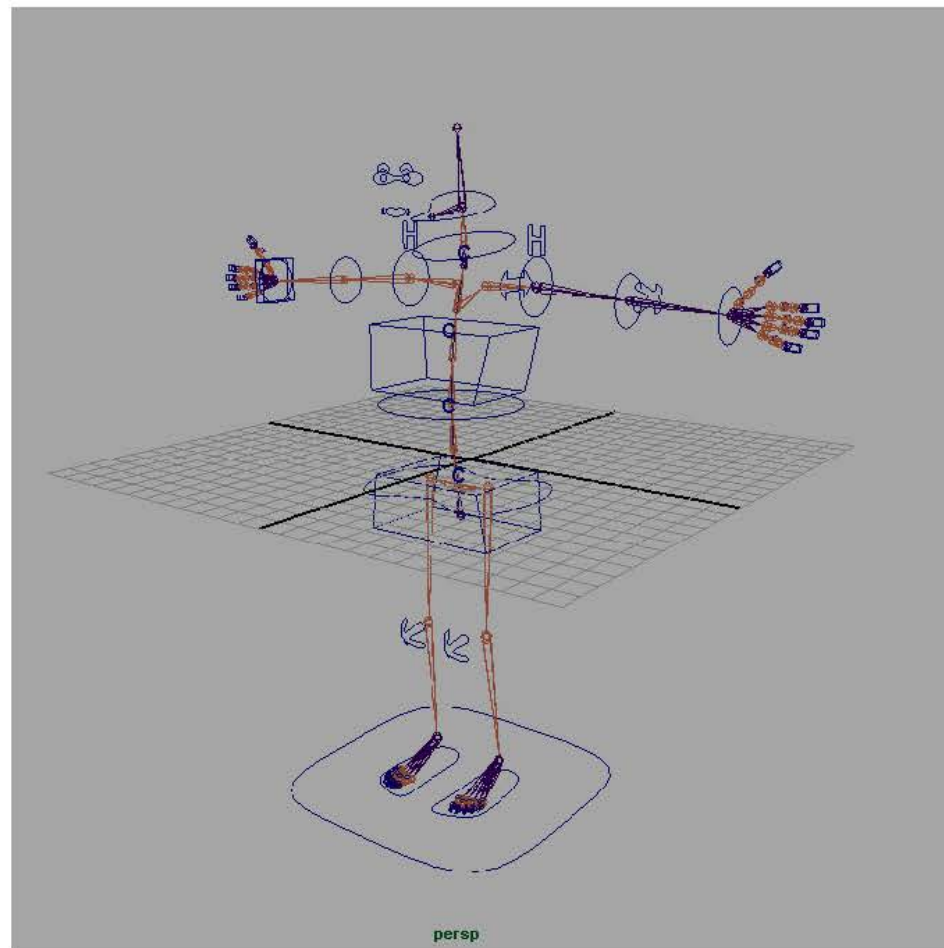


Fig. 3.53 Controladores.

joint `izq_tobillo`. Ambos IK RP fueron conectados con el constrain Pole Vector a un controlador frente a la rodilla y al codo respectivamente (fig. 3.54).

Desde el joint `izq_clavicula` al joint `izq_humero`, se empleó un IK RP. Para los dedos de la mano y de los pies, también se utiliza el IK RP conectando las falanges proximales con las distales utilizando un controlador para cada dedo como Pole Vector (fig 3.55). Este procedimiento presenta errores en los dedos de la mano que se analizarán más adelante.

Los métodos para emparentar los controladores son de forma directa (utilizando el comando Parent) y con constrains

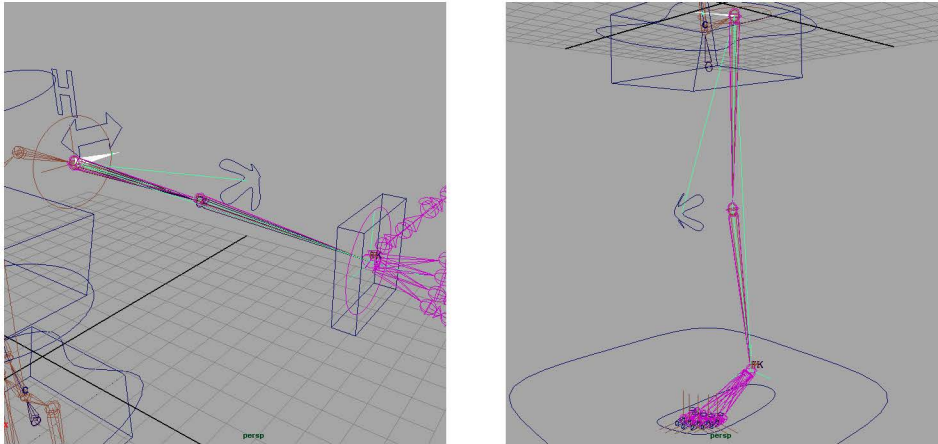


Fig. 3.54 IK del brazo y la pierna.

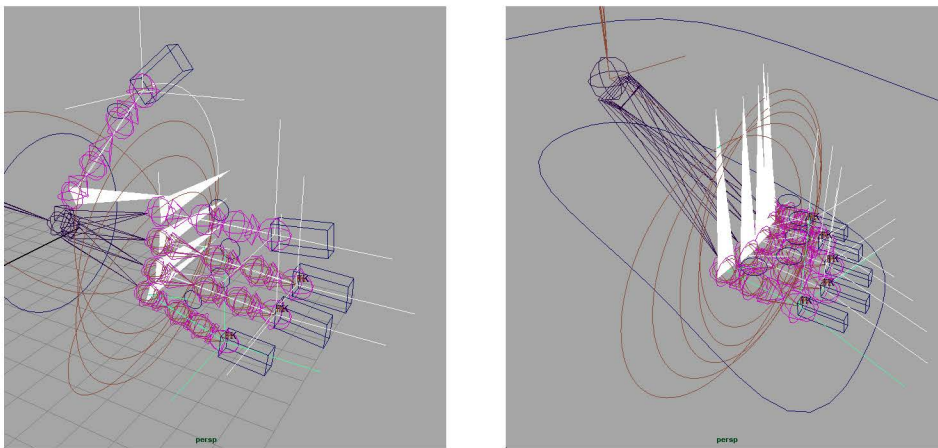


Fig. 3.55 IK de los dedos.

(Animation/Constrain). Existen cinco tipos básicos de constrains: Point, Aim, Orient, Scale y Parent.

Dependiendo del tipo de constrain, se conectan los valores correspondientes de los joints, clusters o IK a los controladores.

### Ventanas Connection Editor y Set Driven Key

La ventana Connection Editor (General Editors/ Connection Editor), permite conectar entre sí atributos de diferentes objetos. como en el controlador `hombro_izq` al cual se le agrega el atributo `Clavicula Twist` (Channel Box/Edit/add Attribute) para conectarlo con el `Twist` del `IKRPclaviculaIzq`. En la ventana

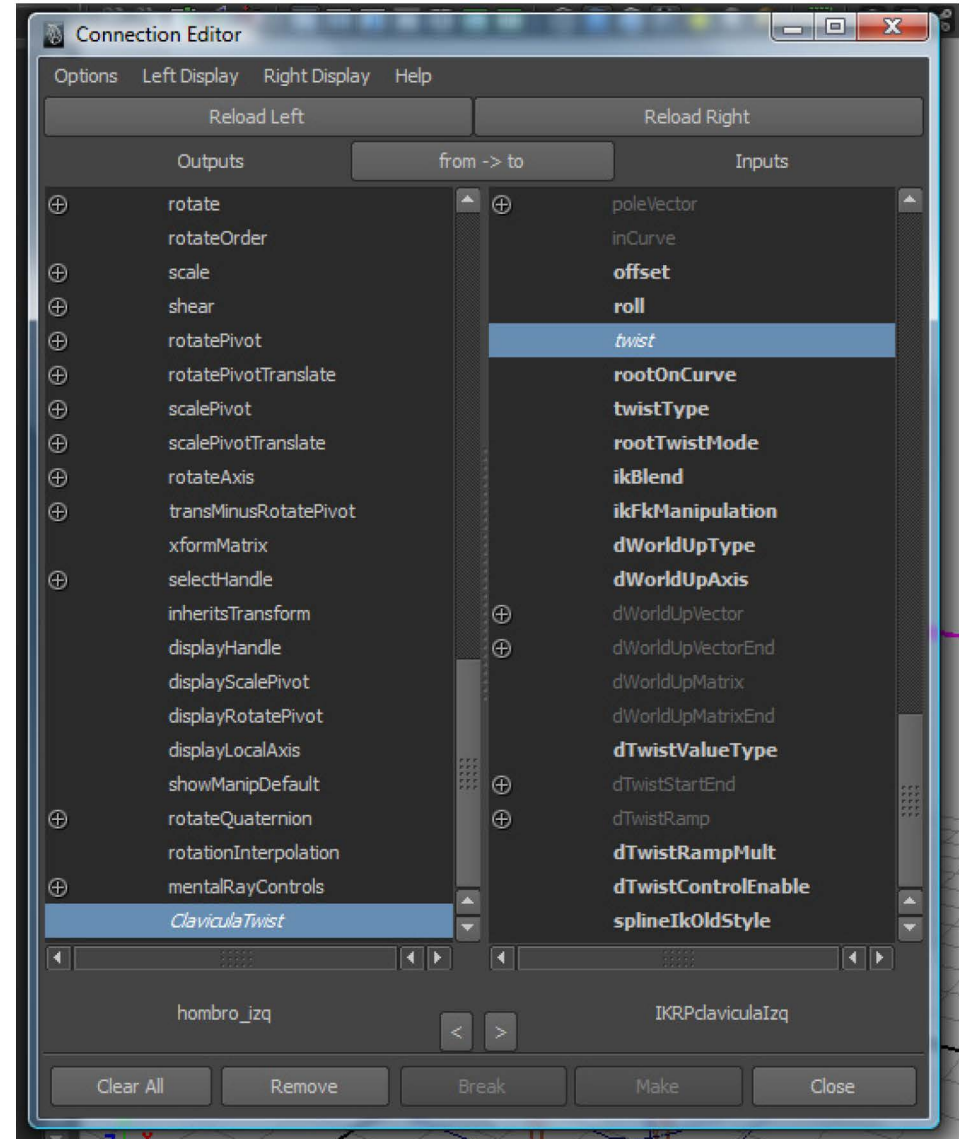
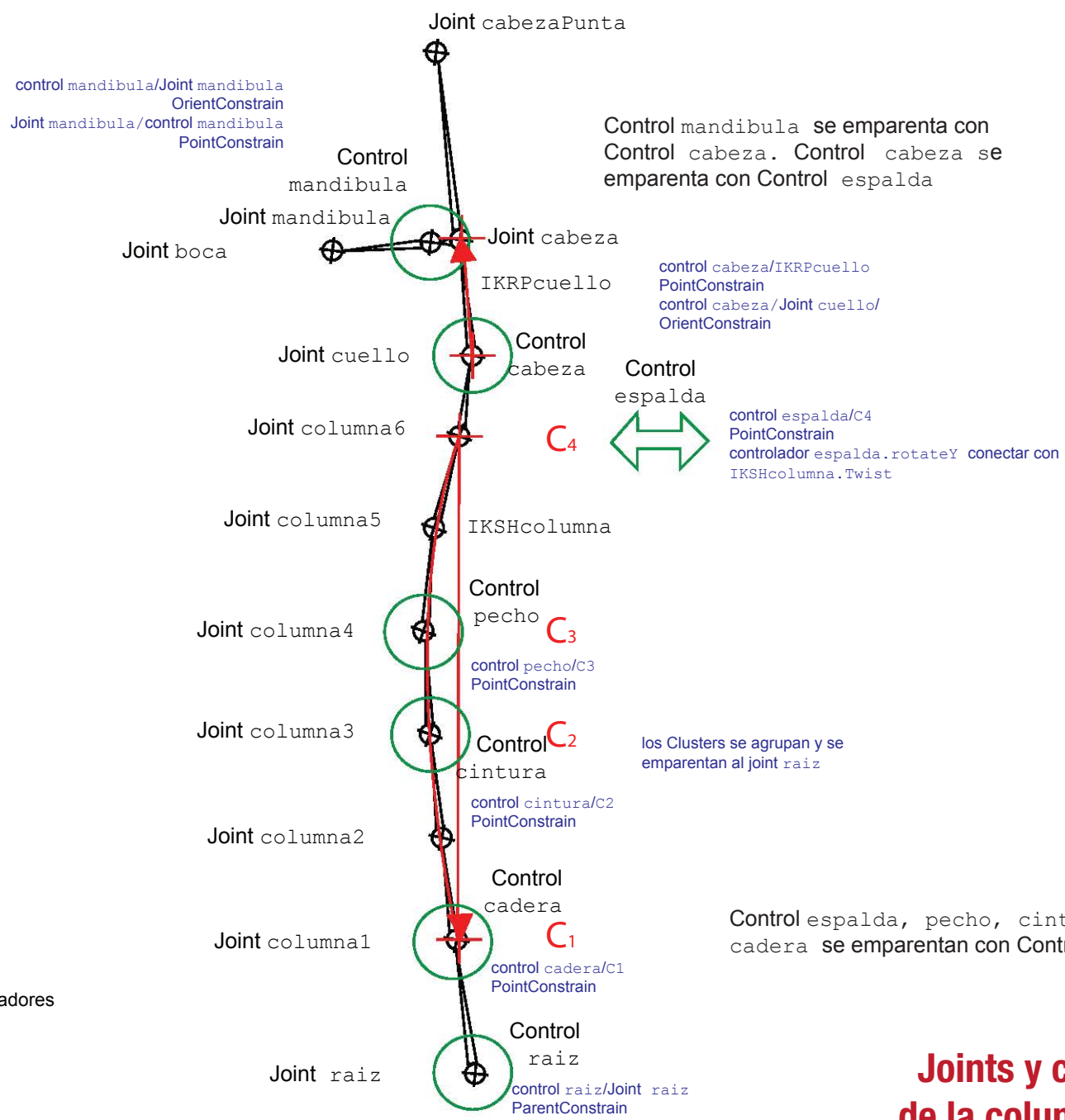


Fig. 3.56 Ventana del Connection Editor

del Connection Editor se carga del lado izquierdo el controlador `hombro_izq` y del derecho el `IKRPclaviculaIzq`, el atributo `Clavicula Twist` (lado izquierdo) es seleccionado, de igual forma con el atributo `Twist` (lado derecho) (fig. 3.56).

Los siguientes esquemas muestran la posición de los controladores y las conexiones con los joints.

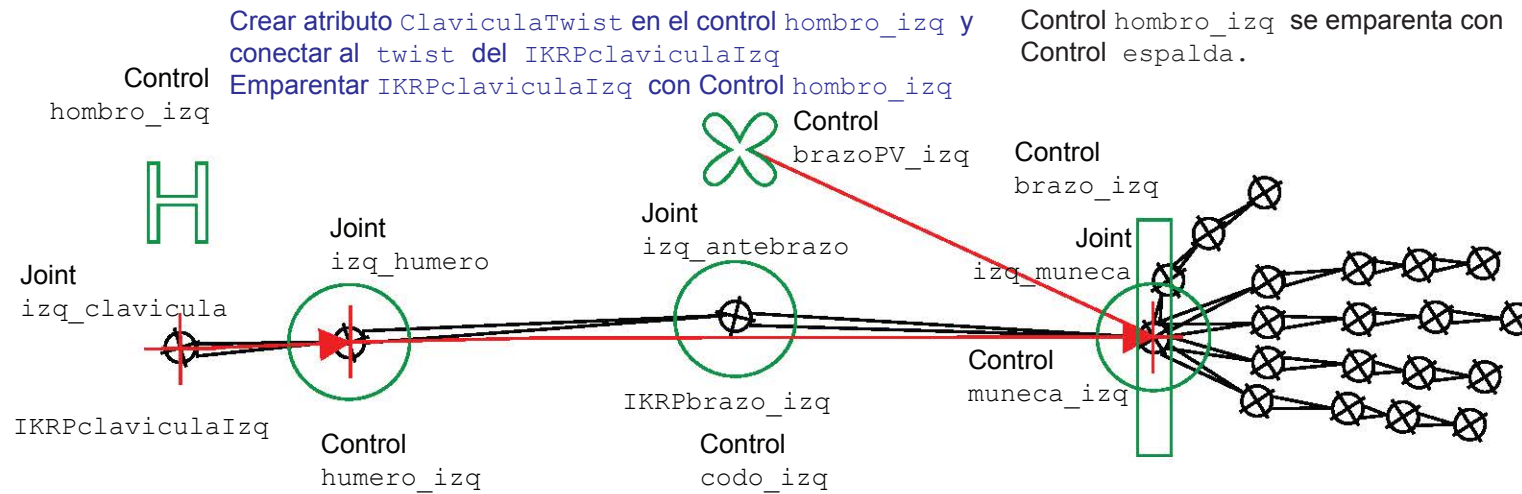


- C Cluster
- Controladores
- IK

## Joints y controladores de la columna y cabeza



■ Controladores  
■ IK



Crear atributo ClaviculaTwist en el control hombro\_izq y conectar al twist del IKRPclaviculaIzq  
Emparentar IKRPclaviculaIzq con Control hombro\_izq

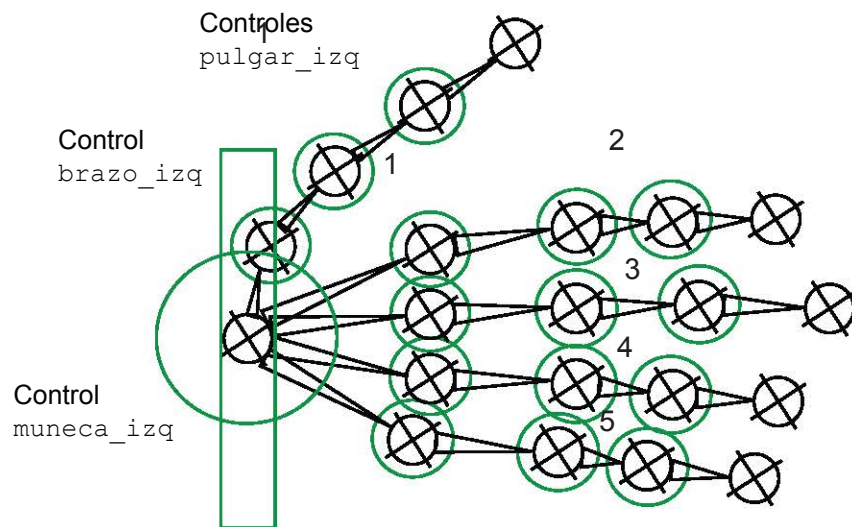
Control hombro\_izq se emparenta con Control espalda.

Joint izq\_humero/Control hombro\_izq  
PointConstrain  
Control hombro\_izq/Joint izq\_humero  
OrientConstrain

Joint izq\_antebrazo/Control codo\_izq  
PointConstrain  
Control codo\_izq/Joint izq\_antebrazo  
OrientConstrain

Joint izq\_muneca/Control muneca\_izq  
PointConstrain  
Control muneca\_izq/Joint izq\_muneca  
OrientConstrain

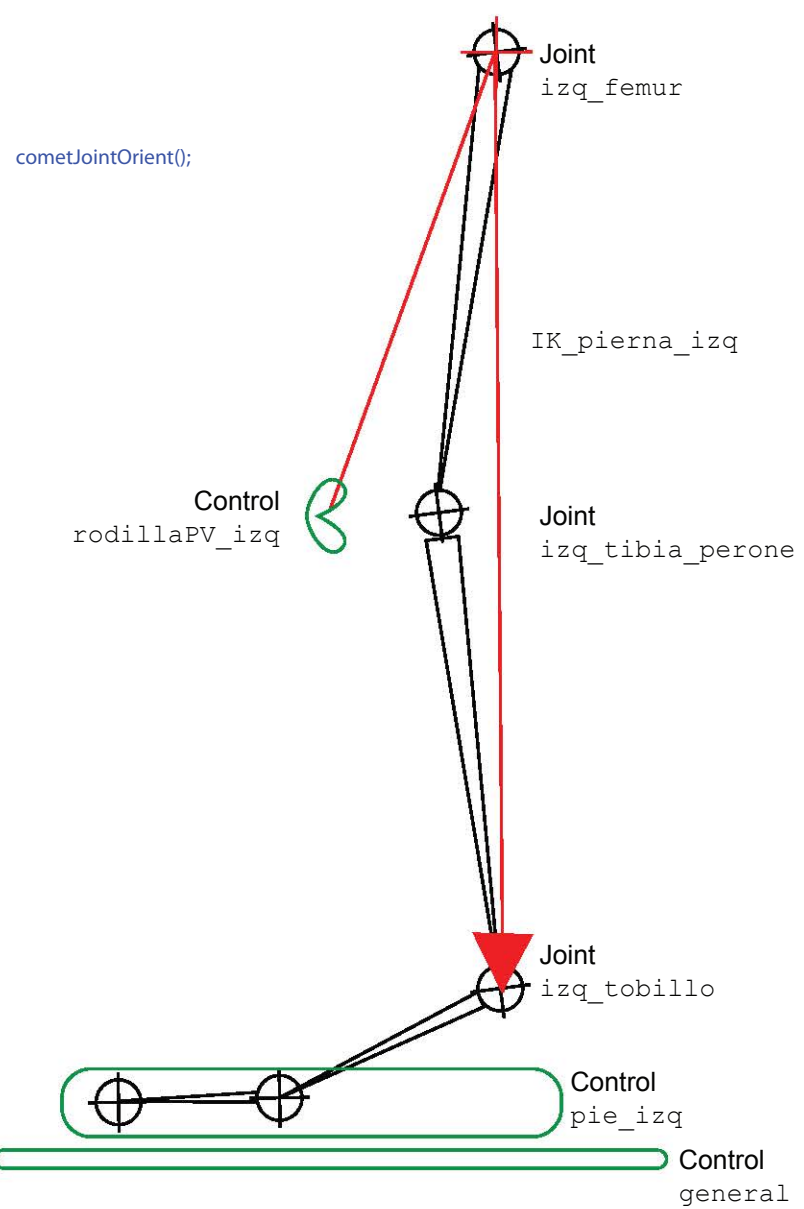
Crear atributo IKBlendOff en el control izq\_muneca y conectar mediante Set Driven Key al IK Blend del IKRPbrazo\_izq y a Visibility de los controladores humero\_izq, codo\_izq y viceversa a los controladores brazo\_izq y brazoPV\_izq



1. Controles pulgar\_izqPV
2. Controles indice\_izqPV
3. Controles medio\_izqPV
4. Controles anular\_izqPV
5. Controles menique\_izqPV

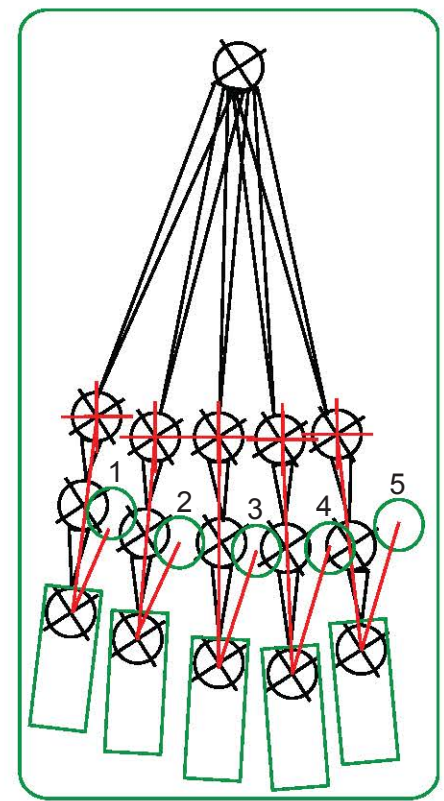
## Joins y controladores del brazo

■ Controladores  
■ IK



controladoresGRP/Control general  
Parent y Scale Constrain

jointsGRP, ikGRP/Control general  
Scale Constrain



Control pie\_izq

1. Control d1PV\_izq
2. Control d2PV\_izq
3. Control d3PV\_izq
4. Control d4PV\_izq
5. Control d5PV\_izq

Control d5\_izq    Control d3\_izq    Control d1\_izq  
Control d4\_izq    Control d2\_izq

## Joints y controladores de la pierna

La ventana Set Driven Key (Animation Menu/Animate/Set Driven Key/Set fig. 3.57) conecta atributos mediante la animación por key frames. Un objeto adquiere la función de controlador (Driver) y otro de controlado (Driven). Se puede emplear para habilitar o deshabilitar funciones. Un ejemplo es el atributo IK Blend del IK RP de los brazos (IK\_brazo\_izq, ya que se está trabajando el lado izquierdo) que lo habilita o deshabilita. En algunas ocasiones no se logra el movimiento de los brazos como es deseado y es necesario deshabilitar el IK\_brazo\_izq, para lograrlo puede hacerse desde el mismo IK o agregar un atributo del tipo Boolean (on/off) al controlador muneca\_izq -que se nombra IKBlendOff para evitar confusiones con el original- y conectarlo mediante el Set Driven Key al IK Blend del IK\_brazo\_izq. El movimiento del brazo cuando el IK\_brazo\_izq esta deshabilitado, se logra con dos controladores extra: humeroControl\_izq y codo\_izq (fig.3.58), los cuales estarán conectados a sus respectivos joints mediante constrains y su atributo Visibility se conecta con el atributo IKBlendOff del controlador muneca\_izq para que sean visibles cuando el IKBlendOff este habilitado (on) e invisibles cuando se deshabilite (off) y viceversa con el atributo Visibility de los controladores brazo\_izq y brazoPV\_izq, de esta forma su manipulación dependerá de si se emplea el IK\_brazo\_izq. En las piernas se puede aplicar el mismo procedimiento. La siguiente tabla muestra las conexiones.

Controles	IKBlendOff (on)	IKBlendOff (off)
humeroControl_izq	Visibility On	Visibility Off
codo_izq	Visibility On	Visibility Off
brazo_izq	Visibility Off	Visibility On
brazoPV_izq	Visibility Off	Visibility On
IK Blend (IK_brazo_izq)	Off	On

### Detalles finales.

Los controladores, los joints y los IK cuelloIK y columnaIK, se agrupan separadamente, dando como resultado 3 grupos:



Fig. 3.57 Ventana Set Driven Key

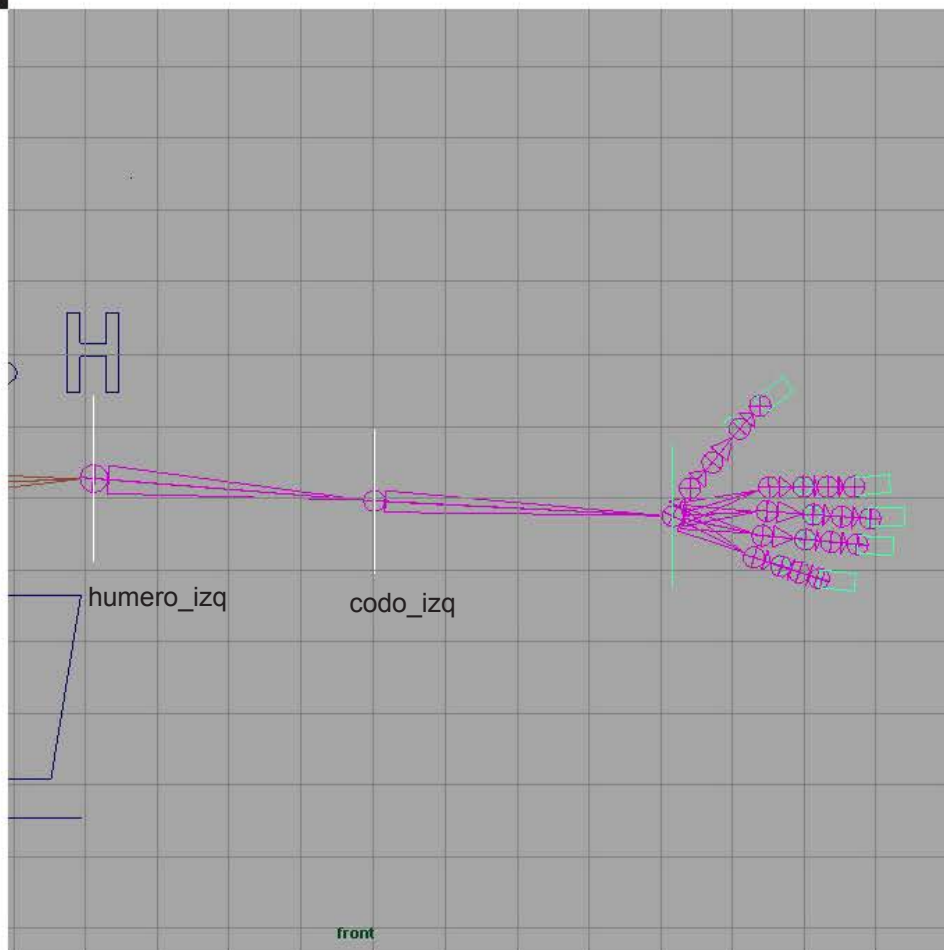


Fig. 3.58 Controladores independientes del brazo: humeroControl\_izq y codo\_izq .

controladoresGRP, ikGRP y jointsGRP. El grupo controladoresGRP se emparenta al control general mediante los constrain Parent y Scale, los grupos jointGRP e ikGRP lo hacen utilizando únicamente el Scale constrain.

Cuando se mueven los joints para ajustar su posición acorde con el modelo, pierden su orientación, por lo que es necesario volver a orientarlos y así evitar problemas con el movimiento, utilizando la herramienta Orient Joint. También se puede emplear el script de Michael Comet, cometJointOrient, de su página puede descargarse libremente entre muchos otros scripts: <http://www.comet-cartoons.com/melscript.php>.

## 3.5 Esqueleto.

Como se mencionó anteriormente, la estructura ósea es diferente a la de los joints, hay huesos, como las costillas o la escapula, que no son creados en la cadena de joints, pero su presencia afecta y da forma a la piel (efecto de Sliding), por lo tanto son modelados por separado usando polígonos. Dentro del plug-in MayaMuscle existe la herramienta Convert Surface to Muscle/Bone (Muscle/Muscles Bones) mediante la cual, seleccionando de uno en uno los joints les agrega una Capsule a cada joint seleccionado. Alternativamente, si el modelo ya cuenta con un skinCluster, al emplear la herramienta Convert Smooth Skin to Muscle System, las Capsules serán generadas automáticamente en cada joint. Las Capsules funcionan como los joints pero tienen forma y volumen, lo que les permite ser usadas para efectos de Sliding<sup>1</sup>. Debido a la naturaleza de esta investigación, fue conveniente modelar un esqueleto para conectarle los músculos y emplearlo en lugar de las Capsules (fig. 3.59). Otra función de las Capsules es que mediante su uso se puede ver claramente la orientación de los joints.



Fig. 3.59 Esqueleto y Capsules



Convert Smooth Skin to Muscle System



Smooth Bind



Convert Surface to Muscle/Bone



Paint Skin Weights Tool

<sup>1</sup>. <http://download.autodesk.com/us/maya/2010help/>

## 3.6 Smooth Bind.

La cadena de joints se conecta con el modelo mediante el Smooth Bind. Esto permite animar el personaje. Debido a que el Smooth Bind es calculado por el programa, pueden generarse errores al animar debido a la cercanía entre los vértices en algunas partes del modelo, por lo tanto, hay que indicar de forma manual el nivel de influencia que tendrán los joints sobre la geometría, este proceso se lleva a cabo con la herramienta Paint Skin Weights Tool. Se realizó un ejemplo de cómo se deforma la

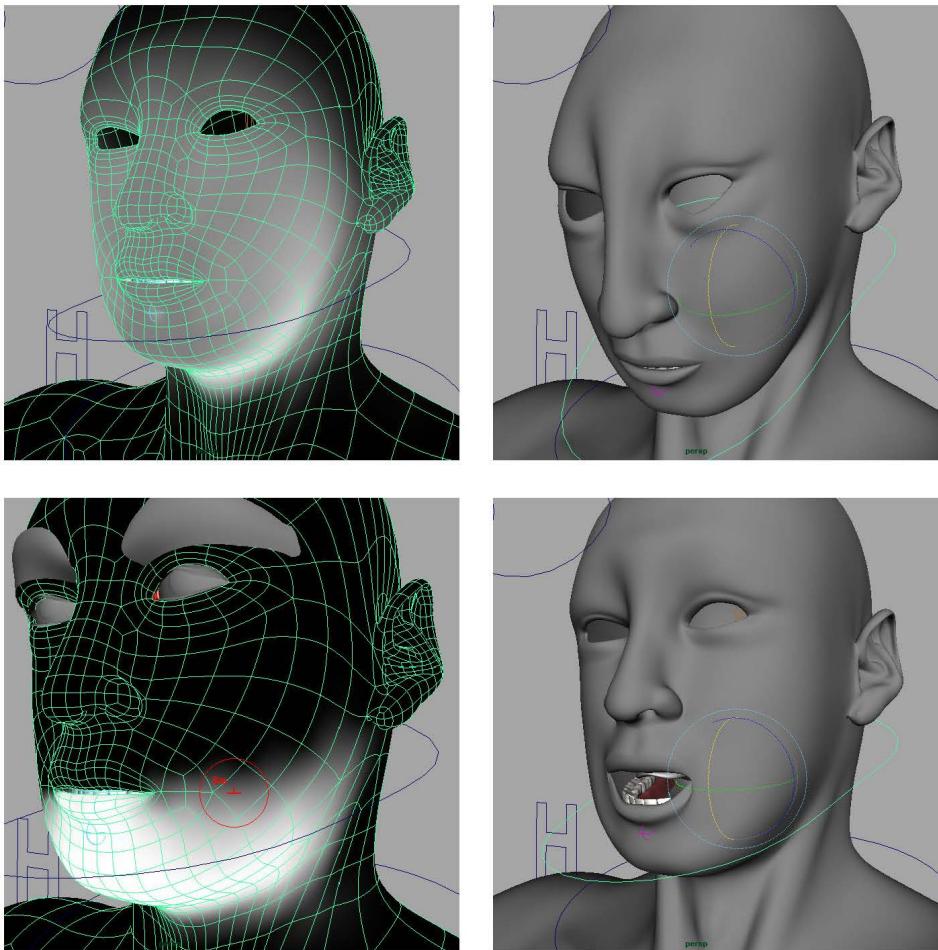


Fig. 3.60 Error y corrección en la mandíbula.

geometría con el cálculo automático y como se realiza después de indicar manualmente la zona afectada (videos/capitulo3/01 erroresWeights.mov). Para identificar las zonas con error, se mueve el personaje y se observa si las deformaciones son correctas (fig 3.60).

## 3.7 Sistema muscular.

El cuerpo humano está constituido de 40 a 50 % por tejido muscular<sup>2</sup>, al ser demasiados músculos, no tiene caso crearlos todos puesto que muchos de ellos no generan deformaciones en la piel de manera visible y el software podría colapsar con tanta información. Los músculos superficiales y algunos intermedios fueron los que se desarrollaron en el modelo 3D. Algunos músculos no se insertan directamente en los huesos, pero como la finalidad de este proyecto es la simulación del movimiento y no la representación fidedigna de las inserciones reales, todos los músculos desarrollados fueron conectados al esqueleto modelado, es decir, a los huesos, teniendo claramente la posición de sus inserciones. Se utilizó la herramienta Muscle Creator para generar los músculos. Al ejecutarla se abre una ventana con dos pestañas: Create y Edit (fig. 3.61), en la primera pestaña se insertan los valores que tendrá el músculo, en la parte inferior se encuentran las opciones para reflejar el músculo, la segunda pestaña funciona para darle forma y modificar sus valores de Rest, Squash y Stretch. El proceso inicio del cuello hacia abajo y de izquierda a derecha, empezando por el esternocleidomastoideo.

Atributo	Valor
Name	esternocleidomastoideo_izq
Num. Controls/Cross Sections	3
Attatch Star	claviculaH_izq
Attatch End	craneoH

<sup>2</sup>. Susan Standring. *Gray's Anatomy: The Anatomical Basis of Clinical Practice*, 39 edición, España, Editorial ELSEVIER CHURCHILL LIVINGSTONE, 2008, pp. 380.

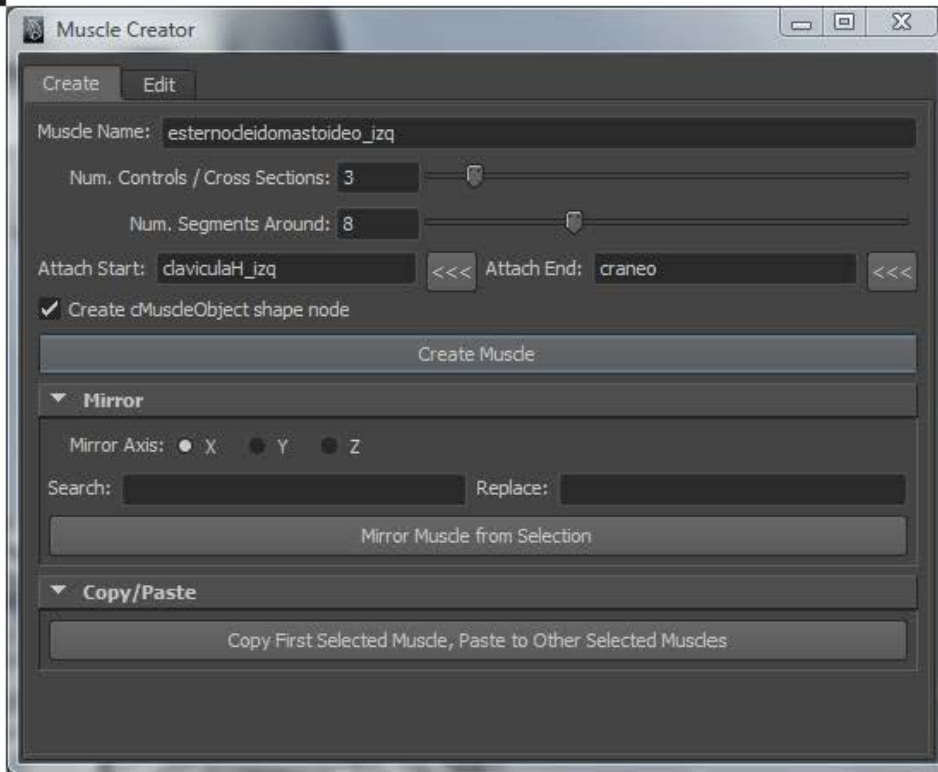


Fig. 3.61 Ventana Muscle Creator/Create.

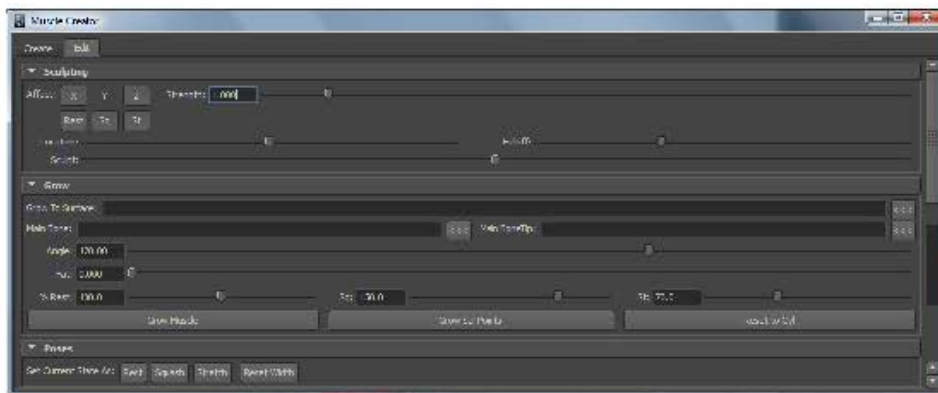


Fig. 3.62 Ventana Muscle Creator/Edit

Al insertar los valores se presiona el botón Create Muscle y se genera una geometría con 2 locators en cada extremo emparentados a los polígonos `claviculaH_izq` y `cráneoH` respectivamente. El músculo generado está mal proporcionado, en la pestaña Edit (fig 3.62) se ajusta su forma con los controles: Location (define la posición en la que el músculo que se modificara) y Sculpt (crece o reduce la parte seleccionada en Location), también puede indicarse si las modificaciones se harán de forma horizontal o vertical (Affect X Y Z). En el caso del esternocleidomastoideo, sus dimensiones se redujeron la misma cantidad vertical y horizontalmente tanto en los extremos como en la parte de enmedio quedando una forma cilíndrica. Los locators se colocaron en la posición de acuerdo a las inserciones del músculo, el esternocleidomastoideo se inserta por medio de sus dos cabezas: la esternal se inserta en la cara anterior del manubrio del esternón, la clavicular, se inserta en la cara superior del tercio medial de la clavícula, la inserción superior se realiza en la cara lateral de la apófisis mastoides del hueso temporal y cara lateral de la línea nugal superior del hueso occipital. Debido a su escaso movimiento, no fue necesario emparentar manualmente un locator al esternón, ambos locators están emparentados a la clavícula. En la inserción superior únicamente se acomodan los locators tomando en cuenta la geometría del modelo (fig. 3.63).

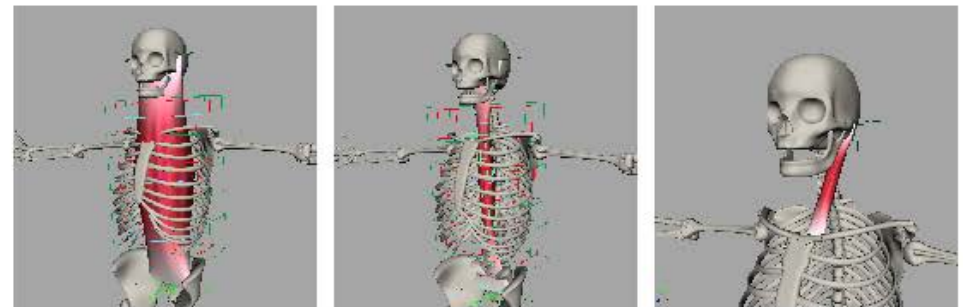


Fig. 3.63 Esternocleidomastoideo.



Muscle Creator

El pectoral mayor, el trapecio y el dorsal, son músculos cuya forma es amplia y tienen inserciones en varios huesos por lo que no pueden resolverse usando solo un músculo. Estos músculos

se modificaron para que su forma fuera plana, usando el valor de Z en la pestaña Edit. Seleccionando los Rest Movers de los músculos se acoplaron sus estructuras a la forma del modelo. El pectoral mayor se inserta proximalmente en la cara anterior de la mitad medial de la clavícula, en la cara anterior del esternón, en los seis primeros cartílagos costales y en la aponeurosis del oblicuo externo y distalmente lo hace en el labio lateral del surco intertubercular del húmero. Se crearon 3 músculos para simular el pectoral mayor: `pectoralMayor1_izq`, `pectoralMayor2_izq` y `pectoralMayor3_izq`. El músculo `pectoralMayor1_izq` está conectado con los huesos `claviculaH_izq` y `humeroH_izq`, `pectoralMayor2_izq` y `pectoralMayor3_izq` están conectados al `esternónH` y al `humeroH_izq` (fig. 3.64).

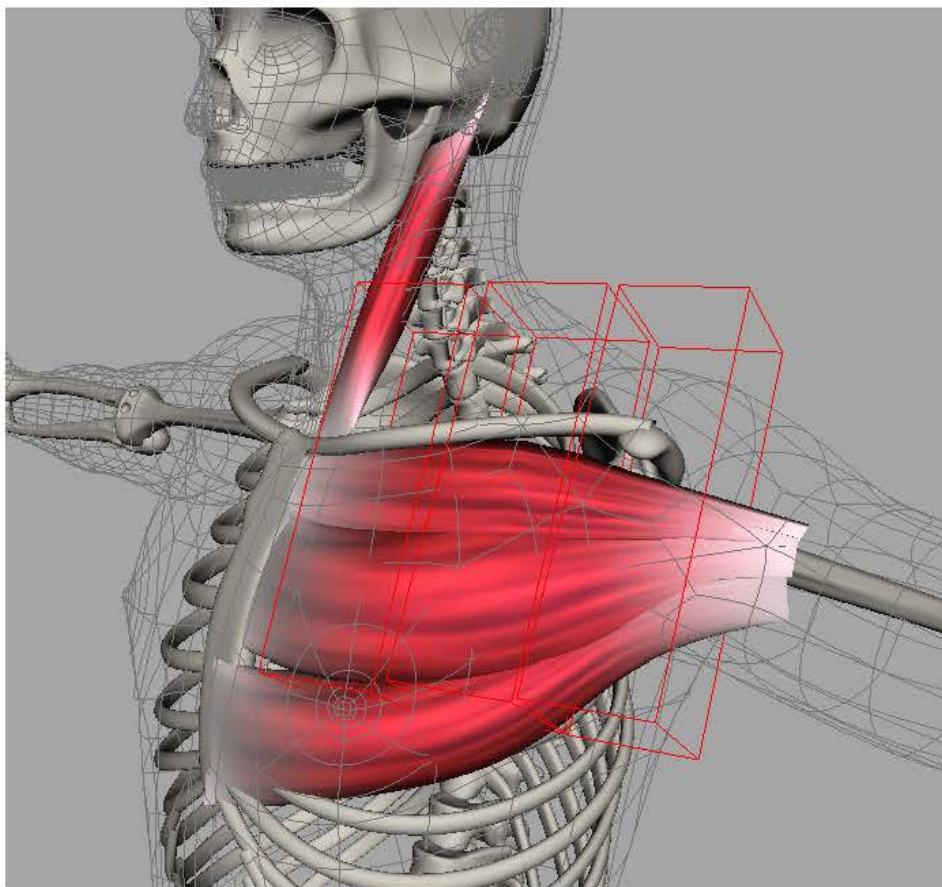


Fig. 3.64 Pectoral mayor.

El trapecio fue formado por 7 músculos debido a su forma y al gran número de inserciones que posee. Se inserta en el tercio medio de la línea superior de la nuca, protuberancia occipital externa, ligamento de la nuca y apófisis espinosas de las vértebras 7 cervical a 12 dorsal, su inserción distal se encuentra en el tercio lateral de la clavícula, acromion y espina de la escápula. (fig. 3.65).

Trapezio	Inserción
1	craneoH - claviculaH_izq
2	vetebraC4 - claviculaH_izq
2b	vertebraD1 - escapula_izq
2c	vertebraD3 - escapula_izq
3	vertebraD6 - escapula_izq
4	vertebraD9 - escapula_izq
5	vertebraD12 - escapula_izq

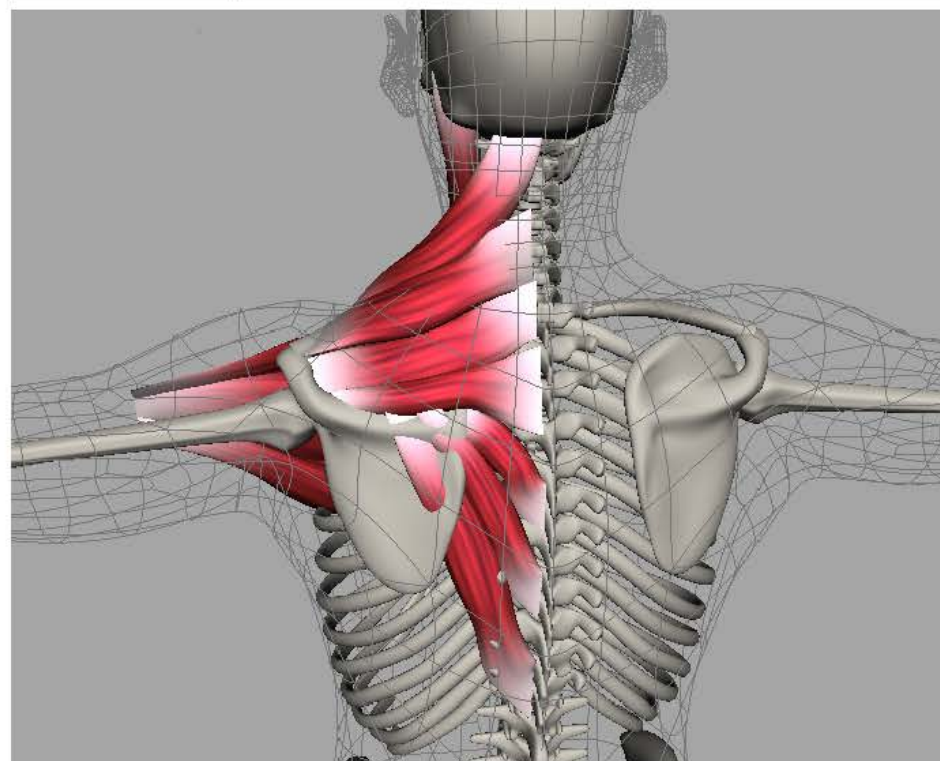


Fig. 3.65 Trapecio.

El músculo dorsal tiene una forma menos compleja que el trapecio, pudo ser resuelto con 5 músculos. Se inserta en las apófisis espinosas de las 6 últimas vertebrales dorsales, fascia toracolumbar, cresta iliaca y 3 o 4 ultimas costillas, su inserción distal se realiza en el suelo del surco intertubercular del húmero (fig. 3.66).

Dorsal	Inserción
1	vertebraD6 - humeroH_izq
2	vertebraD9 - humeroH_izq
3	vertebraD12 - humeroH_izq
4	vertebraL3 - humeroH_izq
5	vertebraL5 - humeroH_izq

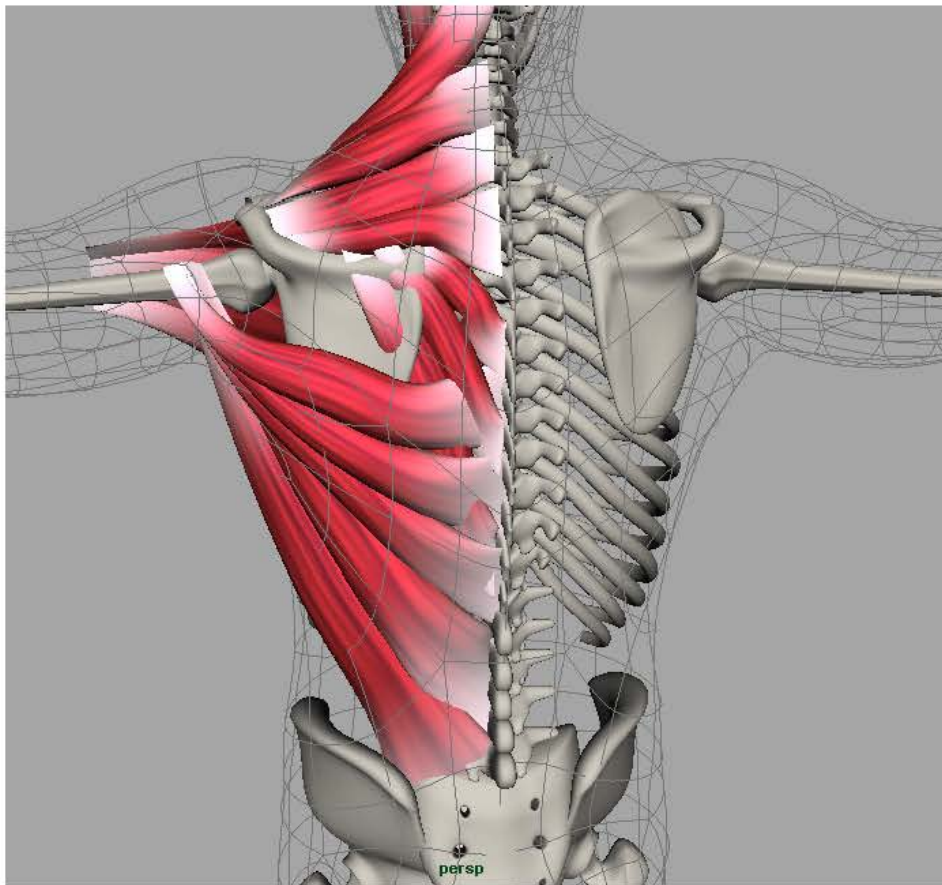


Fig. 3.66 Músculo Dorsal.

El redondo mayor, redondo menor e infraespinoso se insertaron de la `escapula_izq` al `humeroH_izq`, se modificó su forma y se acomodaron los Rest Movers (fig. 3.67).

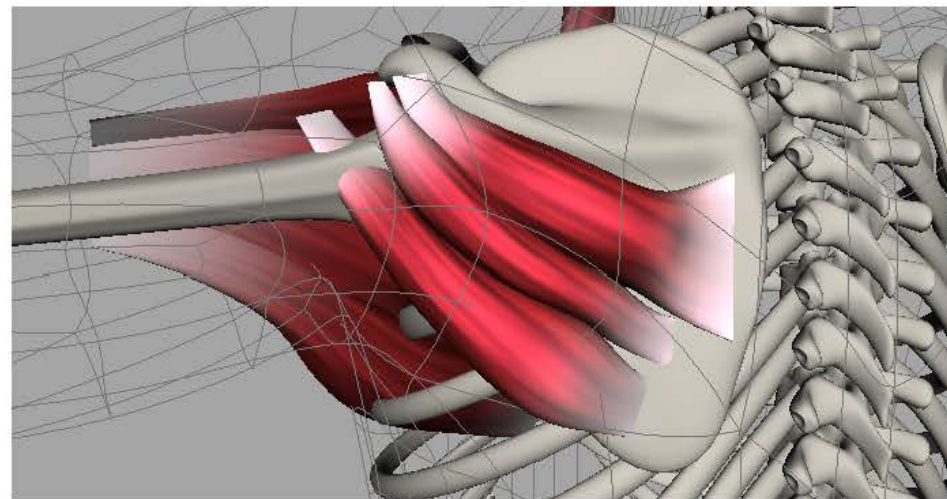


Fig. 3.67 Redondo mayor, redondo menor e infraespinoso.

El deltoides fue creado con tres músculos simulando sus sectores anterior, medio y posterior (fig. 3.68).

Deltoides	Inserción
Anterior	claviculaH_izq - humeroH_izq
Medio	escapulaH_izq - humeroH_izq
Posterior	escapulaH_izq - humeroH_izq

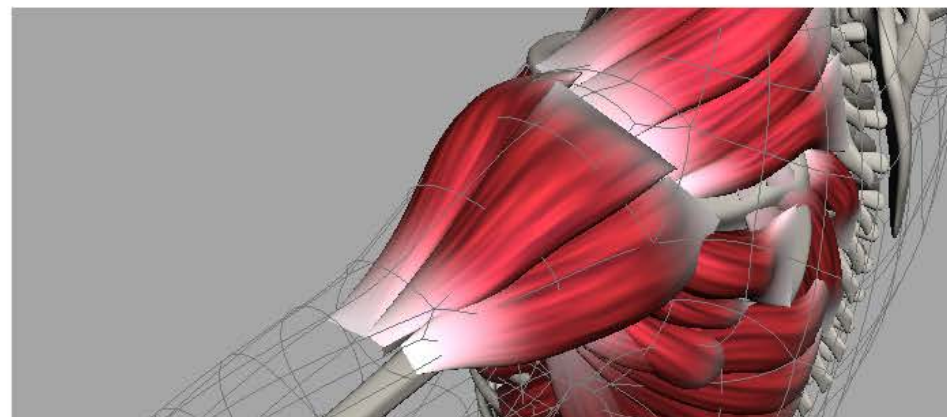


Fig. 3.68 Deltoides.



El serrato anterior tiene inserciones de la primera a la octava Costilla y se origina en la escapula, al ser solo visible una parte debido al pectoral mayor, se crearon únicamente 4 músculos cuya inserción corresponde de la costilla 5 a la 8 (fig. 3.69).

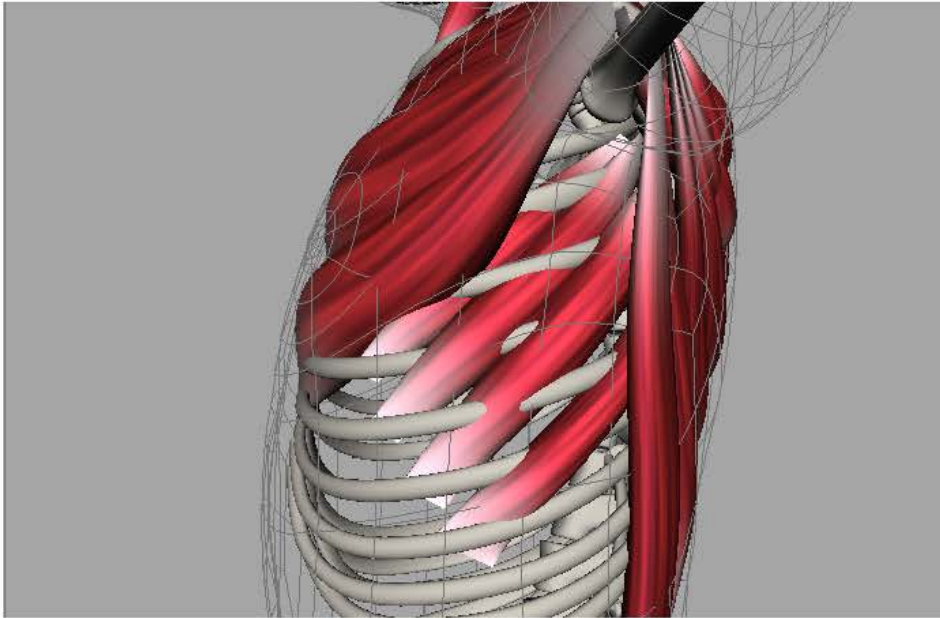


Fig. 3.69 Serrato anterior.

La cabeza corta del bíceps se inserta en la punta de la apófisis coracoides de la escapula, la cabeza larga se inserta en el tubérculo supraglenoideo de la escapula, su inserción distal se realiza en la tuberosidad del radio y fascia del antebrazo a través de la aponeurosis bicipital. Se emplearon 2 músculos para simular sus dos cabezas y sus inserciones, ambos se conectan de `escapulaH_izq` a `humeroH_izq` (fig. 3.70).

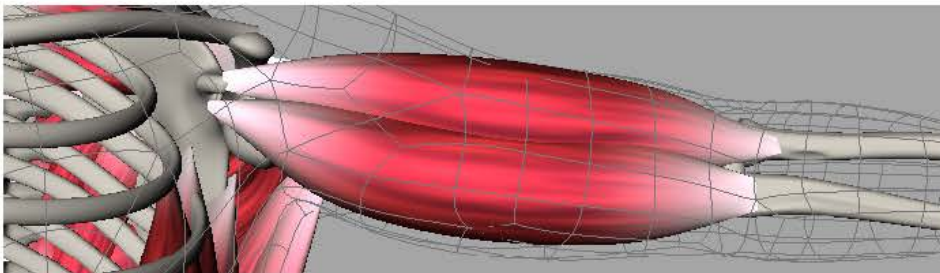


Fig. 3.70 Bíceps.

Debido a que la tercer cabeza del tríceps se ubica en un plano profundo, solo se emplearon dos músculos para formarlo. La cabeza larga se inserta en el tubérculo infraglenoideo de la escápula, la cabeza lateral y la cabeza medial se insertan en la cara posterior del húmero, por abajo y por arriba del canal del nervio radial, su inserción distal está ubicada en la extremidad proximal del olecranon y fascia del antebrazo. Se inserta de la `escapulaH_izq` y `humeroH_izq` a `cubitoH_izq` respectivamente (fig. 3.71).

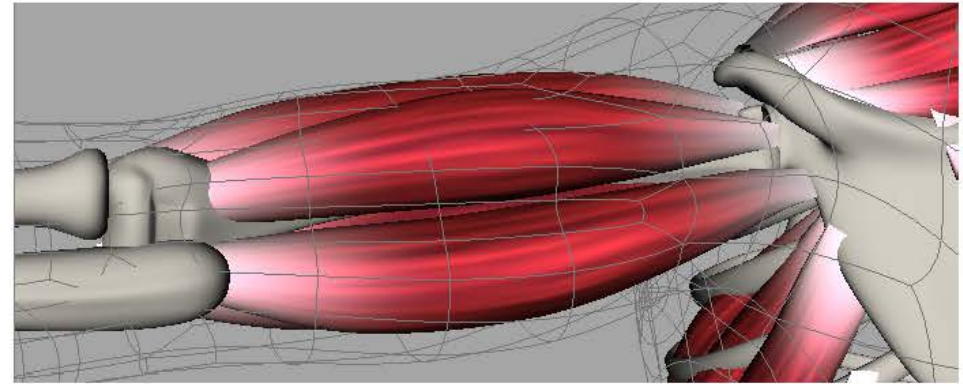


Fig. 3.71 Tríceps.

El flexor radial del carpo fue conectado en el epicóndilo medial del húmero (`humeroH_izq`) y en la base del segundo hueso metacarpiano (`II_metacarpianoH_izq`) (fig. 3.72).

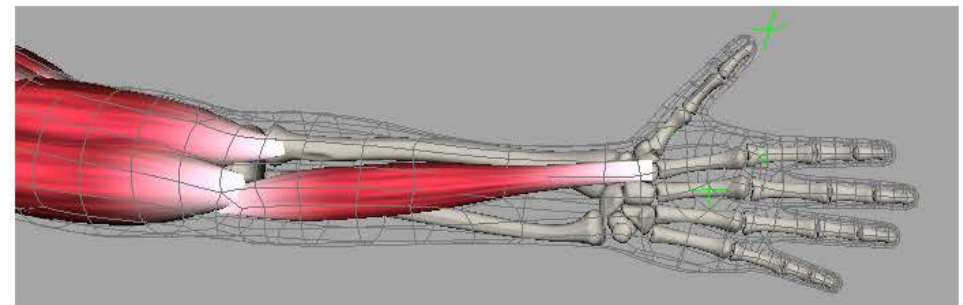
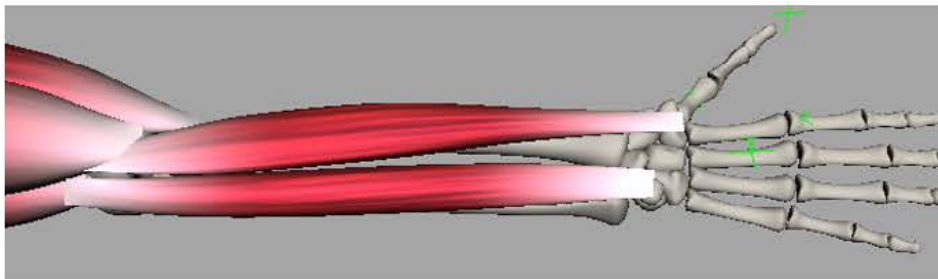


Fig. 3.72 Flexor radial del carpo.

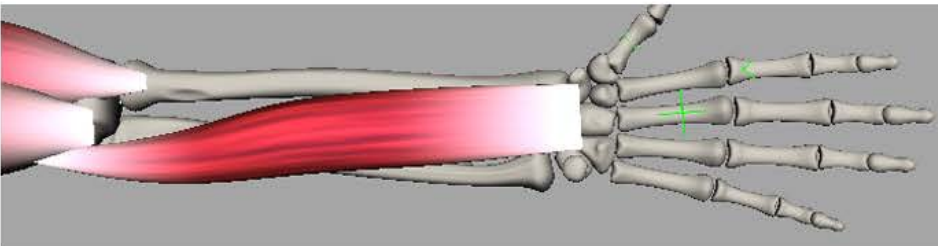
El flexor cubital del carpo tiene dos cabezas de inserción proximal, una se inserta en el epicóndilo medial del húmero y la otra en el olecranon y borde posterior del cúbito, la inserción distal se hace en el hueso pisiforme, gancho del hueso ganchoso

y el quinto hueso metacarpiano. El músculo fue creado usando el `humeroH_izq` como la inserción proximal y el `pisiformeH_izq` como la distal. Debido a que tiene dos cabezas proximales, un locator fue emparentado manualmente al `cubitoH_izq`. La inserción distal solo se hizo en el `pisiformeH_izq` ya que todos los huesos en los que se inserta distalmente, en el modelo 3D están emparentados al joint `izq_muneca` y por lo tanto se mueven en conjunto con el joint, a diferencia de lo que sucede en la realidad, donde tienen un poco de movimiento independiente casi imperceptible (fig. 3.74).



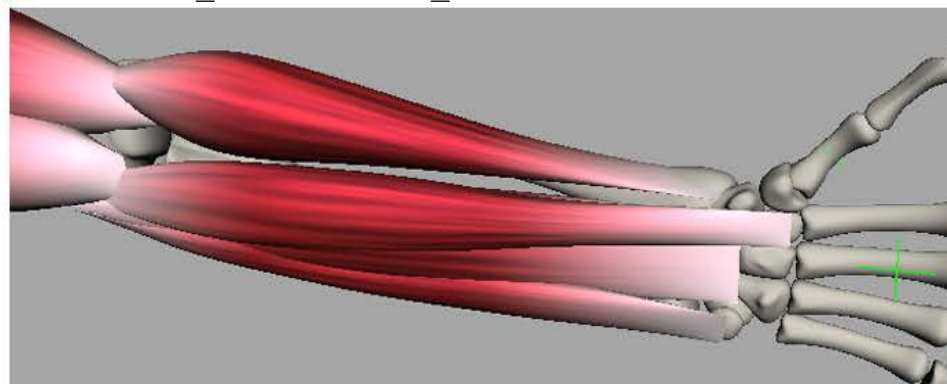
*Fig. 3.74 Flexor cubital del carpo.*

El flexor superficial de los dedos tiene dos cabezas de inserción proximal una se inserta en el epicóndilo medial del húmero, ligamento colateral del cúbito y en la apófisis coronoides del cúbito, la otra se inserta en la mitad superior del borde anterior del radio. Emite cuatro tendones en la proximidad de la muñeca que pasan en la profundidad del retináculo flexor. Su inserción distal se encuentra en los cuerpos de las falanges medias de los cuatro dedos mediales. El músculo creado se emparentó con `humeroH_izq` y `radioH_izq` en su inserción proximal, en la distal lo hizo con el grupo de los huesos del carpo `carpoH_izq`. Los tendones fueron creados separadamente (fig. 3.75).



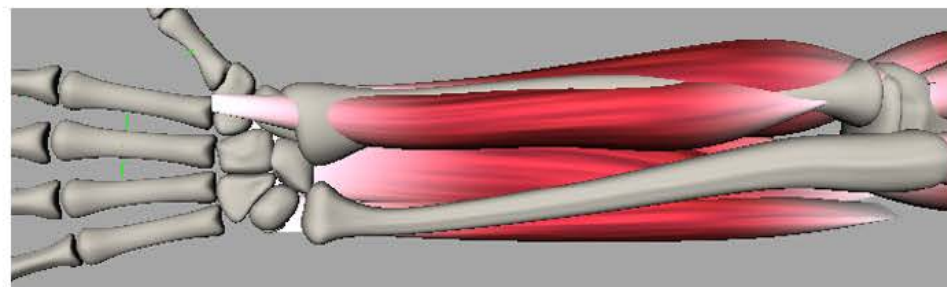
*Fig. 3.75 Flexor superficial de los dedos.*

El braquiorradial (supinador largo) se inserta en los dos tercios proximales de la cresta supraepicondilar del húmero y en el borde lateral de la extremidad distal del radio. El músculo fue conectado del `humeroH_izq` al `radioH_izq` (fig. 3.76).



*Fig. 3.76 Braquiorradial.*

El extensor radial largo del carpo se inserta en la cresta supraepicondilar lateral del húmero y en la base del II metacarpiano. El músculo fue conectado del `humeroH_izq` al `II_metacarpianoH_izq` (fig. 3.77).



*Fig. 3.77 Extensor radial largo del carpo.*

El extensor de los dedos, al igual que el flexor de los dedos, tiene una forma compleja ya que se divide en cuatro tendones antes de alcanzar la muñeca. Estos tendones son visibles en la cara posterior de la mano y fueron creados separadamente. Su inserción proximal está en el epicóndilo lateral del húmero, mientras que las inserciones distales están en las extensiones expansoras de los cuatro dedos mediales. El músculo se conectó de `humeroH_izq` al grupo `carpoH_izq` (fig. 3.78).

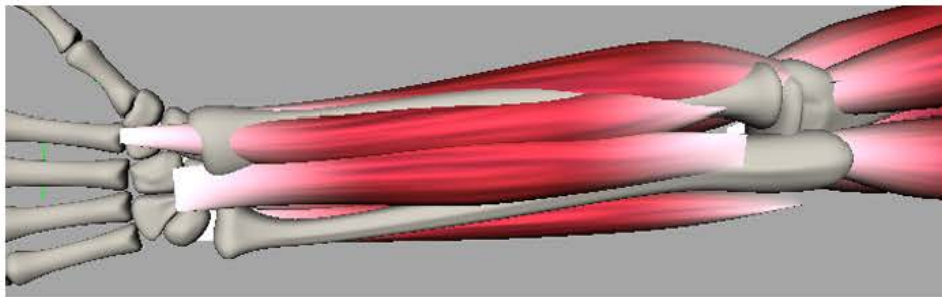


Fig. 3.78 Extensor de los dedos.

Extensor cubital del carpo (cubital posterior) se inserta en el epicóndilo lateral del húmero y borde posterior del cubito, desde ahí alcanza la base del V metacarpiano. Los locators de la inserción proximal se conectaron en el `humeroH_izq` y el `cubitoH_izq`, los locators de la inserción distal se conectaron con el `V_metacarpianoH_izq` (fig. 3.79).

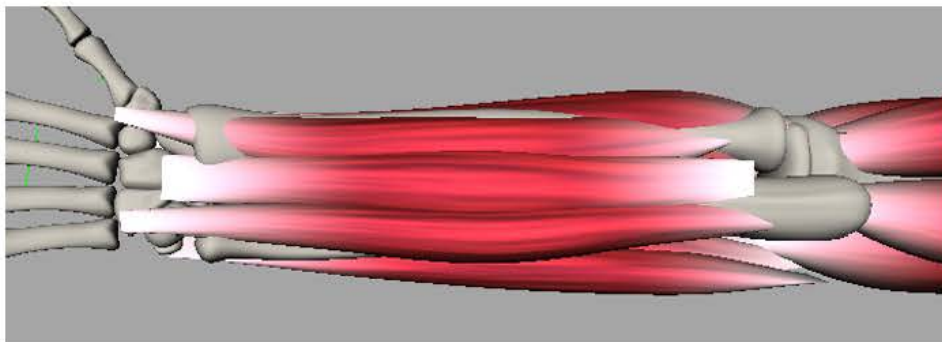


Fig. 3.79 Extensor cubital del carpo.

Las deformaciones que ocurren en la mano pueden ser resueltas únicamente con los joints y los huesos, los músculos que fueron creados para mantener la forma de la geometría en el movimiento fueron el interóseo dorsal correspondiente al pulgar y el aproximador del pulgar. Ambos fueron simulados con 2 músculos debido a su forma. El interóseo dorsal se conectó de `I_metacarpianoH_izq` a `II_metacarpianoH_izq`. El aproximador del pulgar se conectó con `pulgar_falange_proximalH_izq` y a pesar de tener varias inserciones proximales (su cabeza oblicua se inserta en las bases del II y III hueso metacarpiano, en el hueso grande y en los huesos

adyacentes del carpo, la cabeza transversa se inserta en la cara anterior del cuerpo del III metacarpiano) se insertó solo en el `III_metacarpianoH_izq` ya que esta zona no tiene mucho movimiento (fig. 3.80).

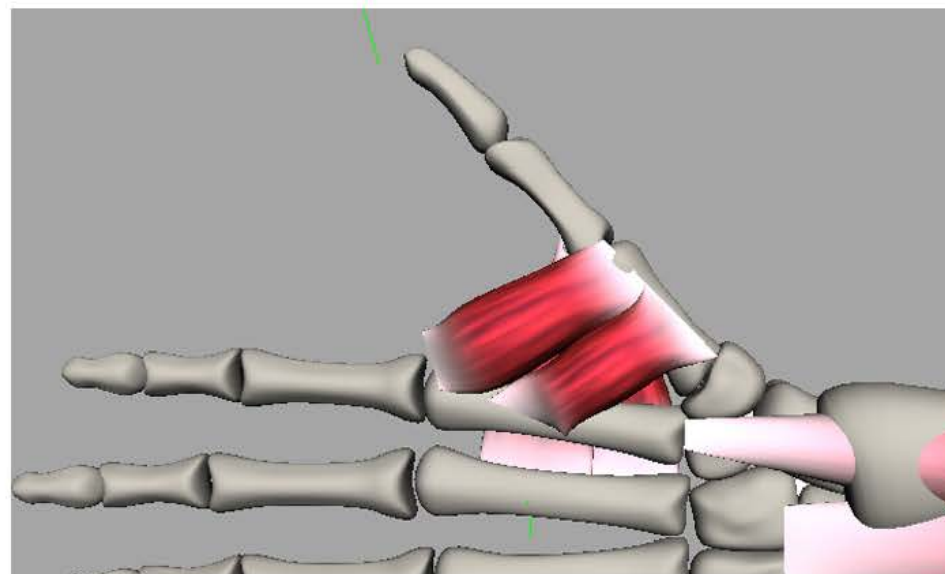
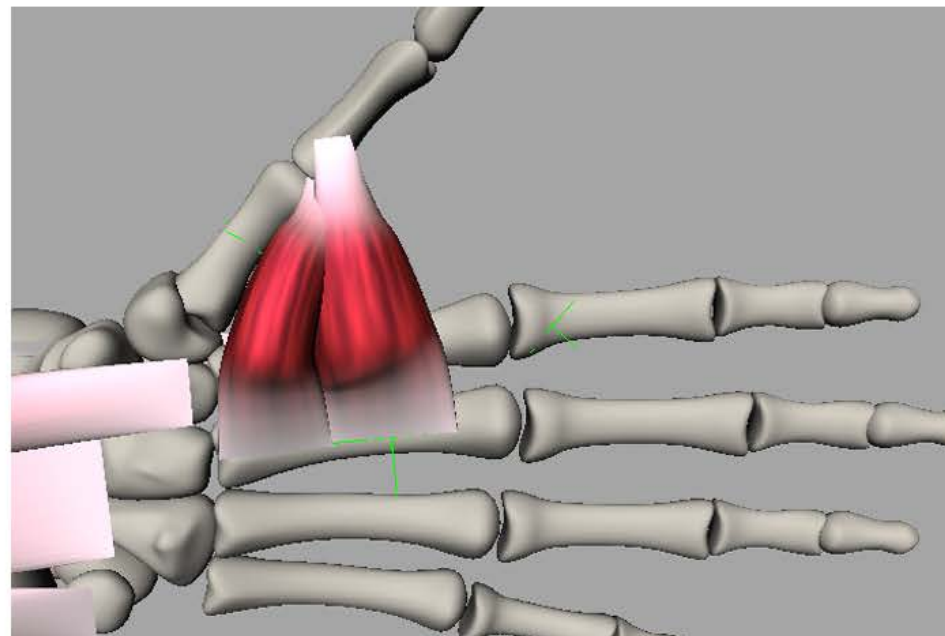


Fig. 3.80 Aproximador del pulgar e interoseo dorsal.

El cuádriceps femoral se divide en cuatro componentes: recto femoral, vasto lateral, vasto medial y vasto intermedio. La inserción distal se realiza en la base de la rótula y tuberosidad tibial, a través del ligamento rotuliano.

El vasto intermedio no fue necesario crearlo debido a que se encuentra por debajo de los otros tres componentes.

La inserción proximal del recto femoral está ubicada en la espina iliaca anteroinferior y surco situado por encima de acetábulo. Se conectó de `iliacoH_izq` a `rotulaH_izq`.

El vasto lateral se inserta en el trocánter mayor y labio lateral de la línea áspera del fémur. Se conectó de `femurH_izq` a `rotulaH_izq`.

El vasto medial tiene su inserción proximal en la línea intertrocantera y labio medial de la línea áspera del fémur. Se conectó de `femurH_izq` a `rotulaH_izq` (fig. 3.81).

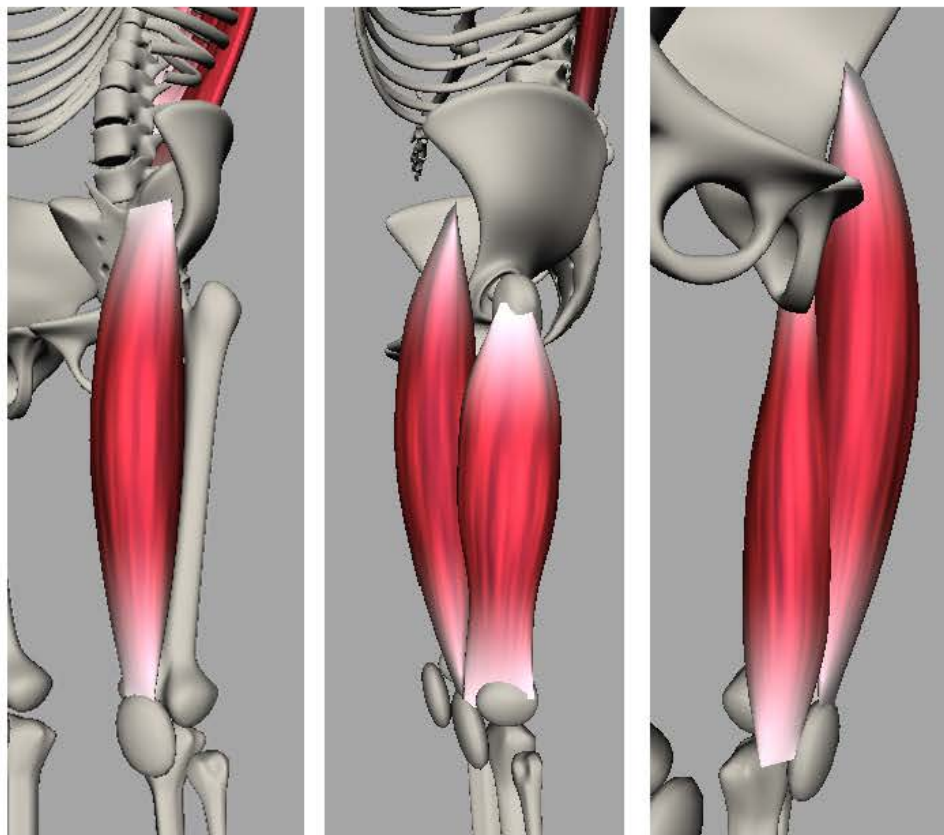


Fig. 3.81 Cuádriceps femora: recto femoral, vasto lateral y vasto medial.

El sartorio se inserta en la espina iliaca anterosuperior y parte superior de la escotadura situada por debajo, su inserción distal se encuentra en la parte superior de la tibia. El músculo fue conectado de `iliacoH_izq` a `tibiaH_izq` (fig. 3.82).

El aproximador (aductor) largo se inserta en el cuerpo del pubis, por debajo de la cresta púbica, su inserción distal está en el tercio medio de la línea áspera del fémur. Fue conectado de `iliacoH_izq` a `femurH_izq` (fig. 3.82).

El músculo grácil se inserta en el cuerpo y ramo inferior del pubis, la otra inserción se encuentra en la parte superior de la cara medial de la tibia. Se conectó de `iliacoH_izq` a `tibiaH_izq` (fig. 3.82)

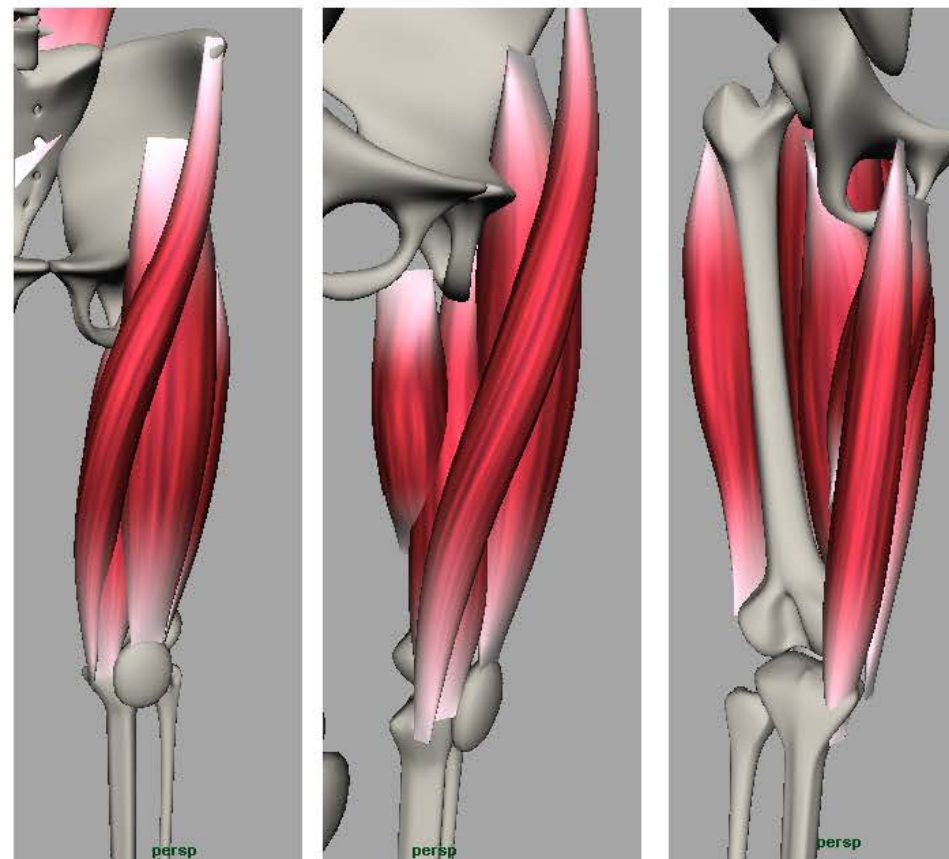


Fig. 3.82 Músculos sartorio, aproximador largo y grácil.

El glúteo mayor al abarcar una zona amplia de la geometría fue creado usando tres músculos. Su inserción proximal está ubicada en la cara externa del ala ilíaca, la inserción distal termina en su mayoría en el ligamento iliotibial, que se inserta en el cóndilo lateral de la tibia, algunas fibras se insertan en la tuberosidad glútea del fémur. El músculo se conectó de `iliacoH_izq` a `femurH_izq` (que es la posición más cercana al ligamento iliotibial) (fig. 3.83).

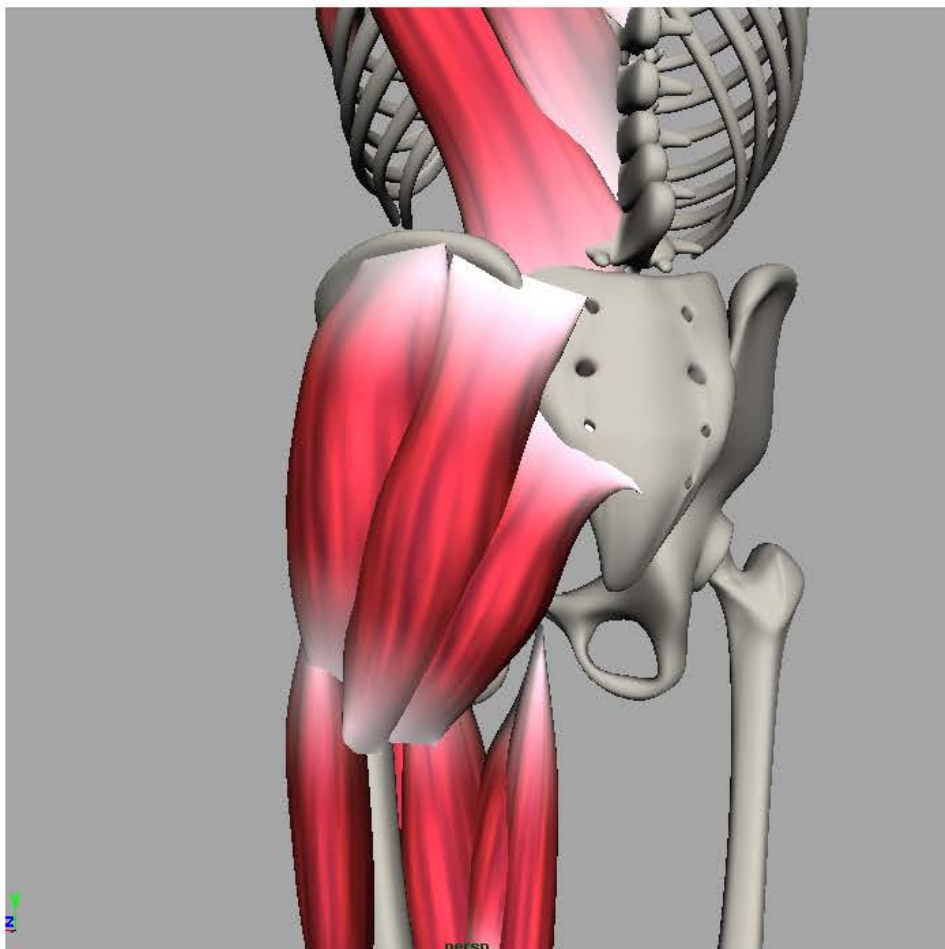


Fig. 3.83 Músculo glúteo mayor.

El bíceps femoral, el semitendinoso y el semimembranoso se insertan en la tuberosidad isquiática, en la profundidad del glúteo mayor, el bíceps femoral tiene otra inserción adicional en

el labio lateral de la línea áspera y línea supracondílea lateral. Su inserción distal se hace en la cara lateral de la cabeza del peroné. Fue conectado del `iliacoH_izq` a `peroneH_izq` (fig. 3.84).

El semitendinoso tiene su inserción distal en la cara medial de la parte superior de la tibia. Fue conectado del `iliacoH_izq` a `tibiaH_izq` (fig. 3.84).

El semimembranoso se inserta distalmente en en la tuberosidad isquiática, en la profundidad del glúteo mayor y su inserción distal está en la parte superior del cóndilo medial de la tibia. Fue conectado del `iliacoH_izq` a `tibiaH_izq` (fig. 3.84).

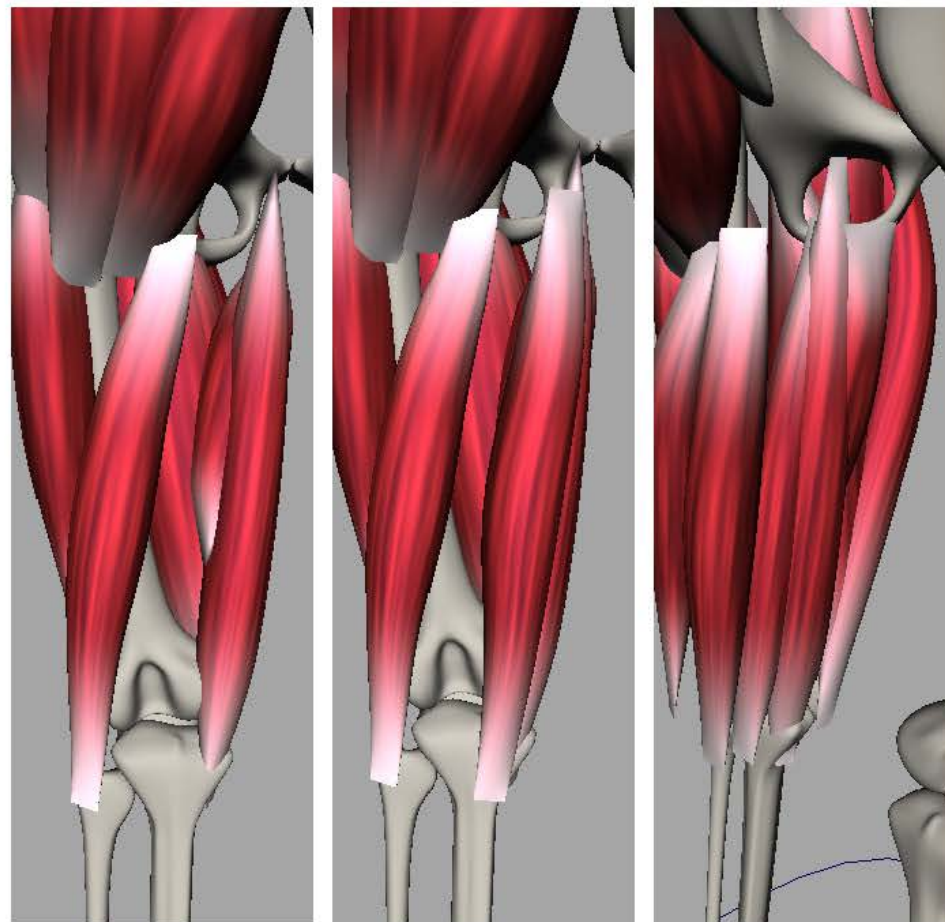


Fig. 3.84 Músculos bíceps femoral, semitendinoso y semimembranoso.

El extensor largo de los dedos se inserta en el cóndilo lateral de la tibia, tres cuartas partes superiores de la cara anterior del peroné y la membrana interósea, la inserción distal esta en las falanges media y distal de los cuatro últimos dedos. El músculo se conectó de `tibiaH_izq` al grupo `huesos_pie_izq`, este grupo, como el carpo, no tiene mucho movimiento y está emparentado al joint `izq_tobillo`. Los tendones fueron creados posteriormente (fig. 3.85).

El tibial anterior se inserta en el cóndilo lateral y mitad superior de la cara lateral de la tibia, su inserción distal está en la cara medial e inferior de la cuña medial y base del primer metatarsiano. Fue conectado de `tibiaH_izq` al `I_metatarsianoH_izq` (fig. 3.85).

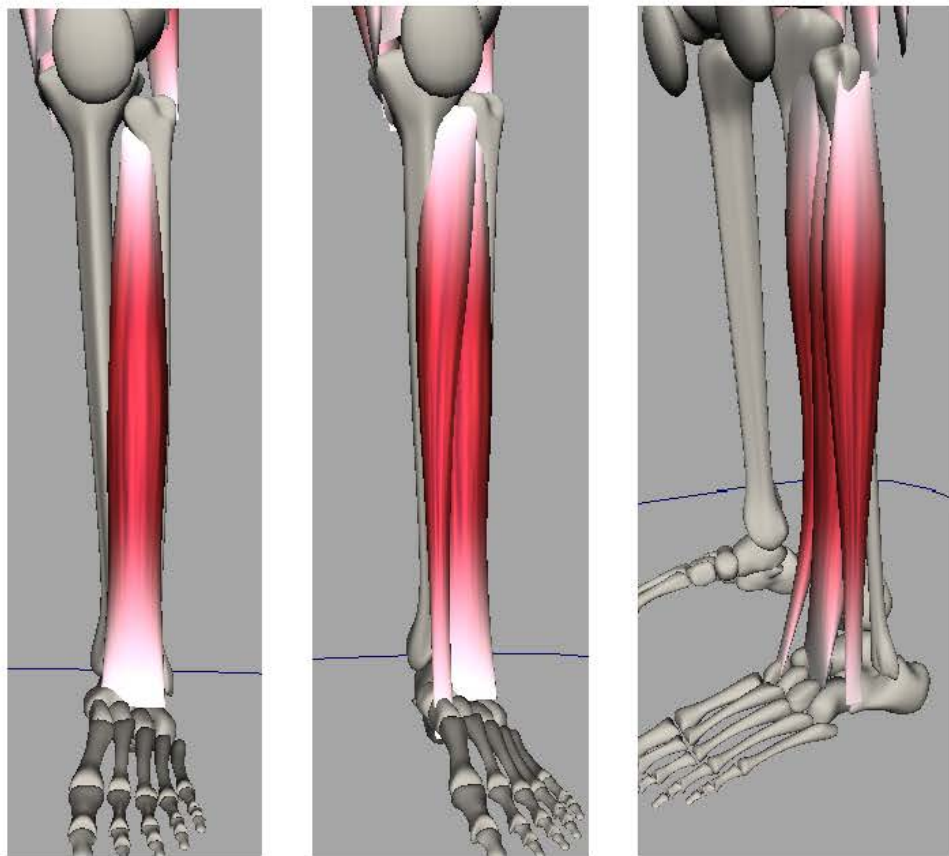


Fig. 3.85 Músculos extensor largo de los dedos, tibial anterior y peroneo largo.

El peroneo largo: se inserta en la cabeza y dos tercios superiores de la cara lateral del peroné, su inserción distal se encuentra en la base del I metatarsiano y cuña medial. Fue conectado de `tibiaH_izq` al `I_metatarsianoH_izq` pero desfasando su posición inferior ya que el tendón pasa por la planta del pie hasta llegar al I metatarsiano (fig. 3.85).

El sóleo se sitúa en la profundidad del músculo gastrocnemio y puede palparse a cada lado, por debajo del centro de la pantorrilla, se inserta en la cara posterior de la cabeza del peroné, parte superior de la cara posterior del peroné y borde medial de la tibia, su inserción distal se encuentra en la cara posterior del

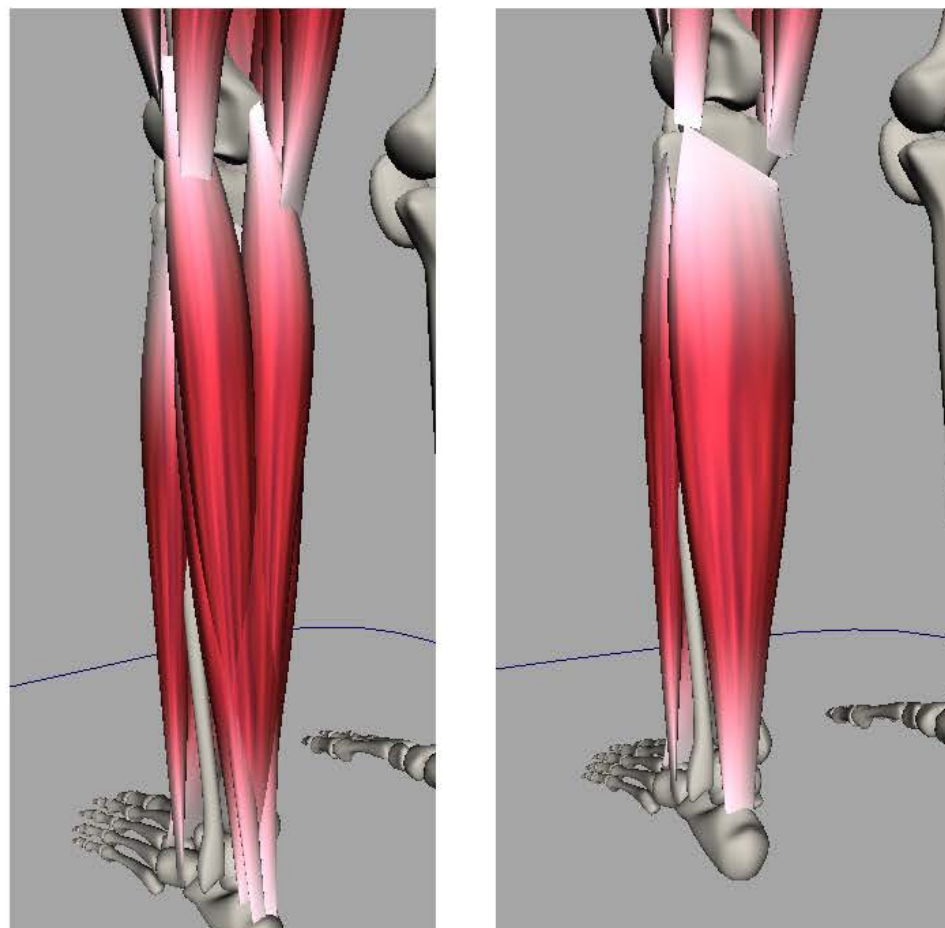


Fig. 3.86 Músculos soleo y gastrocnemio.

calcáneo a través del tendón calcáneo. Se conectó de tibiaH\_izq a calcaneoH\_izq (fig. 3.86).

El gastrocnemio tiene dos cabezas por lo tanto se emplearon dos musculos para crearlo. Su cabeza lateral se inserta en la cara lateral del cóndilo lateral del fémur, la cabeza medial lo hace en la cara poplíteica del fémur por encima del cóndilo medial, su inserción distal se encuentra en la cara posterior del calcáneo a través del tendón calcáneo. Fue conectado de femurH\_izq a calcaneoH\_izq (fig. 3.86).

El modelo, al tener el Smooth Bind con las influencias de los joints establecidas, se le aplicó la herramienta Apply Muscle System Skin Deformer la cual agrega el nodo cMuscleSystem a la geometría. Este nodo permite la simulación de la mecánica muscular, del movimiento secundario (jiggle), efectos de deslizamiento, arrugas, entre otros. Con la existencia del nodo, la geometría del modelo se puede conectar con los músculos (y con cualquier geometría que previamente se haya modificado con la herramienta Convert Surface to Muscle/Bone) mediante la herramienta Connect selected Muscle Objects.



Para establecer la influencia que tendrán los músculos en la geometría se empleó la herramienta Paint Muscle Weights (fig. 3.87). En esta ventana, los músculos que previamente fueron conectados a la geometría aparecen en una lista y se determina

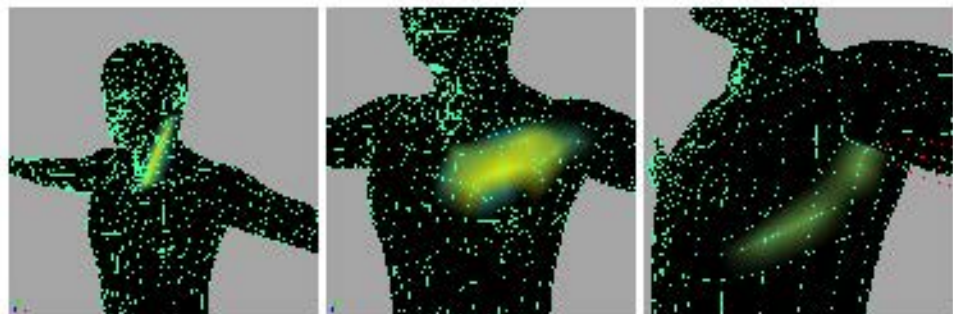


Fig. 3.88 Influencia de los músculos.

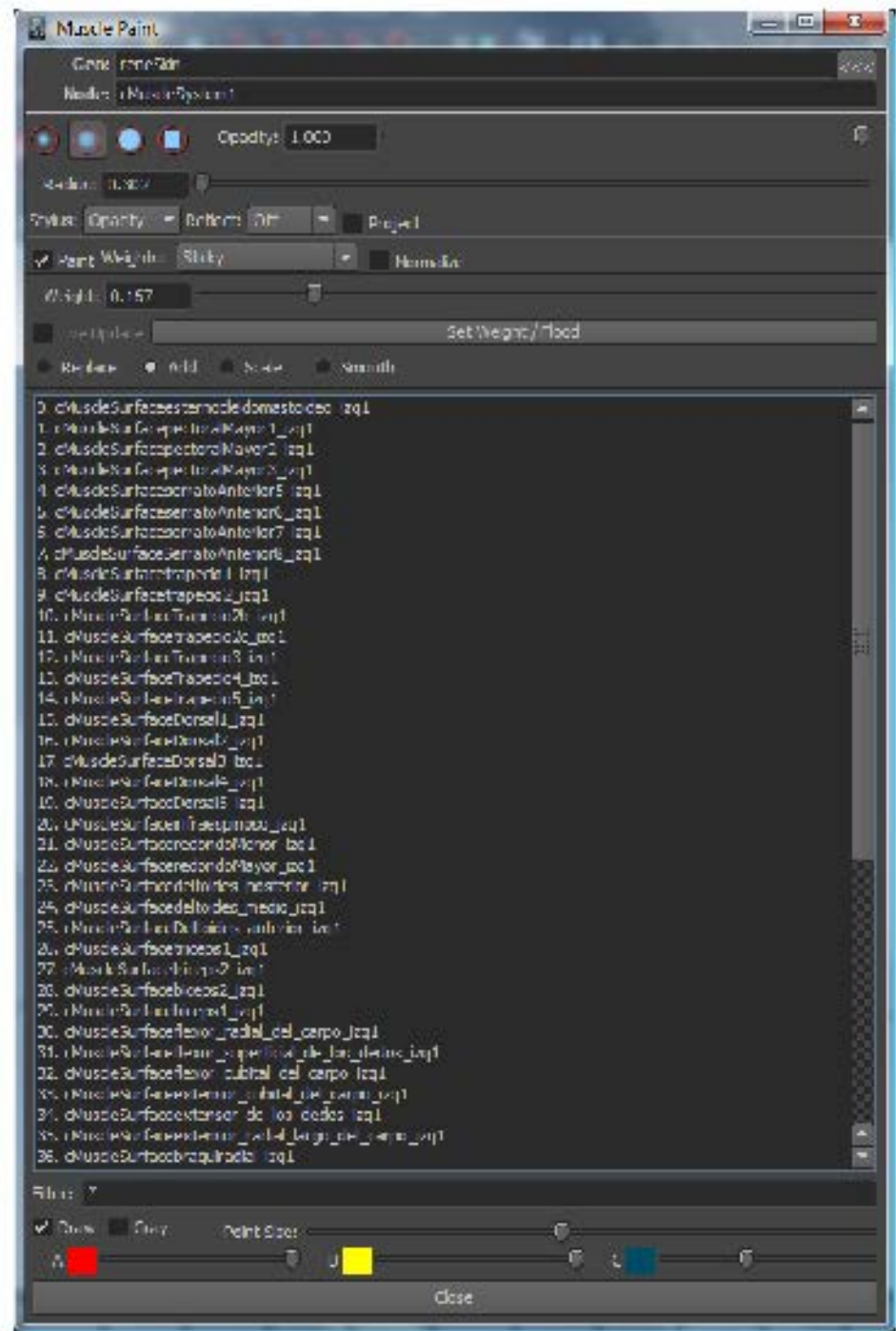


Fig. 3.87 Ventana Paint Skin Weights Tool.

su influencia uno por uno, de acuerdo a la zona que afectará. Se utiliza un pincel similar al de la herramienta Paint Skin Weights Tool (fig. 3.88)

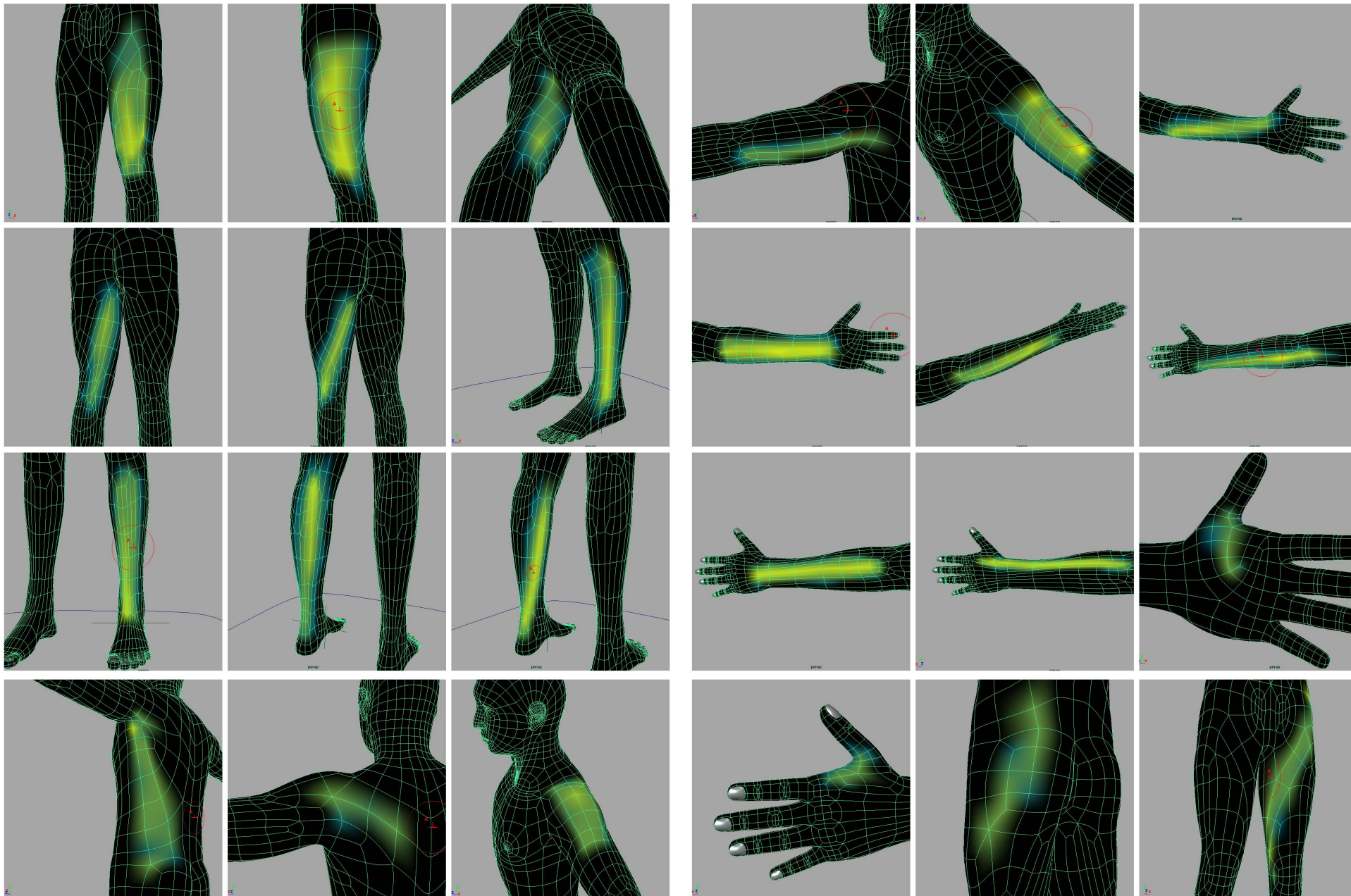


Fig. 3.88 Influencia de los músculos.



El software puede presentar un error en la herramienta Paint Muscle Weights, el cual no permite visualizar el feedback de color que determina la influencia de los músculos sobre la geometría haciendo que se vea completamente negra, y a pesar de que la herramienta si determinaba la influencia, hace que los ajustes sean prácticamente imposibles de realizar (fig 3.89). El error se puede corregir revisando que los locators de los músculos no se encuentren ocultos.

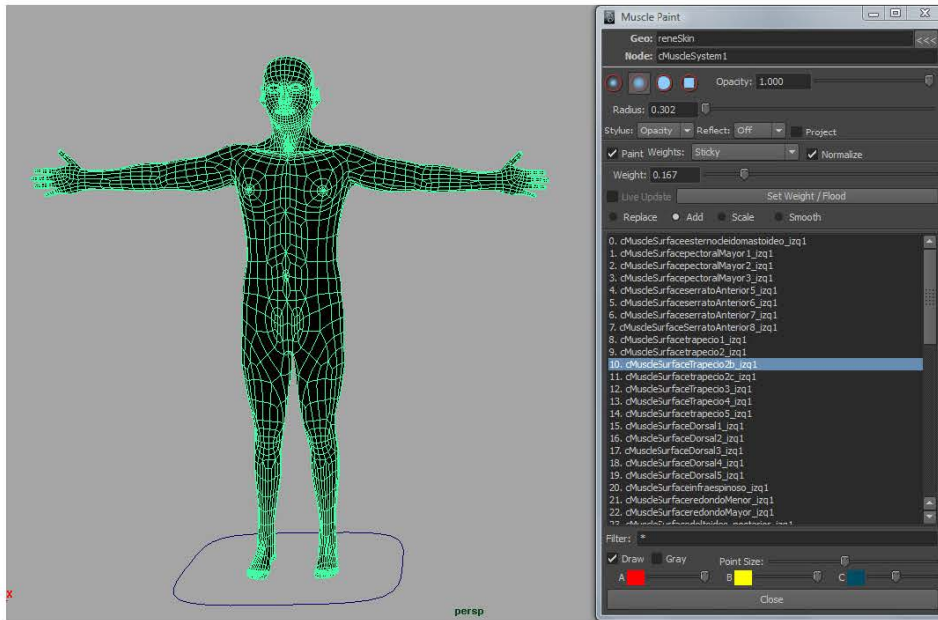


Fig. 3.89 Error en la herramienta Paint Muscle Weights.

Retomando el tema de la orientación de los joints, después de aplicar el Smooth Bind estos no pueden ser orientados, en determinado caso de que se necesiten hacer ajustes a los joints, ya sea en posición o en orientación, se tiene que borrar la historia del modelo lo cual hace que se pierdan automáticamente los valores de influencia anteriormente asignados, pero estos se pueden exportar con la opción Skin/Edit Smooth Skin/Export Skin Weigh Maps, luego de hacer los ajustes y colocarle nuevamente el Smooth Bind, estos mapas pueden ser importados con Skin/Edit Smooth Skin/Import Skin Weigh Maps. Lo mismo aplica para

la influencia de los músculos, la opción se encuentra en Muscle/Weighing/Load Save Weighths.



El movimiento de los controladores fue limitado, con base en los movimientos naturales que tiene un ser humano promedio, para que no se colocaran en posiciones antinaturales en la medida de lo posible. Los límites son establecidos en el Attribute Editor/Limit Information (fig. 3.90).

Los valores Stretch, Squash y Rest de los músculos son determinados en la ventana Muscle Creator/Edit/Poses. La posición en que el músculo fue creado y modelado será el valor Rest, moviendo el musculo mediante los controladores a sus límites máximos de compresión y estiramiento se le asignan los valores Squash y de Stretch respectivamente. Un ejemplo de este procedimiento se puede observar en el video que muestra el movimiento del músculo esternocleidomastoideo antes y después de ser modificados sus parámetros de Rest, Squash y Stretch (videos/Capitulo3/ 05 esternocleidomastoideo squash stretch.mp4), para una mejor visualización es preferible reproducir el video con QuickTime habilitando la opción Loop.

Cuando se agregaron las influencias de los diferentes músculos a la geometría, éstas fueron pintadas a un porcentaje bajo, es por eso que el color se ve amarillo en la zona donde más efecto tendrá, cuando se están ajustando los parámetros del músculo, se modifican las influencias agregando, aumentando o disminuyendo de acuerdo con el movimiento que se necesite conseguir.

### Primeras pruebas. Movimientos del esqueleto.

Existen errores que no son visibles sino hasta el momento de la animación y que provocan comportamientos erróneos en los músculos. De acuerdo a lo investigado anteriormente

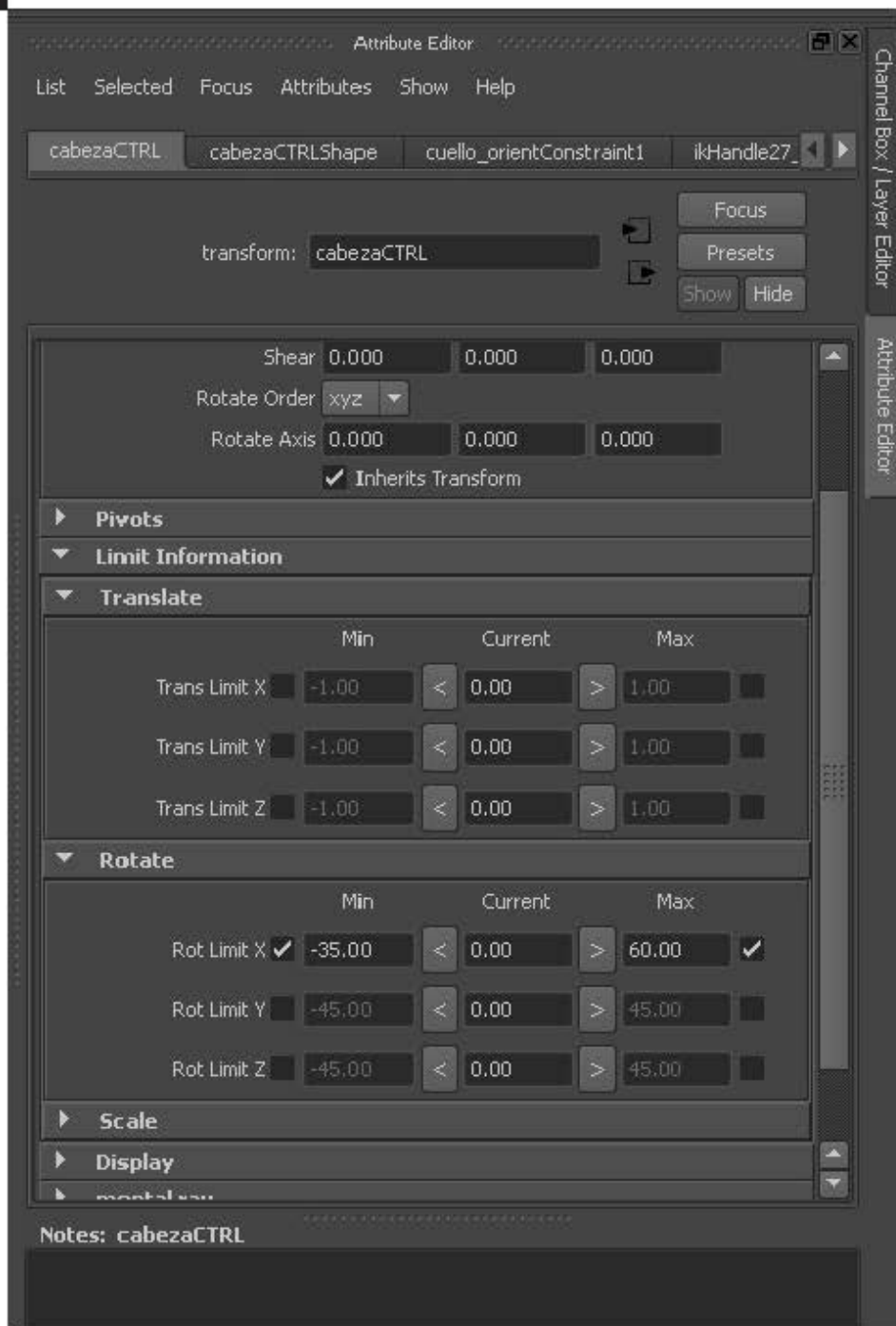


Fig. 3.90 Limit Information.

y a la complejidad que conlleva realizar la simulación del movimiento con las herramientas actuales, se intentó hacer que los movimientos fueran congruentes. Los huesos del esqueleto fueron emparentados al joint que mueve la zona donde están ubicados (como la clavícula -claviculaH\_izq- y la escapula -escapula\_izq- que fueron emparentados al joint izq\_clavicula). Con este tipo de relación entre la geometría claviculaH\_izq y el joint izq\_clavicula, el hueso se mueve paralelamente al joint, hecho que en la realidad es imposible, por lo tanto son separados. El movimiento de la clavícula puede ser simulado colocando el pivote de la geometría en el extremo donde se une con el esternón y relacionandola por medio del orient constrain con el joint izq\_clavicula.

### Comportamientos erróneos en algunas inserciones anatómicamente correctas.

El músculo braquiorradial tiene sus inserciones desde los dos tercios proximales de la cresta supraepicondilar del húmero hasta el borde lateral de la extremidad distal del radio, en la realidad cuando la mano se mueve hacia arriba y hacia abajo (observándola desde la vista anterior), este músculo reacciona estirándose y contrayéndose, si las inserciones son mantenidas de la misma forma en el modelo, la simulación falla, por lo tanto en vez de estar emparentado al radio, lo hará al carpo (videos/Capitulo3/02 braquiorradial CARPO.mov).

El músculo que simula la segunda cabeza del tríceps en lugar de emparentarse con la escapula, que es donde en la realidad tiene su inserción proximal, lo hace con el húmero igual que la primer cabeza para que su simulación tenga un mayor parecido. Otro ejemplo de este comportamiento es el vasto lateral del cuádriceps, sus inserciones se encuentran en el fémur y en la rótula, debido a que la rótula fue emparentada al joint izq\_femur, se mueven paralelamente, por lo tanto las inserciones proximales son emparentadas al hueso iliaco (iliacoH\_izq), de esta forma el movimiento mejora.

Los locators que determinan el inicio y fin del músculo, cuando están muy cerca de los límites donde la geometría alcanza sus valores máximos de contracción y expansión, provocan que el músculo se deforme de forma incorrecta. Para corregir esto, los locators son colocados a una distancia mayor (fig. 3.91).

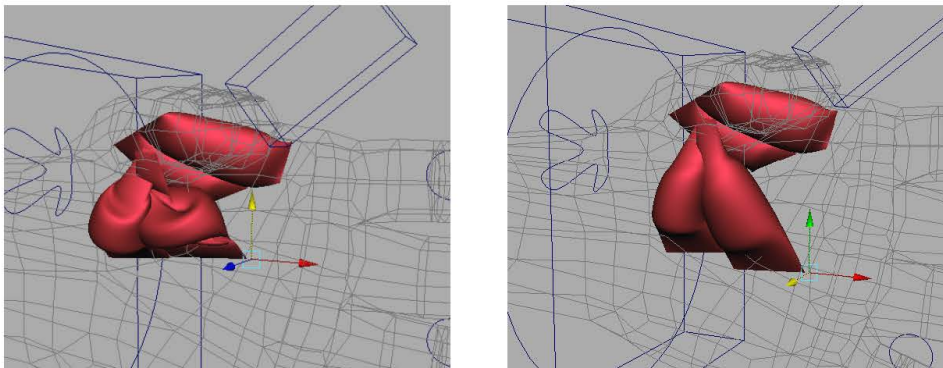


Fig. 3.91 Distancia en los locators.

Los músculos semimembranoso y grácil pueden ser simulados por un solo músculo, están colocados muy cerca uno del otro, en la misma región, debido a las pruebas realizadas, se ha llegado a la conclusión de que varios músculos pueden ser simulados por uno solo en el 3D, obteniendo más control y sintetizando los elementos (que en este punto ya forman un número considerable).

Otra situación errónea esta en el movimiento de los dedos. Al estar siendo controlados por IK handles y pole vectors, cuando los dedos son flexionados, los joints correspondientes tienden a torcerse en posiciones imposibles (al menos de que ocurriera una fractura), por lo tanto se descartan los IK handles y esos controladores, colocando otros para rotar los joints utilizando orient constrain (fig. 3.92).

### Conexiones de los tendones y otras estructuras.

Los tendones fueron elaborados separadamente con cilindros, para su manipulación se crean deformadores Clusters en los vértices de un extremo. Se emplea la herramienta setDriven Key para relacionar el movimiento de los Clusters con respecto

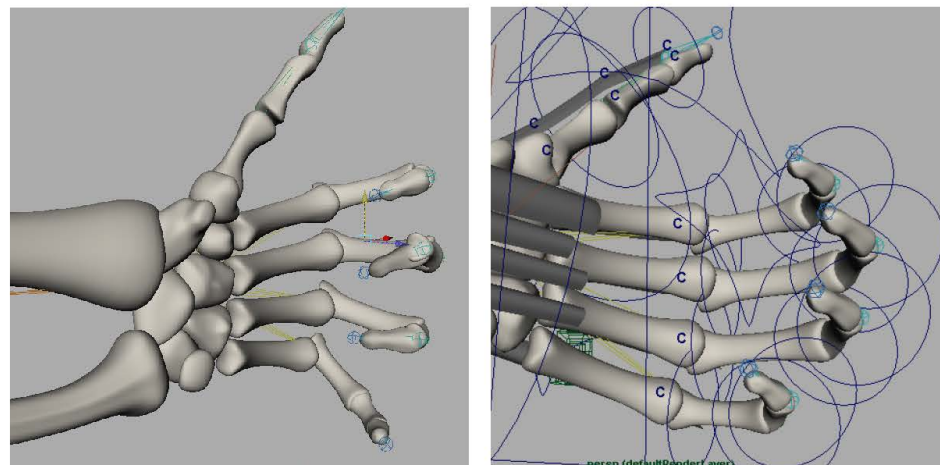


Fig. 3.92 Nuevos controladores en los dedos DK.

a los controles de las falanges proximales de los dedos. En la siguiente tabla se muestran las conexiones realizadas en los tendones flexor y extensor del dedo índice derecho, mediante la herramienta setDrivenKey. Los tendones restantes tienen los mismo valores.

Controlador	Cluster
indice_derPV	CLtendonExtIndice_der
Rotate Y 100	Translate X 0.08
Rotate Y -25	Translate Z -0.05
Rotate Y 100	CLtendonesFlexores_der
	Translate X 0.1

Los objetos que van a modificar la geometría tienen que ser convertidos a músculos con la herramienta Converts selected objects to MuscleObjects y luego son conectados al modelo usando Connects selected Muscle Objects. Posteriormente, en la ventana Muscle Paint se agrega la influencia que tendrán en el modelo (fig 3.93), en la pestaña Sliding (deslizamiento), ya que son estructuras que se deslizan por debajo de la piel, dentro del sistema muscular del modelo se habilita la opción Sliding para que las modificaciones sean visibles. La opción Sticky tiene la función de marcar las zonas en la geometría que tratarán de adherirse

con los objetos que así lo requieran. Los videos localizados en videos/Capitulo3/03 tendonesExtensoresManolzquierda.mp4 y 04 tendonesFlexoresManolzquierda.mp4 muestran el efecto de los tendones conectados con el modelo.

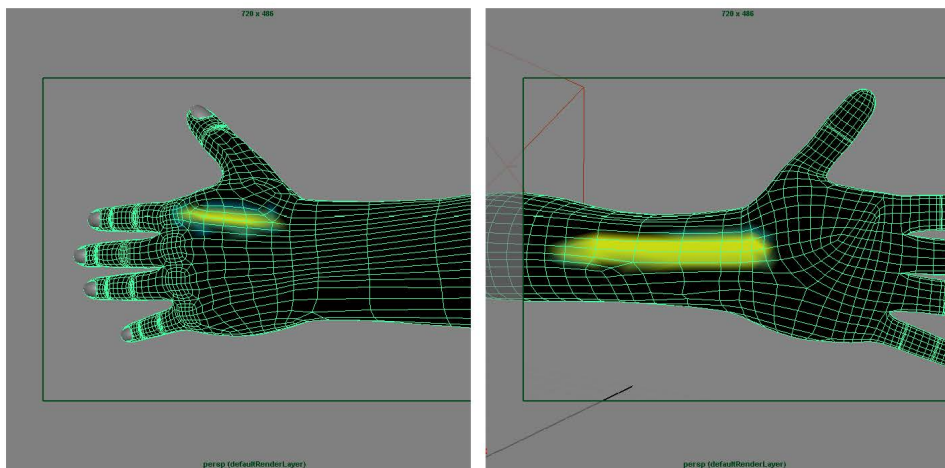


Fig. 3.93 Influencia Sliding en los tendones.

Observando el video de prueba de la animación hasta este momento (videos/Capitulo3/04 controladoresMusculosExtensoresManolzquierda.mp4), se percibe que los tendones se mueven por debajo de la geometría, pero los músculos extensores no lo hacen, en la realidad los músculos extensores y flexores del antebrazo son los encargados de dichas acciones en los dedos, el personaje digital al mover los dedos tendría que mover también estos músculos, pero al estar emparentados a sus respectivas inserciones distales –ubicadas en la zona del carpo y los metacarpianos- su movimiento solo es visible cuando se mueve la mano con el controlador de la muñeca. La simulación de este movimiento puede realizarse con blend shapes o creando otro controlador para poder mover manualmente los músculos. En este caso, se creó un nuevo controlador y las inserciones de los músculos fueron emparentadas a él, a su vez, el controlador fué emparentado a `joint izq_muneca`.

Debido al comportamiento que tiene el tendón del músculo

flexor radial del carpo, se creó un controlador extra para poder manipularlo manualmente. La siguiente tabla muestra las conexiones realizadas.

Controlador	Cluster
musculosFlexoresCTRL2_der	musculosFlexoresCTRL2_der
Translate X -1 y 1	Translate X -0.1 y 0.05
Translate Z -1 y 1	Translate Z -0.07 y 0.08

### Jiggle (zangoloteo).

El jiggle (videos/Capitulo3/ 06 pechoJiggle.mp4) es otra opción dentro del sistema muscular del modelo, permite la simulación de la flacidez en la piel del personaje. Se activa en su respectiva casilla y mediante la herramienta Muscle Paint se determinan las zonas de influencia. (fig. 3.94). Entre los atributos del jiggle se encuentran:

- Jiggle Min/Jiggle Max determina la fuerza con la que se realizará el movimiento de las zonas afectadas por el jiggle.
- Cycle Min/Cycle Max determina el tiempo que le toma rebotar a la zona afectada por el cycle.
- Rest Min/Rest Max determina el tiempo que le toma regresar al reposo a la zona afectada por el rest.

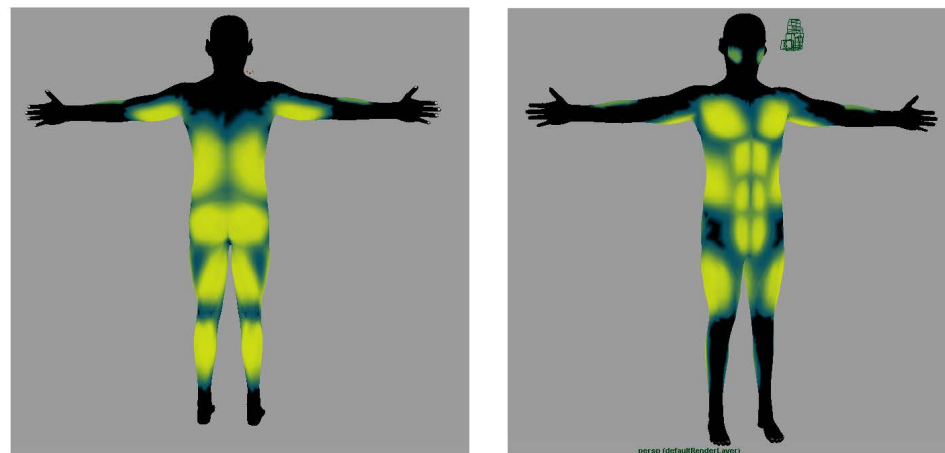


Fig. 3.94 Influencia del jiggle.

### Colisiones.

La colisión es una herramienta que se emplea para evitar

que la geometría del modelo penetre en sí misma cuando se realizan ciertos movimientos, como la flexión de los brazos. Smart Collide fue la opción que se empleó para crear este efecto en el personaje digital (Muscle/Smart Collision/Create Muscle Smart Collide). Funciona seleccionando dos joints, en la unión de estos se genera un plano el cual debe de ser conectado al modelo mediante la opción Connect selected Muscles Smart Collide nodes. Posteriormente, se activa la opción de Smart Collision en el nodo del cMuscleSystem del modelo. Mediante la herramienta paint Muscle Weights se agrega la influencia empleando el valor Smart Region A y Smart Region B correspondiente a cada joint. Para afinar la deformación, se emplean las opciones de Smart Bulk, Smart Flatten, Smart Smooth, entre otras (fig. 3.95).

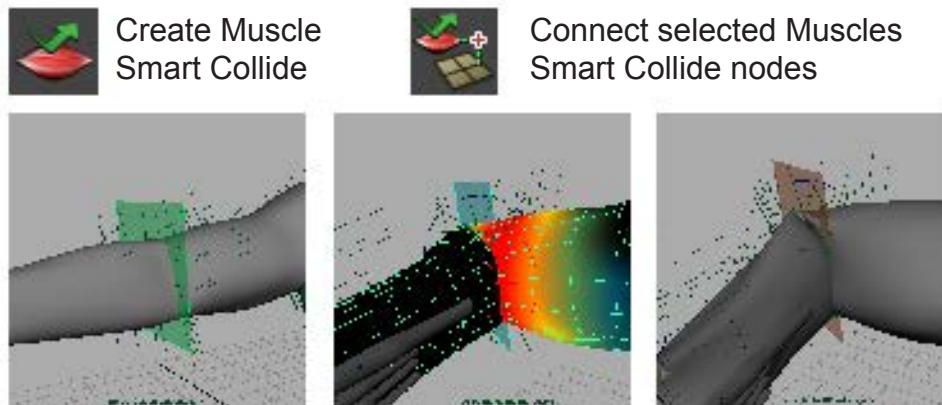


Fig. 3.95 Smart Collide.

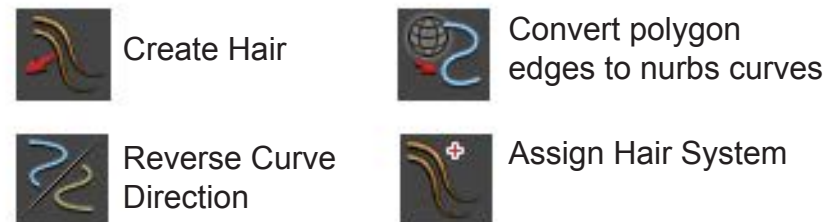
## 3.9 Cabello

El sistema para simular el cabello, como todos los simuladores en maya, tiene cierta complejidad que necesita ser estudiada para un resultado óptimo. Crear el cabello es una parte importante que le da personalidad al modelo digital, hacerlo puede implicar varias horas invertidas para generar un estilo propio. Existen varios métodos que funcionan para cumplir esta tarea, entre ellos se encuentran los simuladores maya Fur y maya Hair así como la posibilidad de crear el corte de pelo con polígonos y aplicarles

textura de cabello con mapas de transparencia<sup>3</sup>.

En la página web de Dzung Phung Dinh (<http://www.phungdinhdung.com/>), un artista vietnamita, se encontró una excelente referencia de cómo modelar el cabello. Desarrolló un script para Maya que genera el cabello de forma rápida y eficaz, llamó a su aplicación GMH Mel Script (Geometries to Maya Hair Script).

El cabello del personaje digital fue creado empleando un proceso similar. Se tomó la decisión de crear el cabello empleando el simulador maya Hair. Primero se genera un sistema de pelo (hair system), para hacerlo de forma rápida se crea un polígono cualquiera y se le asigna el sistema mediante la herramienta hair/Create Hair, creado el sistema pueden eliminarse la geometría y el cabello generado sobre ella. Darle forma al corte de pelo con las herramientas del simulador de maya puede llegar a ser muy complejo y tardado ya que es difícil de manipular, por lo tanto la forma del pelo se realizó con Polygon planes. La resolución aproximadamente fue de 6x4, de los 6 edges verticales se crearon curvas, para hacerlo, es seleccionado un edge y se usa la herramienta Convert polygon edges to nurbs curves. Se tiene que comprobar la dirección que tiene la curva, su vértice de origen debe estar en el cuero cabelludo, de no estar en esa posición, se tiene que cambiar su dirección con la herramienta Reverse Curve Direction. A cada curva se le asigna el HairSystemShape1 con la herramienta Assign Hair System.



Esta forma de crear el pelo permite modelar su estructura de manera sencilla, el único inconveniente es el tiempo que se

3. Paul Tosca, un artista rumano, explica a detalle el proceso para crear el cabello con el método de mapas de transparencia: [http://www.paultosca.com/varga\\_hair.html](http://www.paultosca.com/varga_hair.html).

requiere para manipular a cada uno de los polygon planes. Al igual que con el personaje digital, solo la mitad del cabello es creada para luego reflejarla y modificar la posición de sus elementos, sobre todo en el centro, consiguiendo que pierda simetría. En total fueron empleados 124 Polygon planes (fig. 3.96).



Fig. 3.96 Polygon planes, Nurbs curves y PFX hair.

## 3.10 Sistema de la mímica. Blend Shapes.

La expresión del rostro es una manifestación física del movimiento interno del ser humano que puede ser analizada en términos objetivos al identificar los signos indicadores que se encuentran implícitos en su apariencia<sup>4</sup>.

El rostro humano puede adquirir valores metafóricos por su estructura, es fundamental e irremplazable para la comunicación entre la especie. Cada ser humano es diferente y posee características que lo hacen único, las expresiones varían de persona a persona y ayudan a diferenciarlas y definir las. Los gestos y acciones del rostro pueden estar más desarrollados de un lado que del otro.

El sistema muscular que se genera en maya, no se adapta para simular las expresiones del rostro, en su lugar se emplea un deformador llamado Blend Shape, el cual funciona duplicando el modelo y creando las modificaciones del rostro una por una. Los videos de referencia tienen la finalidad de mostrar el movimiento

4. Plasencia, Carlos. "El rostro humano, observación expresiva de la representación facial", Valencia, España, Ed Universidad de Valencia, 1993, 170 p.

que tiene el cuerpo humano, en el caso particular de la cara, son de especial ayuda para entender las relaciones entre los diferentes componentes del rostro y no caer en el error de aislar los gestos, sino unirlos para crear una simulación más natural.

Para crear los deformadores es seleccionada la geometría que se ha modificado, después la geometría que adquirirá esa transformación y se ejecuta la herramienta Blend Shape ubicada en animation/create deformers/Blend Shape. Para agregar más deformadores a un sistema ya creado, se utiliza la opción Add ubicada en edit deformers/blend Shape /Add y para quitar deformadores Remove, en la misma localización.



Cada duplicado utilizado como Blend Shape puede ser modificado posteriormente para ajustar la transformación.

Los BlendShapes (fig. 3.97) fueron creados tomando en cuenta ambos lados de la cara, cada lado tiene un comportamiento ligeramente diferente del otro, existen acciones que no son posibles de reproducir simétricamente en ambos lados, como la elevación del labio superior por la acción del canino. Para controlar los Blend Shapes, se agregaron nuevos controladores al rostro, emparentándose al controlador de la cabeza (fig. 3.98). Cada nuevo controlador fue relacionado con un Blend Shape en específico mediante Set Driven Key. Las deformaciones en los diferentes Blend Shapes tuvieron en consideración la acción específica de los músculos correspondientes a la zona, tratando



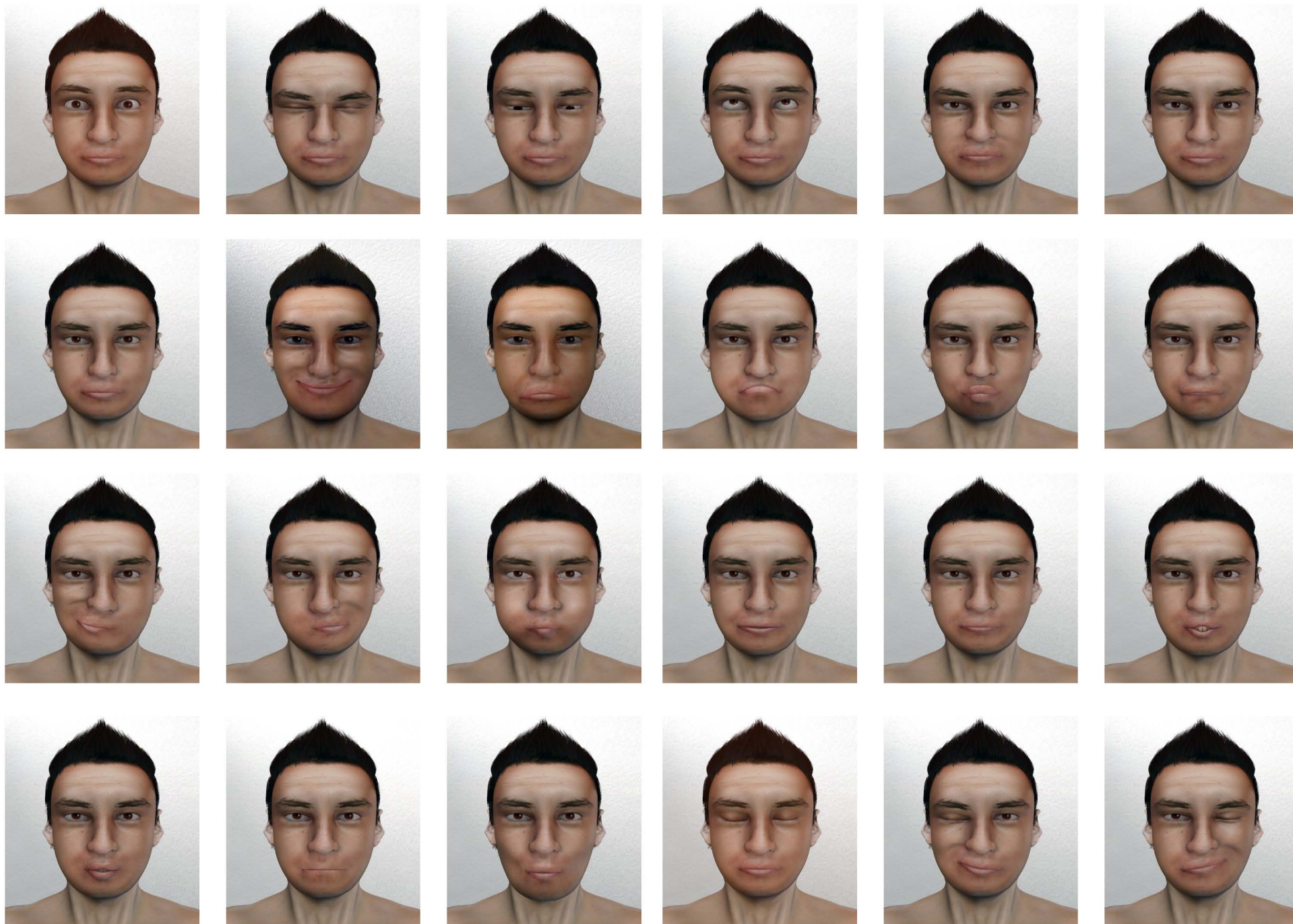


Fig. 3.97 blendShapes.

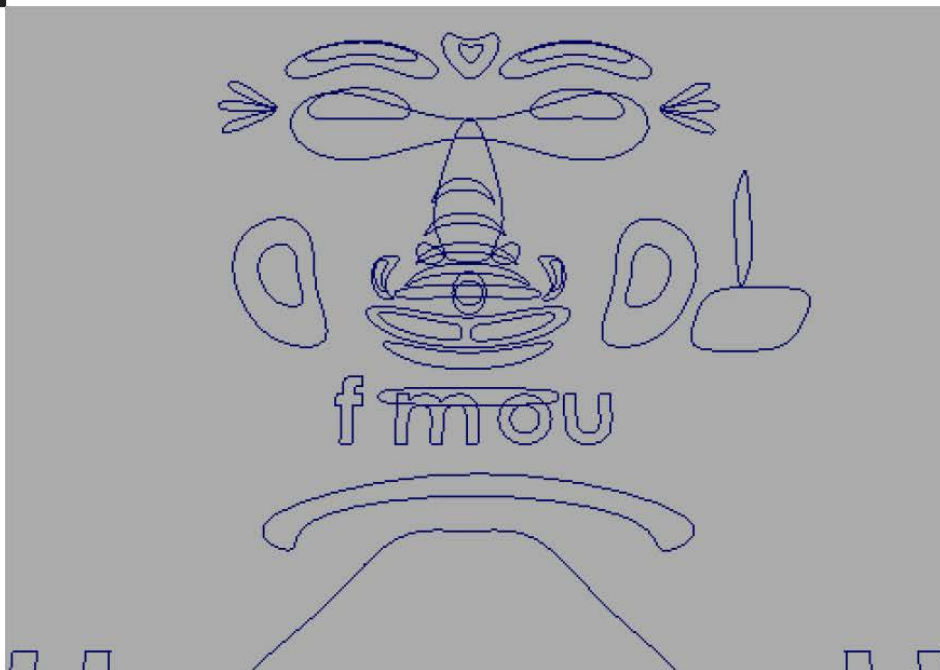


Fig. 3.98 Controladores para los blendShapes

de aislar su movimiento, algunos de ellos, son imposibles de aislar por completo ya que existen reacciones secundarias en otras partes del rostro y cabeza, por ejemplo, al elevar las cejas, también existe un ligero ascenso de los oídos. Las expresiones son un conjunto de movimientos de varios músculos por lo que su animación depende de varios Blend Shapes.

### 3.11 Pruebas del sistema muscular.

Los músculos pueden presentar errores cuando realizan sus movimientos debido a que la rotación de los objetos a los que están emparentados, también rota a los locators y el músculo tiende a torcerse de forma errónea (fig 3.98). Para corregir esto se creó un cubo al cual se le emparentaron los locators y este cubo fue conectado mediante un parent constrain al joint, descartando su rotación para que únicamente se traslade. Este error sucede en muchos músculos del cuerpo, ya que los joints tienden a rotar,

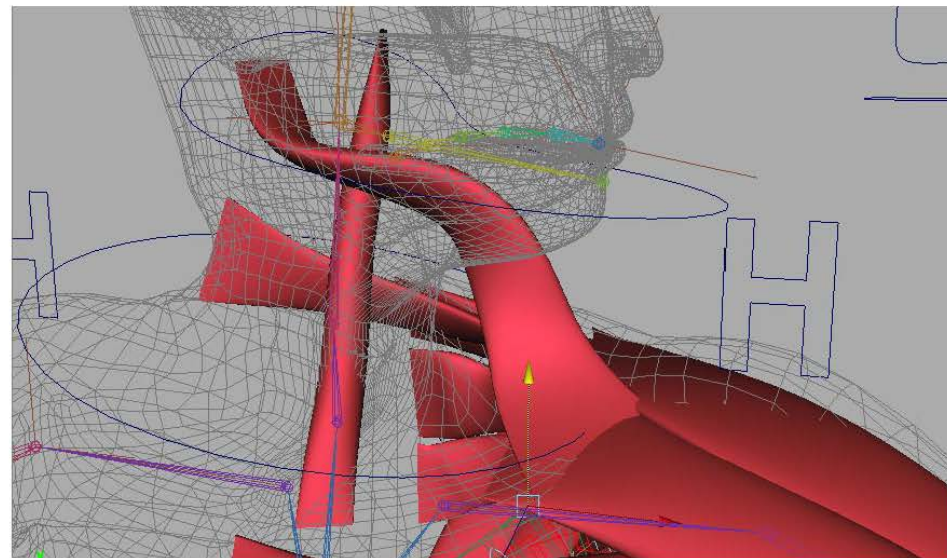


Fig. 3.98 Rotación errónea en el músculo trapecio.

por lo tanto, los músculos se tienen que conectar a geometrías que a su vez estén emparentadas con los joints pero que su rotación este bloqueada (videos/Capitulo3/07 rotacionTrapecio.mov y 07 rotacion biceps.mov). Por este error se ha llegado a la conclusión de que muchos huesos no debieron ser modelados, sobre todo aquellos como el fémur, el húmero ó algunas costillas que no deforman la piel de manera aparente.

La asignación y reflejo de los músculos, se aplica al final, ya que requiere mas tiempo de pruebas y pueden presentarse errores por lo que es conveniente tener respaldo del archivo.

El proceso de trabajo se puede enlistar de la siguiente forma:

- obtención de imágenes de referencia
- modelado
- texturizado
- rig
- deformadores (blend shapes, sliding, jiggle, collisions etc)
- músculos
- animación
- render
- postproducción



# CAPÍTULO 4

## Animación, timming e integración.

### 4.1 Timing

El timing se encarga de expresar en terminos de tiempo las acciones que tienen lugar en la animación, la mecánica muscular y el movimiento secundario remarcan dichas acciones para aumentar el realismo, ambas cualidades tienen un comportamiento en el tiempo que las define. Dependiendo de las características físicas de cada personaje digital, sus movimientos musculares y secundarios tendrán variantes. Por ejemplo, un personaje con sobrepeso tiene un mayor movimiento secundario de flacidez que un personaje atlético puesto que el primero tiene una mayor cantidad de tejido adiposo.

Aunque se cuente con videos de referencia, el movimiento se da de forma diferente en la animación, por lo tanto se realiza una

síntesis y se depura manteniendo presentes las leyes naturales del movimiento y los 12 principios de animación. En Maya, la ventana Animation/Graph Editor es de mucha utilidad cuando se manipula el timing, mediante el uso de las curvas se pueden suavizar o enfatizar las acciones de forma ágil, también es posible ahorrar el uso de keyframes mediante la manipulación de las mismas.

Peter Ratner<sup>1</sup> da una serie de instrucciones o guías a tomar en cuenta para animar, una de ellas es hacerlo por partes o segmentando el movimiento en las siguientes áreas:

- 1 Cuerpo y las piernas.
- 2 Columna, cuello y cabeza.

1. Ratner, Peter "3D Human modeling and animation", 2da ed. John Wiley & sons. EUA, 2003, p. 246.

- 3 Brazos y manos.
- 4 Dedos.
- 5 Parpadeos.
- 6 Ojos.
- 7 Expresiones faciales.

Steve Roberts menciona que el buen timing es el mínimo tiempo que se le da a la audiencia para entender la acción<sup>2</sup>. El ojo está acostumbrado a ver el movimiento como una sucesión de acontecimientos ligados entre sí. Cuando existe un error, ya sean saltos o movimientos incomprensibles, nuestra percepción lo capta, lo mismo ocurre cuando el movimiento es antinatural, robótico o mecanizado.

El timing está relacionado directamente con el significado de la animación, Les Pardew hace mucho énfasis en los movimientos corporales que suceden a consecuencia de las emociones y como se trata el timing de acuerdo a ellas<sup>3</sup>, la velocidad con la que una acción es realizada afecta como es percibida.

## 4.2 Animación.

### Aplicación interactiva: Animación Facial Referencia.

Durante la estancia de investigación en la Universidad de Granada, se prestó mayor atención al rostro ya que es la parte más importante del cuerpo en cuanto a comunicación se refiere. Se analizaron dos documentales que están especializados en el rostro humano y el lenguaje corporal: *The human face*, una producción compuesta de 4 partes de 50 minutos realizados por la BBC (*Here's Looking at You, Fame and Infamy, Survival*

2. Roberts, Steve, "Character animation in 3D :use traditional drawing techniques to produce stunning CGI animation", Amsterdam, Ed. Elsevier, 2004, p. 79.

3. Les, Pardew, Character emotion in 2d and 3d animation, USA, Ed Thomson Course Technology, 2008, p. 115.

*of the Prettiest, Secrets and Lies*), se emitieron en 2001 con la colaboración de Paul Ekman<sup>4</sup> y describen la importancia del rostro como medio de comunicación desde un nivel científico, sus connotaciones, identidad cultural y función; el otro fue *Secrets of body language* producido por el History Channel, en el cual no solo abordan el rostro y las microexpresiones sino todo el trasfondo de las acciones a nivel inconsciente que tiene el cuerpo humano al interactuar con otros. Estos documentales muestran los significados e implicaciones que existen en la forma de comportarse de los humanos, para los propósitos de este proyecto, su estudio y análisis ayudó a comprender que el personaje digital también requiere de esas cualidades con el objetivo de ser más realista.

La referencia bibliográfica de más ayuda para la animación del rostro fue el texto de Carlos Plasencia Climent: El rostro humano, observación expresiva de la representación facial. Las expresiones faciales fueron retomadas de la lista que hizo en 1992 Paul Ekman:

- Diversión
- Desprecio o desdén
- Complacencia o contento
- Entusiasmo o excitación
- Orgullo
- Alivio
- Satisfacción
- Placer Sensorial
- Ira o rabia
- Repugnancia, asco
- Miedo o temor
- Felicidad
- Sorpresa
- Tristeza
- *Bochorno*
- *Vergüenza*
- *Culpa*

4. <http://www.paulekman.com/>

El bochorno, la vergüenza y la culpa faltaron por animar. Otras expresiones que no se encuentran en la lista de Ekman y que se animaron son:

- Incredulidad
- Ironía
- Esfuerzo
- Cansancio
- Inmadurez
- Confusión
- Enfermedad
- Llanto
- Terror
- Desesperación
- Maldad
- Enojo

Se desarrolló una aplicación de esta investigación obteniendo como resultado un interactivo que tiene por nombre *Animación Facial Referencia*, su función es ser una herramienta para visualizar los movimientos y expresiones del rostro tanto en un personaje digital como en un humano real y compararlos. Cuenta con cinco pestañas por cada movimiento o expresión con la finalidad de poder visualizar al personaje desde diferentes perspectivas (frente, lado, tres cuartos, a nivel muscular y de forma tal cual es en la realidad). La interface tiene los controladores necesarios para poder reproducir los videos hacia adelante y hacia atrás, en tiempo real, o cuadro a cuadro.

La aplicación está basada en los movimientos de un ser humano real, mediante el uso y análisis de los videos de referencia se crearon una serie de animaciones que tratan de reflejar esos movimientos en el personaje digital. Debido a que el modelo se encuentra en una resolución baja, el formato NTFS, a 720x480, con 12 f/s, son parámetros suficientes. Se animaron 29 movimientos y 25 expresiones (la cantidad de archivos generada en postproducción fue inmensa: 54 variables x 5 pestañas x 12 cuadros en cada una = 3240 imágenes contando solo las

que conforman el resultado final, algunos renders se producen separadamente, como la oclusión y el cabello pudiendo triplicar ese número). Esta aplicación se encuentra en el DVD.

### Iluminación, set y renders.

Los renders se produjeron con un fondo claro para que la atención esté centrada en las acciones del rostro, se colocó un plano de color blanco con un relieve (bump) para simular una pared. La iluminación no genera altos contrastes. Fueron colocadas cuatro luces (directional), una de ellas es la principal, las otras tres de relleno. Una luz direccional extra fue creada

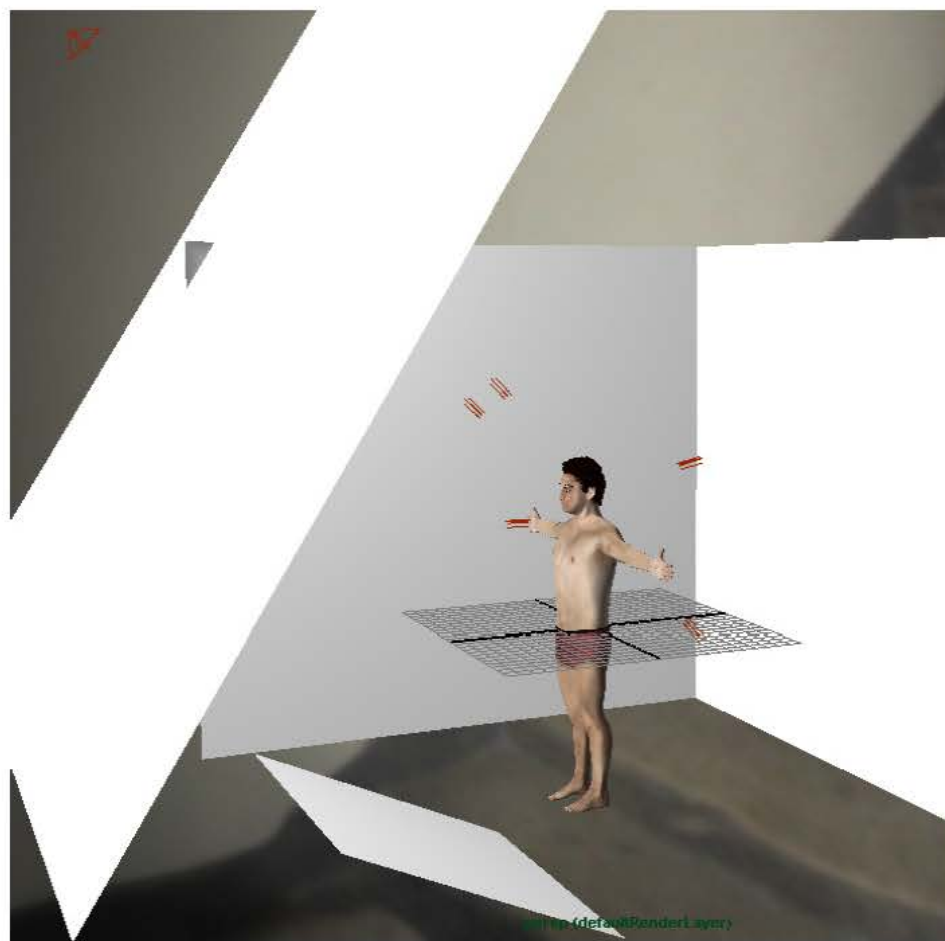


Fig. 4.1 Iluminación para los renders de la aplicación *Animación Facial Referencia*.

exclusivamente para darle brillo a los ojos, no ilumina nada más (light linking). Se colocó una luz (spot light) que es suavizada con un plano traslucido frente al modelo a 45 grados. Otro plano fue colocado bajo el modelo para que refleje iluminación al rostro. Se creó una esfera con un mapa HDRI (fig. 4.1). El render fue producido con Mentay Ray empleando Iluminación Global. Se crearon renders para la oclusión del cuerpo y en algunos casos, el cabello fue rendereado por separado para ahorrar tiempos en la postproducción y por errores de penetración con la geometría del modelo.

Se emplearon dos computadoras, una laptop (Centrino Core 2 Duo, RAM 8g, 512mb video NVIDIA Geforce 9300M, Windows Vista, 64 bits) y una de escritorio (AMD Phenom, RAM 8g, 512mb video ATI RAEDON HD 3850, Windows 7, 64 bits). El tiempo de render entre una y otra variaba considerablemente, en la laptop tardaba alrededor de 12 horas sacar una secuencia completa, mientras que en la de escritorio requería aproximadamente 5 o 6 horas.

### **Importancia de la resolución.**

El modelo fue creado en baja resolución (6340 caras) y no se incrementó en el proceso, con el smooth preview se pensaba que era suficiente. No fue sino hasta que se realizaron las conexiones con los blendShapes y las geometrías extra que conforman el sistema muscular y esquelético que se requirió un modelo con mucha más resolución. Este descubrimiento trae consigo inconvenientes puesto que la geometría del modelo tiene carencias en sus deformaciones y algunas influencias específicas, como los tendones, carecen de mucho detalle. Cuando las conexiones se encuentran realizadas (smooth skin, blendShapes y cMuscleSystem) si se aumenta la resolución no tendrá ningún efecto en la geometría y seguirá reaccionando como si estuviera en baja resolución. El Smooth tiene que realizarse antes de hacer las conexiones, los blendShapes deberán tener la misma resolución para que se puedan aplicar.

Los errores que presenta en las deformaciones pueden ser

mínimos si se maneja una distancia considerable de la cámara y resaltarán conforme más se cierre el encuadre al modelo. Entre más detalle se necesite reflejar, la resolución tiene que ser más alta. Es conveniente hacer la aclaración acerca de la influencia directa de la resolución en la optimización de las deformaciones, ya que mediante los mapas de normales (creados en Zbrush) o con el relieve Bump se puede incrementar el detalle de la textura y funcionaría perfectamente para las imágenes estáticas, en cambio para el movimiento -y más el que se ha estudiado en esta investigación- podría resultar poco práctico, ya que la textura es una imagen fija que no puede manipularse o deformarse, como ejemplo, en el caso de los tendones extensores, si estos son realizados con textura, no tendrán el mismo movimiento y efecto en el modelo cuando mueva los dedos a comparación de los que están realizados con geometría extra.

### **Animación facial.**

La animación del rostro se realizó mediante la manipulación de los controladores que mueven los blendShapes, en la ventana Channel Box. Otro método para crear la animación del rostro aparte de los blendShapes es mediante el uso de joints. Peter Walters en su página web <http://www.pwaltersdesign.com> tiene un esquema que indica las zonas en las que se colocan los joints para la animación del rostro. Ambos procedimientos tienen ventajas y desventajas, con los blendShapes (empleados en este proyecto) sólo se podrán realizar los movimientos correspondientes a los deformadores creados, con los joints se necesita más conocimiento anatómico para poder manipular los diferentes componentes que generan una acción, es decir, en un solo blendShape, se pueden incluir varias acciones y movimientos correspondientes a la manipulación de varios joints, lo cual hace que el proceso de animación requiera menos tiempo, con el método de joints se tendrían que mover varios componentes a la vez, pero se podrían realizar más combinaciones.

Al revisar los videos de referencia y teniendo los conocimientos anatómicos de la composición del rostro, se han identificado los diversos comportamientos secundarios que tiene la

cara –y en general el cuerpo- al hacer una acción principal, cuando estos movimientos no se encuentran presentes se produce una animación rígida y menos natural, este defecto se hace sumamente evidente en la sección “movimientos” del interactivo, como en el caso del descenso de las alas de la nariz, comparándose con la imagen de referencia, se hace evidente la carencia del movimiento secundario ya que en la realidad el sujeto necesita jalar aire para que las alas de la nariz se contraigan, esta acción que parece simple, en la realidad está compuesta de varios movimientos de la cabeza, los hombros y la tráquea, acciones que no fueron animadas puesto que en esta sección se deseaba resaltar y aislar el movimiento de ciertas partes en específico. En cambio, en la sección de “expresiones” al ser acciones llevadas a cabo por varios músculos y zonas del cuerpo, se incluyeron los movimientos secundarios logrando un resultado más natural y creíble.

Entre las acciones que se presentan con los movimientos de los músculos de la frente y ojos, se encuentra la producción de arrugas de la piel, como en el descenso de la piel del entrecejo o en la elevación de las cejas. Estas reacciones están bastante limitadas en el modelo 3D debido a la resolución que tiene. En el caso de la elevación de las cejas, se produce el movimiento principal del músculo frontal, por la baja resolución del modelo, las arrugas son inexistentes, no es posible crearlas con el número de edges que conforman la frente. Una situación similar ocurre cuando el personaje desciende el entrecejo o contrae los párpados (fig. 4.2).

Como se observa en las comparaciones, a pesar de tener en la textura las arrugas de la frente, es necesaria la resolución para poder crear las deformaciones que generan pliegues en la geometría cuando se anima el rostro. Se borró nuevamente la historia del modelo para poder darle un smooth.

Al aumentar la resolución en el modelo, es posible ajustar las arrugas de la frente ya que existen más edges que modificar. Los edges resultantes del smooth no son tantos para poder



Fig. 4.2 Comparativas del modelo 3D con un sujeto real. Errores por la falta de resolución.

manipular la superficie y crear los volúmenes necesarios para generar arrugas detalladas, sin embargo se observa un cambio en comparación con el modelo en baja resolución. La generación de arrugas en la frente que asemejen la imagen de referencia, necesita más edges, es decir, más resolución, algo que afectaría la manipulación del modelo si se realiza con el smooth debido a que habría un aumento de resolución en zonas innecesarias. Por estas razones, el rostro tendría que ser modelado con una concentración elevada de polígonos para que facilite la generación de las deformaciones (fig. 4.3).

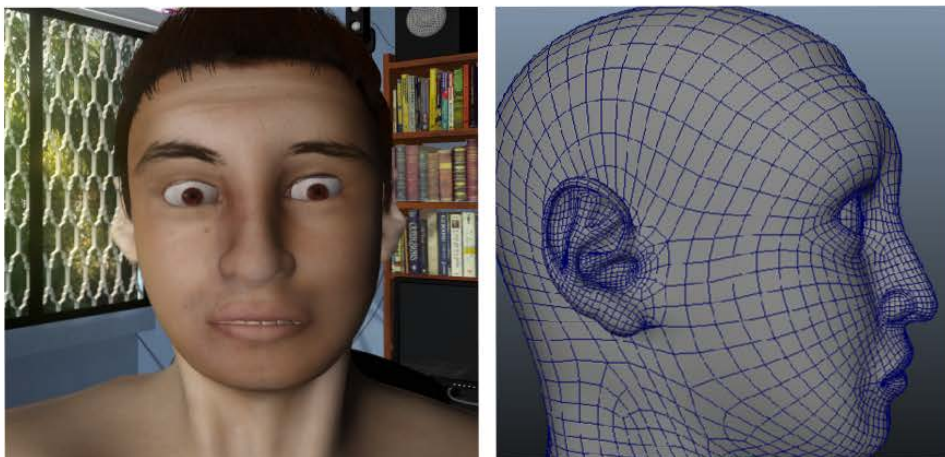


Fig. 4.3 Aumento de resolución en el modelo.

Los movimientos y expresiones del rostro en el interactivo, podrían tener un comportamiento diferente dependiendo del tipo de personaje que se este desarrollando. Es correcto aclarar que las animaciones se basaron en las características individuales del rostro de un sujeto en particular, como se ha mencionado, el rostro es la parte más compleja del cuerpo en cuanto a nivel de comunicación y expresividad se refiere, por lo tanto estos movimientos varían dependiendo de la persona, edad, y características físicas o regionales.

### Animación del cabello.

El cabello es un elemento que suele tener dinamismo en los personajes digitales, sobre todo en aquellos que lo tengan largo.

En este caso, como se trata de un personaje con el cabello corto, su pelo tiene cierta rigidez puesto que mantiene un peinado. Cuando se animaron ciertas expresiones se puede observar un comportamiento extraño en el cabello, por ejemplo en la expresión de Terror, en los frames 2, 3 y 4 debido a la velocidad de la acción del personaje, el pelo reacciona exageradamente perdiendo su forma por el movimiento y recuperándola en el frame 5, es una reacción sumamente rápida que se percibe debido a la reproducción cuadro a cuadro. En el simulador hairSystemShape1 se aumenta el valor stiffness dentro de la pestaña Dynamics para que su rigidez aumente y se corrija ese error.

### Tensión muscular.

El simulador de los músculos permite realizar movimientos de encogimiento y estiramiento (squash, stretch). La tensión muscular es una característica que se hace visible al realizar un esfuerzo, el simulador no tiene aún esa característica. La tensión muscular es creada con blendShapes. A comparación del proceso para desarrollar los deformadores del rostro, estos nuevos deformadores suponen un menor tiempo de trabajo, puesto que la tensión muscular fué dividida en 10 regiones para este personaje: 2 piernas, 2 muslos, abdomen bajo y lumbares, pecho y espalda 2 brazos y 2 antebrazos. Cuando se realiza un esfuerzo, son varios los músculos que reaccionan y en conjunto ayudan a ejecutar la acción, no importando que los músculos con mayor tensión sean los anteriores o posteriores, puesto que el sistema muscular se encarga de darle forma a esas partes de la geometría cuando se realice la acción, los blendShapes por su parte simulan la tensión muscular cuando se requiera la presencia visible del esfuerzo.

Al crear los blendShapes del rostro, fue desarrollado uno que se encarga de controlar la tensión del cuello y simula al músculo platisma, que ayuda a muchas expresiones donde existe movimiento secundario en el cuello. Los resultados de la animación de este deformador pueden apreciarse en expresiones como la ira, nuevamente la falta de resolución evitó que su

movimiento fuese más definido y detallado, cuando se le aplicó el smooth al modelo, se aumentó el volumen para resaltar más el músculo (fig. 4.4).

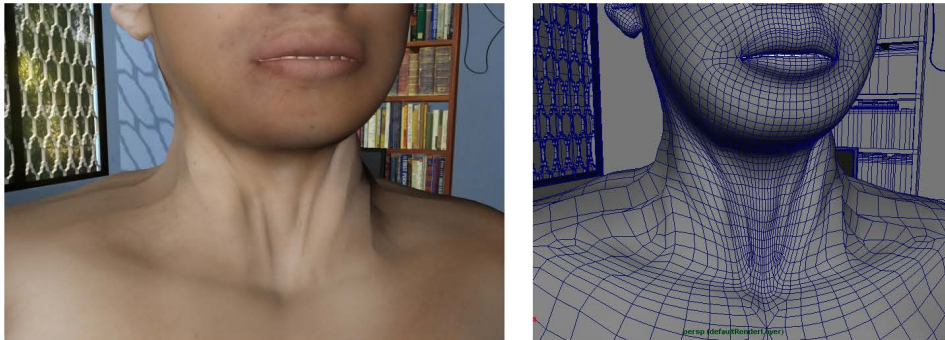


Fig. 4.4 Definición del músculo platisma.

### Lip sync.

El lip sync en el personaje digital es realizado mediante el movimiento del maxilar inferior, los blendShapes de los sonidos F, M, O y U (son las consonantes y vocales que presentan deformación en la boca) y el movimiento de la lengua, los movimientos secundarios dependerán de la intención que tiene el diálogo y fueron animados posteriormente.

## 4.3 Errores y modificaciones.

### Músculos e inserciones.

De acuerdo con los resultado de las deformaciones del cuerpo durante las pruebas de animación, se ha llegado a la conclusión de que los músculos creados no necesariamente se tienen que conectar como en un organismo real, sino en función del movimiento que realizarán y de la apariencia que darán a la geometría, existen varios errores en el modelo al poseer demasiados músculos, algunas zonas afectadas como el antebrazo, tienden a deformarse de maneras inesperadas, dificultando la manipulación del movimiento y la ubicación de

los errores, por lo tanto es conveniente sintetizar el número de músculos empleados en el modelo. Se eliminaron los siguientes:

- cMuscleSurfacetricepsB\_izq1
- cMuscleSurfaceflexorSuperficialDedosI\_izq1
- cMuscleSurfaceflexorCubitalCarpo\_izq1
- cMuscleSurfaceextensorRadialLargoCarpo\_izq1
- cMuscleSurfaceextensorCubitalCarpo\_izq1
- cMuscleSurfaceTibialAnterior\_izq1
- cMuscleSurfaceSoleo\_izq1
- cMuscleSurfaceTrapeccioE\_izq1
- cMuscleSurfaceGracil\_izq1
- cMuscleSurfaceinfraespinoso\_izq1
- cMuscleSurfaceTrapeccioH\_izq1

El resultado es un personaje más fácil de manipular y corregir (fig 4.5). La existencia de esos músculos superficiales puede ser omitida puesto que tanto la topología del modelo como otros músculos cercanos pueden simular su presencia. Este proyecto no tiene como finalidad ser una herramienta fidedigna de la estructura muscular, sino una forma de representar el movimiento.

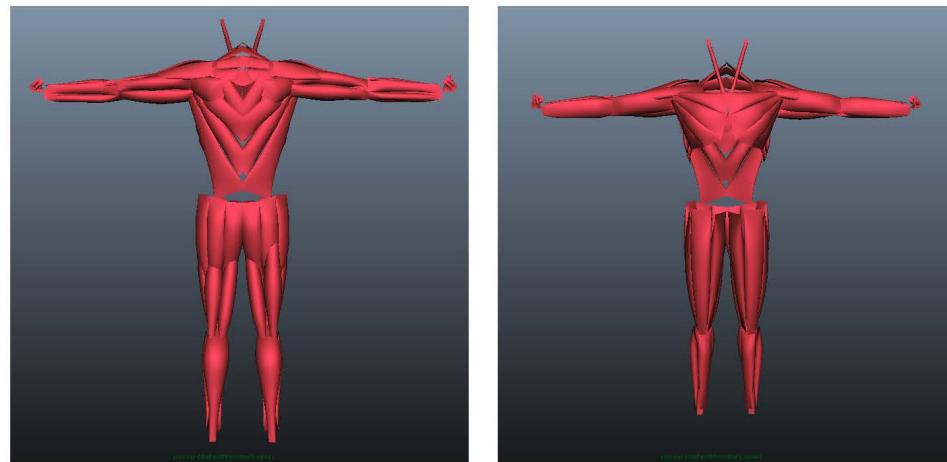


Fig. 4.5 Eliminación de músculos.

Otro conflicto surge debido a las inserciones de los músculos, algunos se colocan dejando un joint en medio de sus dos inserciones por lo que su movimiento tiende a ser errado. Por

ejemplo, en el caso del bíceps femoral (videos/Capitulo 4/01 biceps femoral.mov), que se inserta del iliaco al peroné, al encontrarse el joint del fémur entre ambos, cuando se flexiona la pierna provoca que el músculo se dirija hacia enfrente hundiéndose la superficie que le fue asignada. Se cambió la inserción del bíceps femoral hacia el fémur, de esta forma sus locators se mueven junto con el joint correspondiente al fémur y la deformación es más exacta. Con los músculos del brazo y del antebrazo ocurre el mismo problema por lo que sus inserciones fueron modificadas para controlar su movimiento. Este error ha comprobado que muchos músculos que no son conectados según la anatomía, funcionan de mejor manera en el 3D.

## 4.4 Animación Pe-as.

Para llegar a este punto las conexiones entre el modelo con el sistema muscular y los deformadores fueron recreadas un número considerable de ocasiones ya que no se encontraban los resultados esperados, los primeros músculos colocados se eliminaron puesto que durante las pruebas sus comportamientos no eran óptimos, al haber realizado muchos cambios y modificado parámetros una y otra vez, el método más efectivo es comenzar de cero. Otra ocasión fue cuando se modificó la resolución del personaje para tener mayor detalle en las deformaciones. Los cambios realizados en las estructuras del modelo y el comportamiento de los músculos fueron probados en un ejemplo concreto (videos/Capitulo4/02 pe as.mp4 y 02 pe as musculos.mp4). Se desarrolló una animación donde se ejecutaron acciones cotidianas y simples. Fue necesario crear un escenario donde se tuviera lugar la historia, el entorno modelado fue una habitación. El personaje estira sus músculos, tiene un diálogo, levanta una pesa y sufre un accidente. Durante los 30 segundos que dura la animación, el personaje tiene ciertos

comportamientos que debido a la investigación pudieron ser puestos en práctica y se encontraron otros errores técnicos. Las acciones que el cuerpo del personaje realiza fueron pensadas a manera que resultaran paralelas con su lenguaje hablado y su gesticulación<sup>5</sup>. Al realizar la acción de estirarse, en el personaje se nota la tensión muscular en el cuello y pecho por la simulación del platismo, creada con blend shapes, así mismo, el rostro presenta tensión por el esfuerzo reflejándolo principalmente con el descenso del entrecejo. En el diálogo pronunciado -logrado con el movimiento el maxilar inferior y con los blend shapes F, M, O y U-, el lenguaje corporal y las expresiones faciales conjuntamente forman movimientos hasta cierto punto naturales, fallando en cierta medida debido al timing, sobre todo, en el movimiento de los brazos al dejar de estirarse. El personaje tiene un carácter soberbio y se nota confiado de sí mismo, tanto por su forma de hablar como de comportarse, brindándole personalidad ya que su lenguaje corporal está animado para denotar esas características. Cuando levanta la pesa, el platismo, la zona del pecho y los brazos se tensan, manteniéndose de esa forma durante la acción realizada, el rostro gesticula y hace notorio el esfuerzo realizado, frunce el ceño, cierra los ojos y se elevan las comisuras labiales. Al cambiar la acción y llevar la pesa arriba de la cabeza el esfuerzo se intensifica, la acción de las piernas en esos movimientos requiere que su tensión se haga notar para denotar el esfuerzo en esa zona. El peso sobrepasa la capacidad del personaje y su cuerpo comienza a temblar para colapsarse al final. La pesa cae sobre su cabeza ocasionando la pérdida del conocimiento y el cuerpo se desploma, perdiendo toda la tensión y relajando los músculos, cuando choca con el piso, la piel muestra el impacto por la simulación del jiggle. El cuerpo yacente en el piso, repentinamente despierta y se convulsiona como una reacción del cerebro para mantenerlo con vida. La expresión final del personaje es de espanto, por lo que los ojos se mantienen abiertos a su máxima capacidad mientras que la respiración se realiza por la boca para simular que el personaje está tratando de jalar aire.

5. Roberts, Steve, "Character animation in 3D :use traditional drawing techniques to produce stunning CGI animation", Amsterdam, Ed. Elsevier, 2004, p. 79.



Se presentaron los siguientes errores:

- La pronación y supinación de la mano (Fig. 4.6): durante las pruebas realizadas en el capítulo 3, mientras que el modelo se encuentra en su posición original, estos movimientos del antebrazo no presentaron mayor inconveniente, sin embargo, cuando los brazos se encuentran flexionados hacia el frente, los músculos del antebrazo no le ayudan a la geometría de esa región a mantener su forma, por lo cual esa zona se deforma erróneamente. Cuando se comenzaba la investigación, se pensaba que los músculos del antebrazo iban a ser suficiente para mantener la estructura de esa superficie y un joint extra entre el codo y la muñeca no sería necesario, al ver el error ocasionado en el antebrazo, se hace presente la necesidad de ese joint y se llegó a la conclusión de que la mayor parte de la deformación del cuerpo se realiza principalmente con el smooth bind mientras que los músculos son un elemento que ayudan a crear deformaciones extra y soporte donde es requerido.

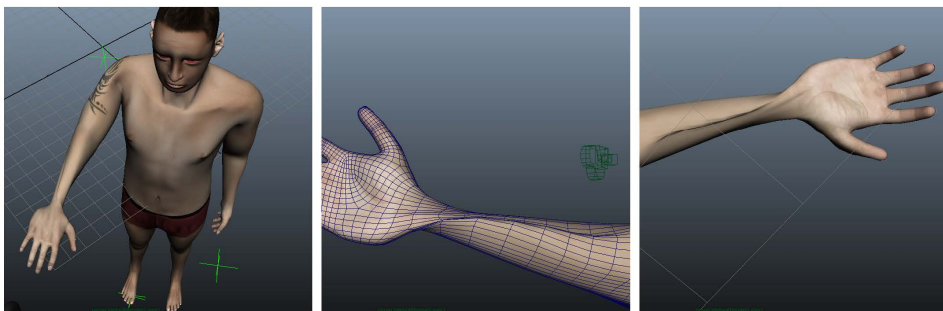


Fig. 4.6 Error en la pronación de la muñeca.

- Al momento de impactarse con el piso, los músculos dorsal ancho y pectoral mayor del lado derecho, presentan un grado alto de torsión (Fig. 4.7) esto es debido a un desface en la posición del cubo donde ambos músculos están insertados.

- Los músculos que conforman el pectoral mayor, cumplen su función en cierta medida al apoyar a la geometría de esa zona a simular el movimiento del pecho cuando los hombros y los brazos se mueven, pero debido a las inserciones, jalan la piel más de lo común, haciendo notorio otro defecto en el personaje.

- Los deltoides exageran su movimiento al impactarse con el

piso, la geometría no se ve muy afectada, sin embargo es un comportamiento completamente diferente al de la realidad. Este es un ejemplo claro de un error al aplicar el Squash y el Stretch a los músculos.

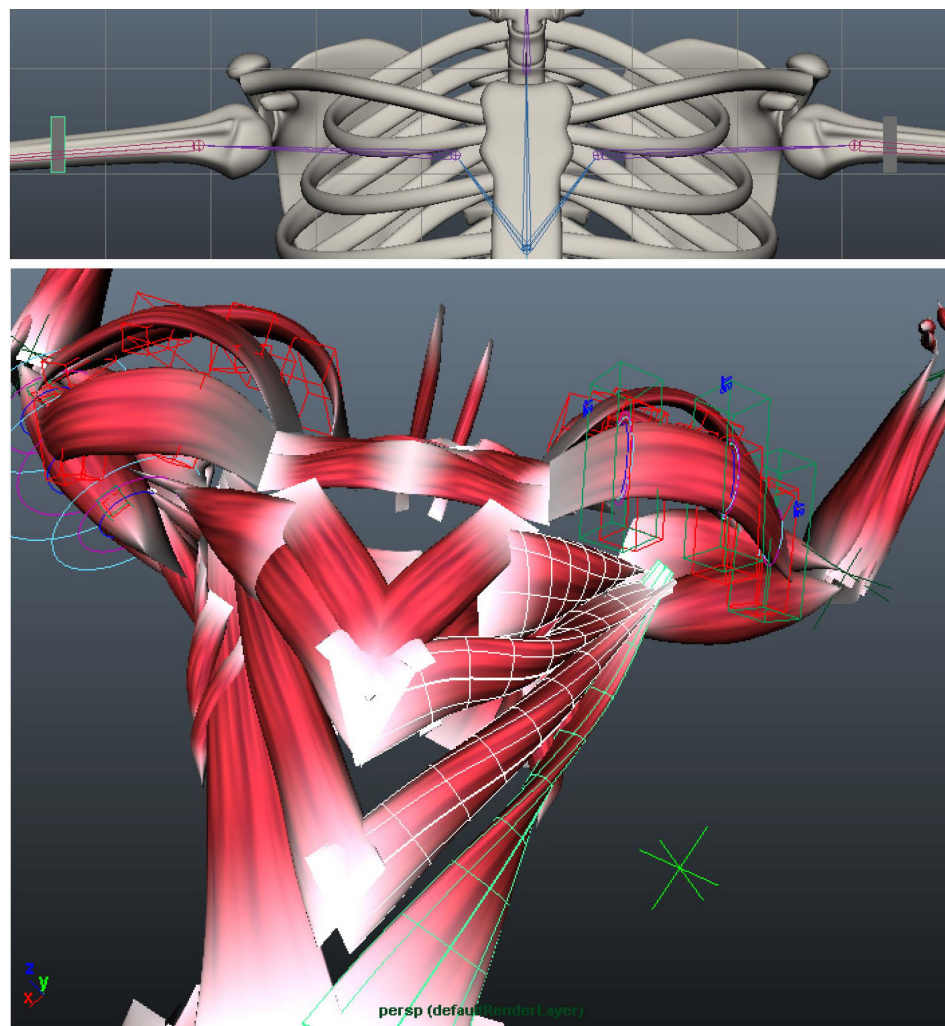


Fig. 4.7 Torsión en el dorsal derecho debido a la posición del cubo derecho.

- En cuanto al timing, durante los segundos 6-10 les faltó movimiento a los brazos, manos y dedos, se mantienen casi estáticos y no siguen los movimientos del torso. Faltó exageración durante el levantamiento de la pesa.

En el DVD se encuentran videos de referencia del cuerpo (videos/referencia cuerpo), los cuales fueron empleados para tratar de simular el timing y las deformaciones en el modelo. Se dio primordial importancia al rostro, por lo que su análisis no fue realizado a fondo, sirvieron como una base para notar los errores y carencias que presentó el modelo durante las pruebas de animación.

## Conclusiones.

El estudio de la mecánica muscular y el movimiento secundario ha demostrado, en el ejemplo desarrollado y en los casos de estudio analizados, los alcances que pueden obtenerse al desarrollar personajes considerando su estructura interna. Las animaciones creadas, sobretodo en el rostro, brindan mayor realismo al modelo 3D. Cada personaje de acuerdo a sus características físicas tendrá variaciones en sus movimientos y aspecto físico pero lo que se mantienen presente son las constantes de los principios estudiados en este proyecto, es decir, el sistema esquelético, muscular, los movimientos secundarios, las expresiones y el lenguaje corporal.

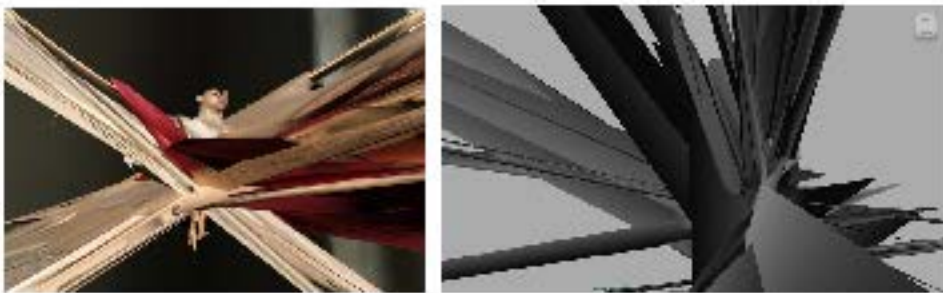
Al inicio de esta investigación, se creía que tratando de simular fielmente la estructura interna de un personaje, este podría lucir más realista, durante las últimas pruebas se llegó a la conclusión

de que no es necesario simular todos los músculos para obtener un resultado aproximado a la apariencia y comportamiento en la realidad, inclusive, se comprobó que varios músculos superficiales pueden ser simulados con uno solo y así disminuir el número de elementos que tendrá la estructura interna del personaje. El estudio anatómico profundo ayudo a la verificación de que muchas conexiones musculares se realizan de forma diferente a la realidad. Ningún músculo profundo fue colocado debido a que son los superficiales los que se encargaran de las deformaciones visibles en el cuerpo. Al inicio de esta investigación se creía que la colocación de los músculos profundos ayudaría a obtener mejores resultados, pero su aplicación lograría que el personaje digital fuera difícil de manipular más que conseguir un movimiento natural. Se indagó en el tema de los músculos profundos durante el capítulo 2 para entender el movimiento en determinadas

zonas. Esta investigación centro su atención en los músculos superficiales. Para ayudar con la reducción de elementos y facilitar los procesos de cálculo, algunos músculos, como los de la planta del pie o los interóseos de la mano, no fueron incluidos, sin embargo, durante la manipulación de los dedos de las manos es muy probable que hubiese sido de ayuda la integración de algunos elementos que le sirvieran a la geometría de los dedos a mantener su forma ya que al flexionarse no se deforman como en la realidad.

Maya tiene los recursos necesarios para crear simulaciones aceptables, incluso los músculos de forma compleja y con múltiples inserciones -como lo son el dorsal o el trapecio- pueden ser creados empleando varios músculos, justo como se aplicó a este proyecto. Al notar que el simulador de los músculos no contaba con la opción de poder tensarlos, se crearon los diferentes Blend Shapes encargados de realizar esa tarea para que la superficie del personaje sufriera las deformaciones pertinentes cuando su movimiento lo requiriera.

El problema más difícil de resolver fue precisamente la colocación de los músculos con el simulador, constantemente presentaba errores como cuando se trataba de desconectar algún músculo para reemplazarlo una vez agregadas las influencias. La desconexión tardaba mucho en realizarse y generalmente resultaba con errores en la influencia de los otros músculos.



La aplicación interactiva Animación Facial Referencia ha cumplido el objetivo de ser una referencia visual y comparativa

entre las expresiones faciales de la realidad con la animación 3D. Su desarrollo fue posible gracias a los estudios previos de anatomía y del sistema de la mímica. En ella se incluyeron los movimientos secundarios en las diferentes expresiones del rostro.

Otros factores sumamente relevantes, que no habían sido considerados al inicio de la investigación, son la personalidad y el lenguaje corporal. Ambos son los principales encargados de establecer una relación con el espectador, le ayudan a identificarse con el personaje y generar emociones. El rostro y las expresiones son elementos que influyen decisivamente. Como se menciona en los documentales de la BBC, el rostro es el principal medio de comunicación e interacción entre la especie humana, brinda personalidad y es lo que diferencia a cada uno de nosotros. Estas razones motivaron a profundizar más sobre las expresiones y la animación facial aunque eso implicara mayor carga de trabajo. Paul Ekman ha estudiado a fondo las microexpresiones, las cuales pueden ser casi imperceptibles pero pueden revelar las verdaderas intenciones de un sujeto. En la animación Pe-as las dos microexpresiones que tiene el personaje digital se realizan mientras se está estirando y cuando menciona "Pe-as", ambas fueron animadas para enfatizar la acción del personaje y darle una intencionalidad. Durante el estiramiento el guiño del ojo fué colocado para denotar la flojera del personaje ya que la boca se tuerce ligeramente.



En el dialogo, al levantar las cejas, enfatiza el coqueteo y le presume al espectador su habilidad.

En cuanto al resultado hablando sobre la imagen correspondiente al render y postproducción, el hiperrealismo que ha surgido durante los últimos años tiene un mayor desarrollo en las imágenes estáticas, la mayoría de las personas dedicadas a este campo emplean Photoshop o softwares de edición de imágenes para incluir un mayor detalle al render, solución que se vuelve imposible cuando se trabajan con miles de frames. Las animaciones aún presentan los errores que se han mencionado a lo largo de este trabajo pero cada vez el resultado visual es más convincente. Día a día más personas pueden acceder a estas herramientas y crear ese tipo de movimientos complejos en los personajes digitales.

La resolución de la textura es otra limitante ya que para acercamientos es probable que no se cuente con una resolución óptima. Entre las posibles soluciones se encuentran las siguientes:

- Crear textura en alta resolución para el caso específico de un Close Up.
- Cuando el personaje tenga un vestuario, dividir en varias zonas su cuerpo y vestimenta para que cada región tenga un material con textura en alta resolución.

Personalmente, el desarrollo de este proyecto me llevó a comprender los requisitos que un personaje 3D requiere más allá del aspecto técnico, aumentó mis capacidades para modelar y animar debido a la complejidad que conlleva el tratar de realizar un personaje con apariencia realista. El proceso de modelar el esqueleto, colocar los tendones y simular los músculos me ayudó a comprender el funcionamiento de un cuerpo y de la expresión en sus movimientos. Me tope con bastantes dificultades al asimilar la forma en la que Maya desarrolla los músculos, que en muchas ocasiones no lograba hacer que se comportaran de la forma deseada lo cual me llevó a investigar más acerca de su

comportamiento y buscar posibles soluciones a los problemas que se iban presentando.

El estudio anatómico del cuerpo humano fue extenuante y resultó ser frustrante que la aplicación de este proyecto no requiriera todos los músculos que fueron analizados debido al flujo de trabajo en el programa, por otra parte ese estudio podría servir para crear futuras animaciones de temas más específicos. Este proyecto me brindó las capacidades técnicas y conceptuales necesarias para poder simular un ser vivo, he podido llegar a la conclusión de que un personaje 3D es capaz de generar efectos visuales convincentes al aplicarle los diferentes procesos desarrollados en este proyecto, por lo que en futuros trabajos emplearé el mismo tipo de sistema y metodología. La realización de los manipuladores del rostro y la tensión muscular no presentaron mayores complicaciones o trabas, su desarrollo fue fluido y respondía de acuerdo a como se esperaba, lo contrario del sistema muscular, donde algunas inserciones tuvieron que ser manipuladas para adaptarse mejor al movimiento del personaje 3D.

Aunque se siguieron estudios anatómicos y se colocaron deformadores y simuladores para aumentar la calidad de los movimientos, las deformaciones incorrectas siguen presentándose por diversos factores:

- La posición en T del personaje creó el error de la rotación del bíceps y tríceps mencionada en el capítulo 3. Esta posición también genera conflictos al descender los brazos en la zona de los hombros, mediante el empleo de los músculos que simulan el deltoides se pudo disminuir la errónea deformación, también se pudieron crear Blend Shapes para suavizar la deformación al realizar dicha acción. Observando otros modelos creados profesionalmente (como los de Chris Wells y Mike Kime entre otros), la forma en la que son construidos no es en T sino con los brazos a no más de 45 grados aproximadamente de elevación horizontal, esta forma de crear los personajes evita que se generen

esas deformaciones del bíceps y tríceps y también permite tener una apariencia más natural en la posición erguida al no tener deformaciones exageradas en la zona del hombro puesto que no existe tanta tensión muscular. Esto se debe a que en la posición en T los brazos se encuentran con ligeras rotaciones y existe tensión muscular por parte del deltoides y trapecio lo cual se ve reflejado en el modelo y por consiguiente, al bajar los brazos a su posición de reposo, se generan las deformaciones erróneas. No alcanzó el tiempo para crear un ejemplo con esta posición, para futuros proyectos se tendrá en cuenta este factor.



Chris Wells <http://www.polycount.com/forum/showthread.php?t=90208> (06-03-2012)



Mike Kime <http://www.pseudo-pod.com/> (06-03-2012)

• Al animar, surgieron nuevas deformaciones erróneas consecuencia del mismo sistema muscular y sus inserciones. Es complicado analizar y estudiar la anatomía humana de manera estática para tratar de aplicarla a un objeto dinámico. Cuando

el personaje durante la animación estira los brazos sacando el pecho, el músculo pectoral mayor jala la geometría generando un ligero hundimiento por debajo de la clavícula.

• En el timing de la animación Pe-as, noté al verla una y otra vez, que es más complicado realizar un correcto timing de objetos que se mueven con lentitud, a realizar el timing de objetos que se mueven más rápido. Durante la primera toma de la animación, los movimientos del personaje al estirarse son más lentos, en la segunda toma, al encontrarse realizando una actividad más dinámica su cuerpo tiene que moverse a una velocidad mayor. Durante la primera toma se puede notar los errores en el movimiento de los brazos, en cambio, en la segunda toma, el timing contiene menos errores notorios. La razón es el tiempo que le toma a las acciones ser ejecutadas, mientras que en la toma 1 las acciones son pocas y lentas, se notan más los errores en el timing, en cambio, cuando comienzan a generarse varias acciones a una velocidad mayor, cuesta más trabajo notar errores en el timing porque existen más elementos que analizar y nuestra percepción los funde con mayor facilidad.

En cuanto al trabajo a futuro, me gustaría poner un mayor énfasis en las microexpresiones, me he dado cuenta que es un recurso de sumo valor que tiene un impacto mayor en la animación, sobre todo en aquellas donde existan varios personajes comunicándose. Al emplearlas, la comunicación entre los personajes podría resultar con un número mayor de variantes enriqueciendo la acción. En este trabajo al contar solo con un personaje, el número de microexpresiones empleadas fue mínimo, ya que en el guión de la animación Pe-as no se consideró la posibilidad de crear diálogos donde poder sacarles provecho.

Por último y de suma importancia, habría que realizar más pruebas con respecto al sistema muscular en 3D y compararlas con los videos de referencia creados para encontrar nuevas formas de conectar las inserciones y manipular los comportamientos de la geometría al deformarse para generar personajes cada vez más perfectos.

# BIBLIOGRAFÍA

## **Fisiología y Anatomía Humana:**

- ALCARÁZ DEL RÍO, Ignacio. *Elementos de anatomía humana*. 3a ed. México, Ed. Méndez, 2006, 210 p.
- POCOCK, Gillian. *Fisiología humana: la base de la medicina*. 2a ed. Barcelona España, Ed. Masson, 2005, 712 p.
- GUYTON, Arthur. *Fisiología humana*. México, Ed. Nueva editorial interamericana, 1987, 704 p.
- STANLEY WALLACE, Jacob. *Anatomía y fisiología humana*. 4a ed. México, Ed. Alejandra Teran, , 1985, 711 p
- BOURGERY, JM. *Atlas of human anatomy and surgery. The coloures plates of 1831 1854*. China, Ed. Taschen, 2008, 714 p.
- GORDON, Deborah. *Dibujando la anatomía y figura humana*. México, Ed. Lagusa, 2001, 144 p.
- NEGRETE HERRERA, José. *Técnica de disecciones y atlas de anatomía humana*. México, Ed. Méndez, 2007. 225 p.
- ROUVIERE, Henry. *Anatomía humana: descriptiva, topográfica y funcional*. 11a ed. Barcelona España, Ed. Masson, 2005.
- ROHEN, Johannes. *Atlas fotográfico de anatomía humana*. Madrid España, Ed. Harcourt Brace, 1998, 486 p.
- SILVERTHORN, Dee Unglaub. *Fisiología humana: un enfoque integrado*. 4a ed. Buenos Aires, Ed. Medica Panamericana, 2008, 980 p.
- TATARINOV, Vasilii Georgievich. *Anatomía y fisiología humana*. 3a ed. rev. y ampliada , Moscú, Ed. Mir, 1987, 359 p.

- THIBODEAU, Gary. *Estructura y función del cuerpo humano*. 13a ed. Barcelona, España, Ed. Elsevier, 2008, 539 p.

### **Animación y Movimiento**

- AVGERAKIS, George. *Digital animation bible*. USA, Ed. McGraw-Hill, 2004, 352 p.
- FERRÓN, Myriam. *Figura en movimiento*. España, Ed Parramon, 2001, 32p.
- GHERTNER, Ed. *Layout and composition for animation*. USA, Ed Elsevier, 2010, 217 p.
- HALAS, John. *Timing for animation*. UK, Londres, Ed Focal press, 1981, 145 p.
- JARIEGO GALLEGO, Fernando. *Vida digital: creación profesional de personajes 3D*, 1a ed. Madrid España, Ed. Anaya Multimedia, 2002, 208 p.
- MAESTRI, George. *Creación digital de personajes animados*. Madrid, España, Editorial Anaya Multimedia, 2002, 369 p.
- MUYBRIDGE, Eadweard. *Animals in motion*. 1a ed. USA, Ed. Dover Publications, 2007, 48p.
- MUYBRIDGE, Eadweard. *Human figure in motion*. 1a ed. USA, Ed. Dover Publications, 2007, 48p.
- PARDEW, Les. *Character emotion in 2d and 3d animation*. USA, Ed Thomson Course Technology, 2008, 251p.
- RATNER, Peter. *3D Human modeling and animation*. 2da ed. John Wiley & sons. USA, 2003, 246 316 p.
- RATNER, Peter. *Animación 3D*. 1a ed. España, Ed. Anaya Multimedia, 2005, 441 p.
- SARRIS, Nikos & STRINTZIS, Michael. *3D modeling and animation :synthesis and analysis techniques for the human body s. I.* 2005, 395 p.
- STEVE, Roberts. *Character animation in 3D :use traditional drawing techniques to produce stunning CGI animation*. Amsterdam, Ed. Elsevier, 2004, 245 p.
- WELLS, Paul. *Fundamentos de la animación*. 1a ed. Barcelona España, Editorial Parramón, 2007, 196 p.

### **Otros.**

- ACHA, Juan. *Arte y sociedad: Latinoamérica. El sistema de producción*. México, Ed. Fondo de cultura económica, 1979. PP. 373-406
- DAVIS, Flora. *La comunicación no verbal*. España, Ed. Alianza Editorial, 2010, 320p.
- EKMAN, Paul. *Telling lies*. USA, Ed wwnorton 1991, 368p.
- GURBEN, Roman. *Del bisonte a la realidad virtual, la escena y el laberinto*. Barcelona, Ed. Anagrama, 1996. 200 p.
- JACKMAN, John. *Lighting for digital video and television*. USA, Ed Elsevier, 2010, 273 p.
- PLASENCIA, Carlos. *El rostro humano, observación expresiva de la representación facial*. Valencia, España, Ed Universidad de Valencia, 1993, 170 p.

### **Páginas WEB consultadas:**

<http://alt1040.com/2010/11/hatsune-miku-holograma-3d-japon>



<http://androidesyosthumanos.blogspot.com/>

<http://www.santiagokoval.com/tag/imagen-digital/>

<http://www.andrewzeller.com/2008/01/>

<http://www.blendernation.com/2008/12/17/hatsune-miku-rigged-blender-character-available/>

<http://elkioscobloggero.wordpress.com/tag/cine/>

<http://www.livejournal.ru/themes/id/5276>

<http://www.adventuresinanimation.com/TonydePeltrie.htm>

<http://www.pseudo-pod.com/>

<http://www.polycount.com/forum/showthread.php?t=90208>

<http://www.paulekman.com/>