



7 Implementación

En este capítulo se expone la implementación de la biomecánica del miembro superior mediante el uso de la realidad virtual. Con las imágenes DICOM obtenidas mediante tomografía computarizada ha sido posible la reconstrucción tridimensional de cada uno de los huesos que conforman el miembro superior y cuyas características anatómicas han sido descritas y analizadas en el primer capítulo de este trabajo.

Durante el desarrollo de este proyecto fue necesario realizar tres estudios tomográficos diferentes, sin embargo solo se ocupó la información obtenida de dos de ellos. Los estudios se realizaron con un tomógrafo de tipo helicoidal y las imágenes DICOM tuvieron que cumplir con ciertas características para que la reconstrucción tridimensional fuera de la mejor calidad posible.

El primer estudio tomográfico que se realizó fue de cuerpo completo, con un paciente de género masculino y se obtuvieron cortes anatómicos con una separación de 1.25 mm, este parámetro es el que define el tamaño de los voxels y fue la razón principal por la que el estudio fue descartado durante el proceso de reconstrucción tridimensional pues los modelos virtuales obtenidos no tenían una calidad adecuada.

El segundo estudio, fue realizado con el mismo paciente y se pudo obtener la información correspondiente a ambas manos, en esta ocasión con una distancia entre cada corte de 0.625 mm, y que ayudó a obtener una reconstrucción tridimensional lo más fiel a las características anatómicas reales.

Para solucionar el problema encontrado en el primer estudio fue necesario realizar un tercer estudio tomográfico, en esta ocasión con restos óseos con la finalidad de no repetir el proceso de separación entre la piel y músculos con los huesos realizado con las imágenes del primer y segundo estudio, obteniéndose cortes anatómicos con una separación de 0.625 mm, permitiendo de la misma forma que en el segundo estudio, por la separación entre los cortes anatómicos, obtener modelos virtuales de gran resolución.

Uno de los problemas a los que nos enfrentamos durante la reconstrucción tridimensional fue la presencia de la camilla del tomógrafo en las imágenes, principalmente en las del tercer estudio debido a que algunos de los huesos aparecían pegados a la camilla, por lo que fue necesario filtrar y recortar las imágenes para eliminarla.



7.1 Filtrado y recorte de imágenes con Photoshop

El software que se utilizó para procesar las imágenes fue Adobe Photoshop en su versión CS4 por ser una herramienta bastante completa para el procesamiento de imágenes digitales y por contar con soporte para el formato DICOM.

En esta herramienta se modificó el nivel de contraste de las imágenes para resaltar los bordes de los huesos, separarlos para realizar la reconstrucción individualmente y la eliminación de la camilla del soporte del tomógrafo.

El proceso consiste en aplicar al set de imágenes completo un filtro que nos permita resaltar bordes de cada uno de los huesos, sin perder información importante. Para ello Photoshop nos permite realizar las modificaciones de contraste a todo el set de imágenes con la facilidad de exportarlas a otro formato como JPEG o TIFF.

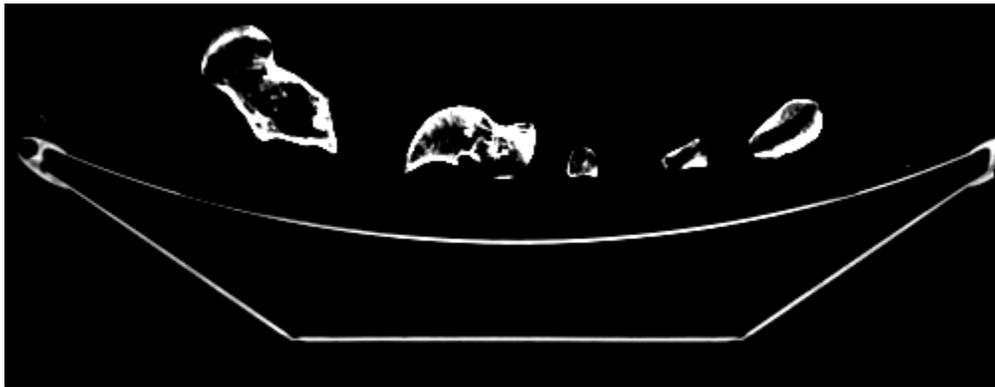


Imagen 102. Visualización de una de las imágenes DICOM sin procesar

Photoshop cuenta con ajustes preestablecidos de radiología para mejorar el contraste de las imágenes DICOM (por defecto, pulmón, hueso o abdomen), se ha utilizado el valor de hueso para destacar los datos que nos interesan del estudio como son los bordes de los huesos principalmente.

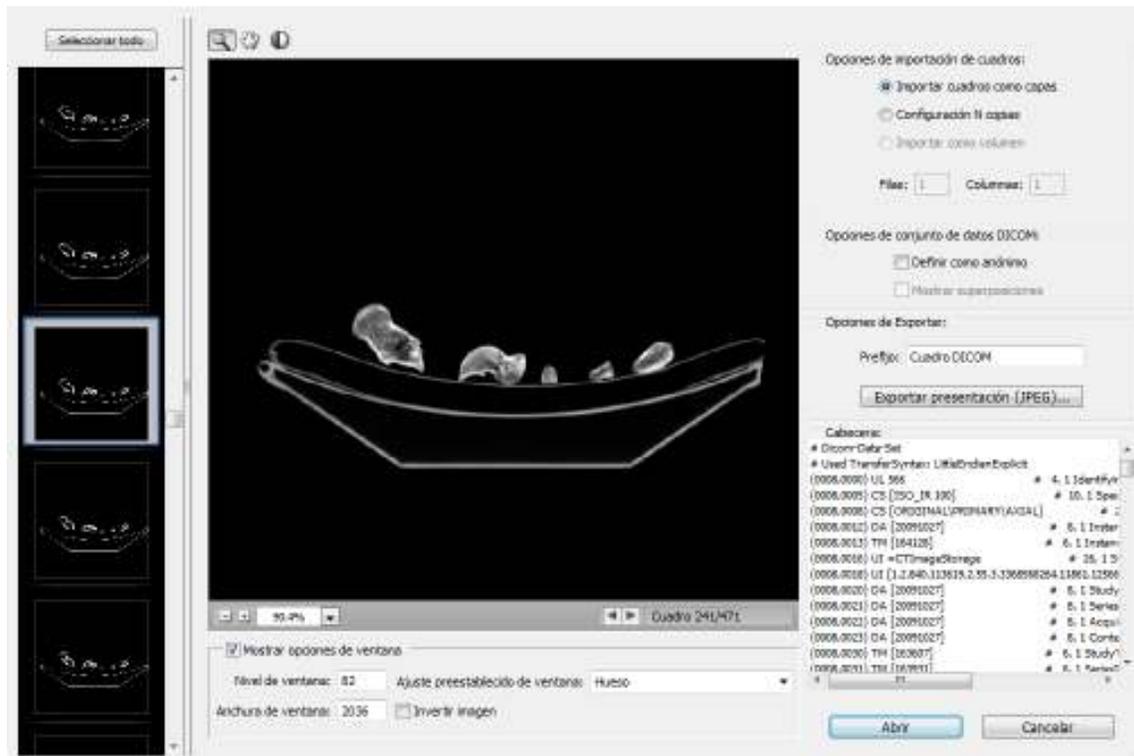


Imagen 103. Procesamiento del set de imágenes DICOM con Photoshop

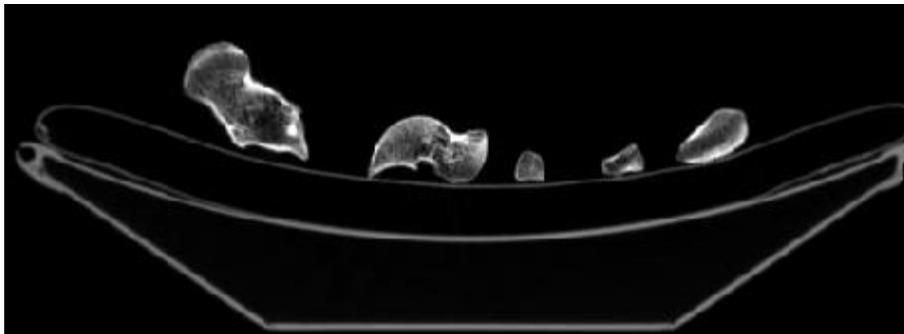


Imagen 104. Resultado al aplicar el filtro: se pueden observar los huesos más definidos

Una vez que se filtraron las imágenes se procedió a programar una rutina automatizada en Photoshop que nos permitiría aislar cada hueso para su reconstrucción individual y exportar cada una de las imágenes a formato TIFF para el caso específico del tercer estudio tomográfico realizado, de esta manera se agiliza el proceso de carga de las imágenes en memoria y se evita la pérdida de información.



El proceso consiste en crear una máscara de selección para cada uno de los huesos de interés, almacenar la acción dentro de una rutina en Photoshop e indicarle en donde queremos que se almacene el resultado del procesamiento.

Una acción es una serie de tareas que puede reproducirse en un único archivo o en un lote de archivos, permitiéndonos procesar y separar cada uno de los huesos en todo el set de imágenes DICOM.

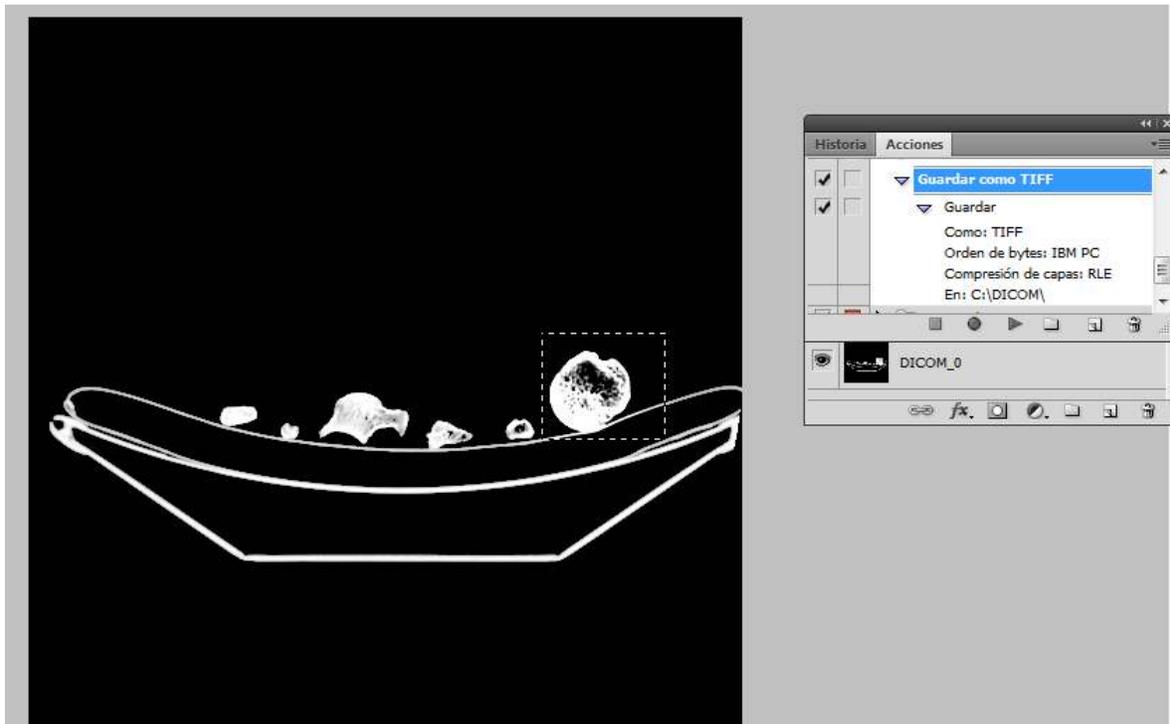


Imagen 105. Mascará de selección para el hueso de interés



Imagen 106. El resultado para cada hueso se almacena en formato TIFF



7.1.1 El formato TIFF

El formato TIFF (Tagged Image File Format) es un archivo universal para el almacenamiento de imágenes, sus siglas en español significan “formato de archivo de imagen con etiquetas” esto se debe a que las imágenes en este formato contienen además de los datos correspondientes a la información de la imagen, etiquetas en las que se almacena información sobre las características de la imagen, como su tamaño, su manejo de color, información para las aplicaciones que utilicen el archivo, texto e incluso vista previa de la imagen en miniatura.

Es un tipo de formato estándar para almacenar imágenes de alta calidad y es compatible con diferentes sistemas operativos. Es capaz de almacenar imágenes en blanco y negro (1 bit), escala de grises (9 bits), imágenes a color en modo RGB (24 bits) y CMYK (32 bits) y cuenta con más de diez técnicas de compresión.

Soporta el algoritmo de compresión sin pérdidas de información denominado LZW (Lempel Ziv Welch) llamado así por los investigadores israelíes Abraham Lempel y Jacob Zif.

Sin pérdida de información significa que no hay pérdida de calidad en la imagen debido a la compresión, lo que garantiza que siempre se obtendrá la misma imagen que se guardó originalmente, idéntica bit a bit. Esto es un factor crítico para imágenes en las cuales se desea conservar la información original.

La extensión para los archivos TIFF es *.tif, aunque *.tiff también es utilizada ocasionalmente.

7.2 Segmentación de imágenes y surface rendering con Amira

La segmentación de imágenes ya filtradas y recortadas con ayuda de Photoshop se realizó con el programa Amira.

Este proceso consiste en seleccionar las áreas de interés de cada imagen, en este caso la estructura del hueso, desechando lo que queda de soporte en cada imagen. Una vez que se tienen todas las imágenes ya segmentadas, estas se utilizan para hacer surface rendering, donde sólo aparecerá el modelo del hueso limpio de geometrías ajenas.

Todo este proceso se realizó de la siguiente manera:

Paso 1: Abrir el set completo de imágenes de cada hueso, en este caso se usaron las imágenes (en formato TIFF) previamente procesadas del húmero.



Amira no abrirá imagen por imagen, si no que las almacenara en un solo bloque de datos, con el cual se pueden hacer diferentes cosas, como por ejemplo, aplicar algún tipo de filtro, mostrar el histograma de cada imagen, entre otras cosas, en este caso se muestra el contenido del bloque por medio de la herramienta OrthoSlice.

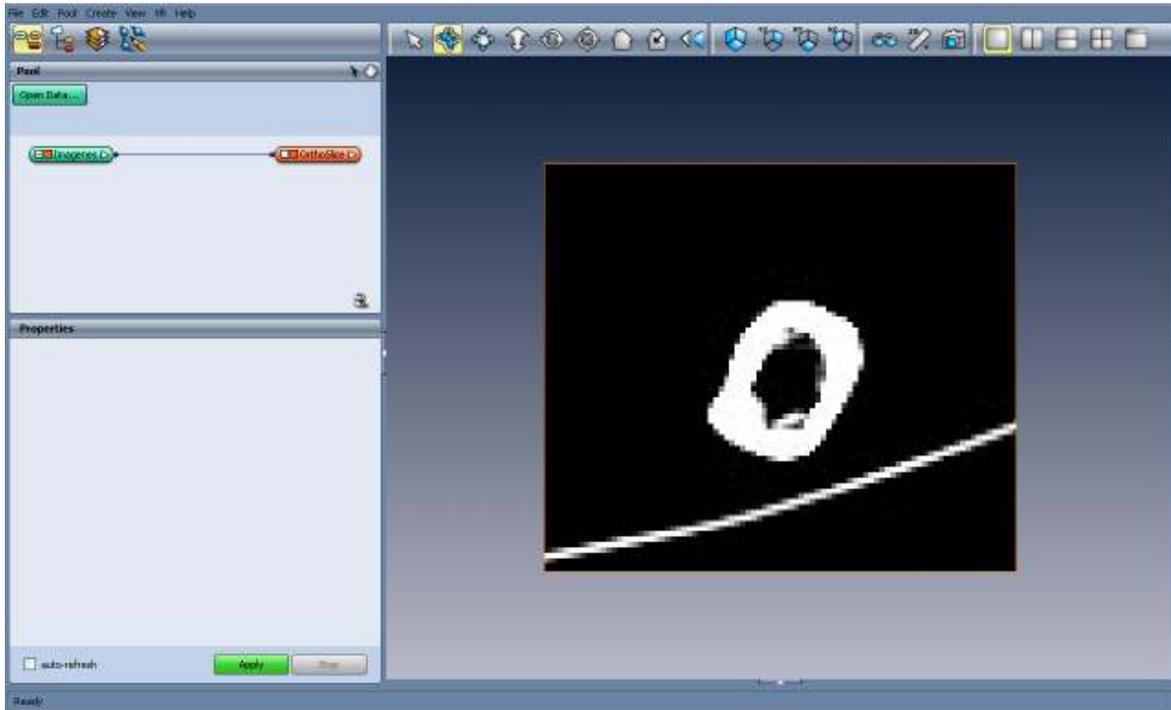


Imagen 107. Amira mostrando el contenido del bloque de imágenes con la herramienta OrthoSlice

Paso 2: Seleccionar el apartado de segmentación de imágenes, en donde tendremos que crear un nuevo Label Data de nuestras imágenes, que nos servirá para comenzar con la segmentación.

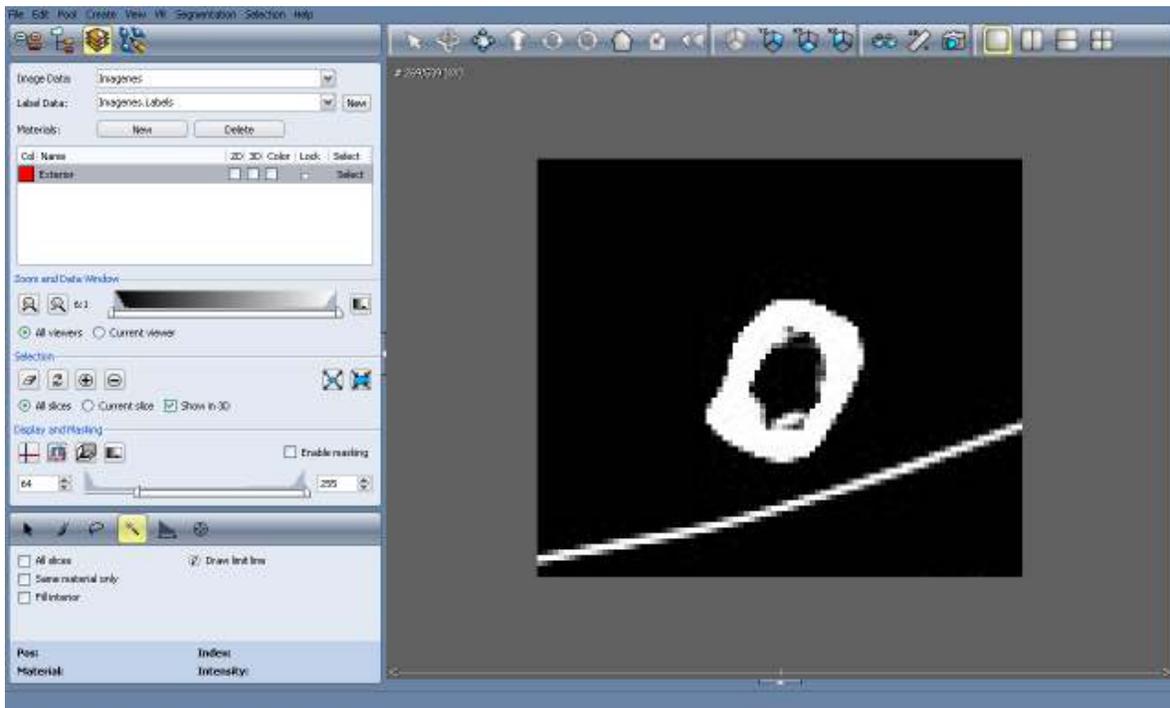


Imagen 108. Apartado de segmentación de imágenes en Amira

En el apartado de segmentación de imágenes nos podemos encontrar con diferentes herramientas que nos son de gran utilidad como cambiar el contraste de las imágenes, hacer un zoom, diversos métodos de selección, entre otras.

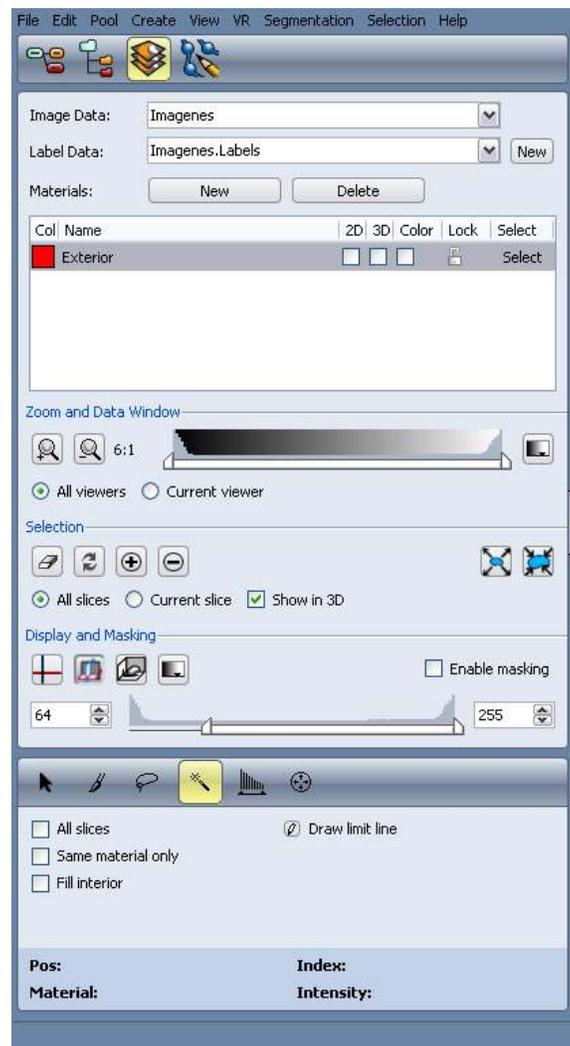


Imagen 109. Herramientas del apartado de segmentación de imágenes

Paso 3: Manipular el contraste para obtener una imagen más limpia, a continuación se hace una comparativa de la imagen original y otra con un mejor contraste:

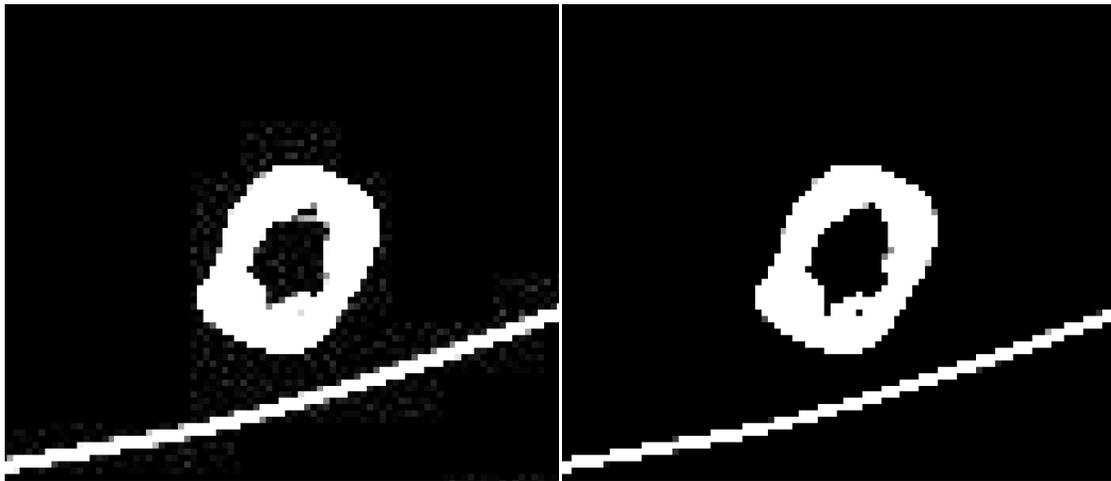


Imagen 110. Comparativa de imagen original y la imagen con un mejor contraste

Como se puede observar, la imagen original se ve un poco borrosa además de que existe ruido (píxeles grises) alrededor de la estructura del hueso y el soporte, al cambiar el contraste a la imagen se observa que ya no hay ruido y la imagen se ve más limpia, lo que nos ayudara a realizar la segmentación de una forma más precisa.

Paso 4: Elegir el método de selección más adecuado para seleccionar los píxeles de cada imagen, en este caso se utilizo el modo Brush con tamaño 25 para abarcar un área considerable de píxeles adecuado a la imagen en cuestión.

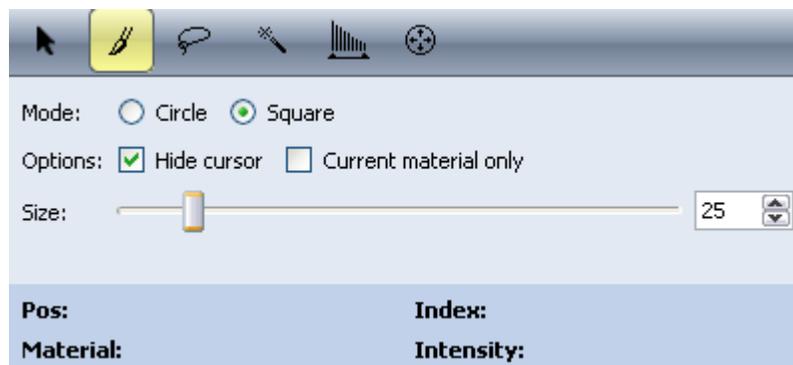


Imagen 111. Herramientas de selección de píxeles

Paso 5: Seleccionar los píxeles de la estructura del hueso, dejando a un lado todo lo que no tenga que ver con dicha estructura.

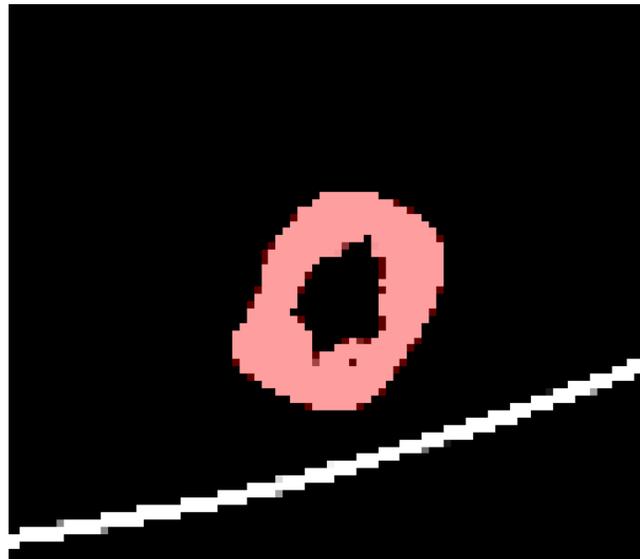


Imagen 112. Selección de píxeles de la estructura del hueso

Para agilizar este procedimiento se utiliza la herramienta de interpolación, consiste en hacer la selección de píxeles en una imagen (por ejemplo la imagen 1 del set de imágenes) y hacer la selección de píxeles en otra imagen más adelante (por ejemplo la imagen 40 del set de imágenes) y Amira hará la selección de píxeles automáticamente de las imágenes faltantes (imágenes entre la número 1 y 40 del set de imágenes).

Este procedimiento solo se puede utilizar cuando las imágenes son muy parecidas entre sí, uno de los inconvenientes del uso de este método es que no es muy preciso, por lo que se tienen que revisar todas las imágenes y seleccionar partes faltantes o quitar partes que no se debieron de haber seleccionado.

Paso 6: Convertir la selección en voxels. Para esto debemos crear un nuevo material para poder crear los voxels.

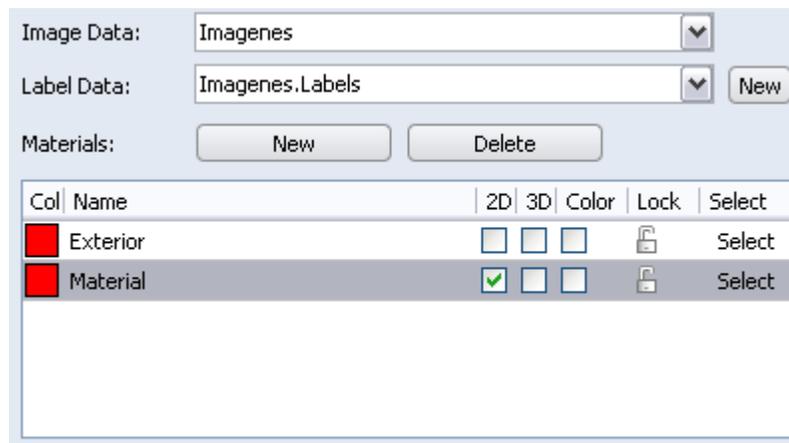


Imagen 113. Creando un material para los voxels

Ya que tenemos el material, podemos convertir la selección de píxeles en voxels y así proceder con el surface rendering.

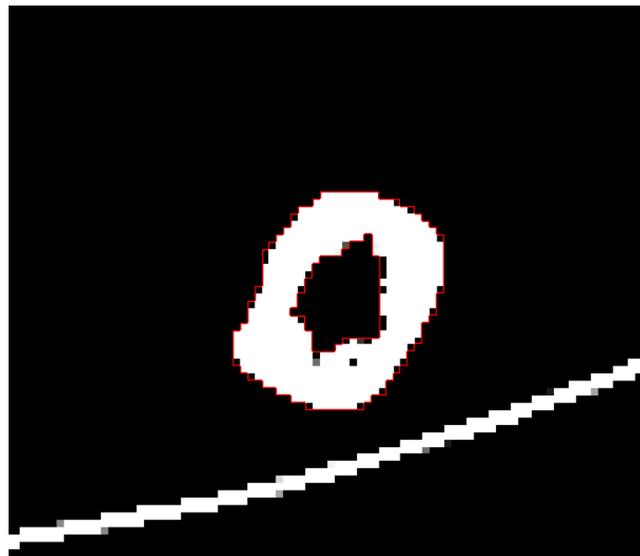


Imagen 114. Selección convertida en voxels

Las imágenes ya segmentadas se almacenan en un bloque Label Data que se creó al iniciar la segmentación.



Imagen 115. Bloque Label Data

Al igual que el bloque de imágenes, el bloque Label Data también se puede visualizar el contenido con la herramienta OrthoSlice, con la diferencia que se muestran las imágenes ya segmentadas y listas para el surface rendering.

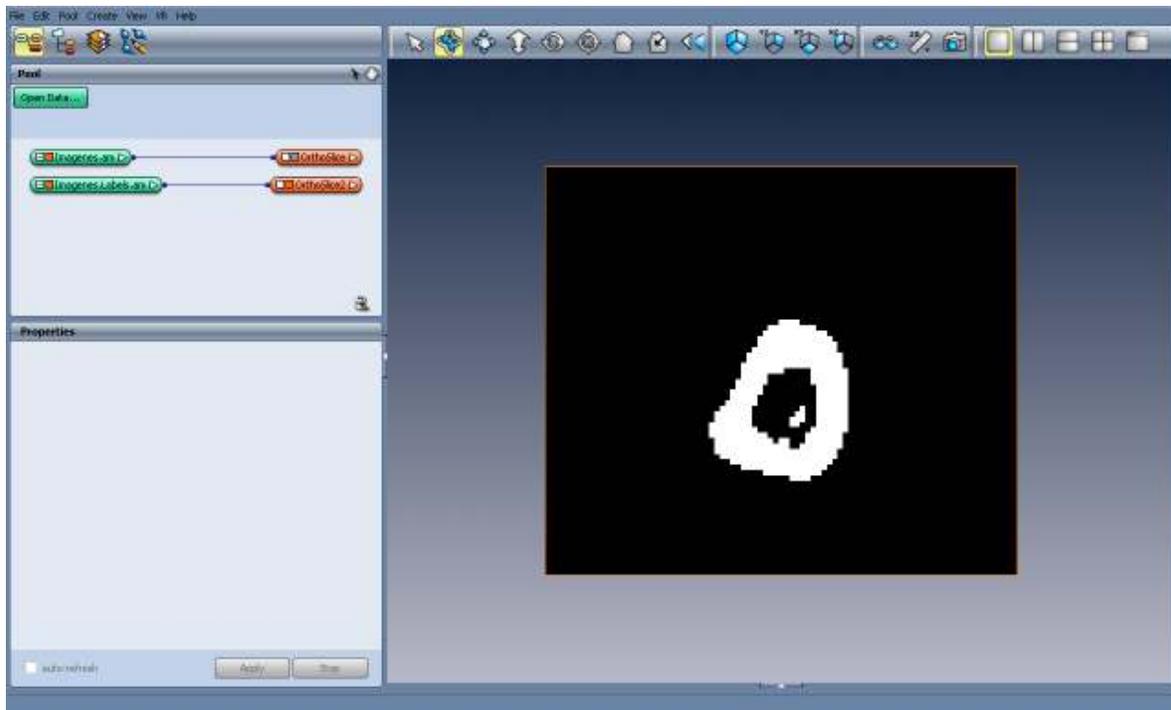


Imagen 116. Amira mostrando el contenido del bloque Label Data con la herramienta OrthoSlice

Como se puede observar, la imagen ya no tiene soporte ni ruido, sólo se visualiza la estructura del hueso.

Paso 7: Hacer el surface rendering haciendo uso de la herramienta SurfaceGen, que sirve para usar las imágenes ya segmentadas como voxels y así obtener un modelo en 3D del hueso. Ya hecho esto, se crea automáticamente un nuevo bloque que almacena el modelo en 3D, el cual se visualiza con la herramienta SurfaceView.

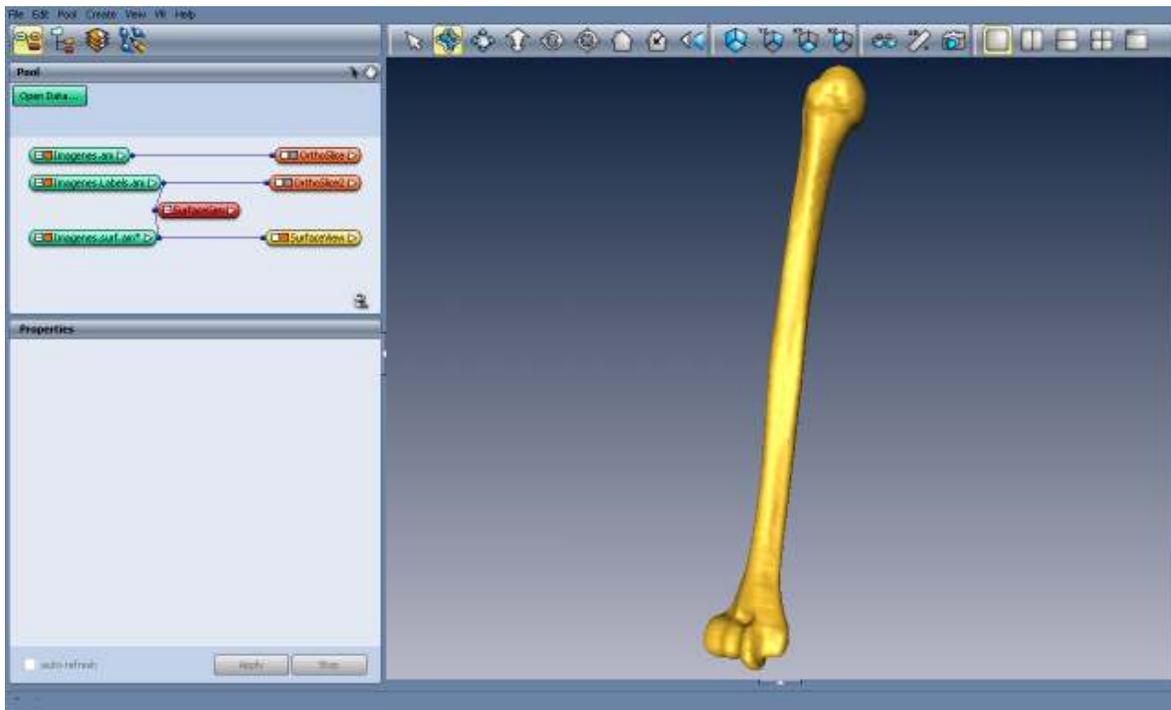


Imagen 117. Amira mostrando el surface rendering de las imágenes ya segmentadas del húmero

Todo este procedimiento se hizo con todos los huesos, a diferencia de que se trabajó con imágenes en formato DICOM para los huesos que conforman la mano, ya que el segundo estudio tomográfico que se realizó, fue de muy buena calidad y por lo tanto los modelos 3D fueron buenos.

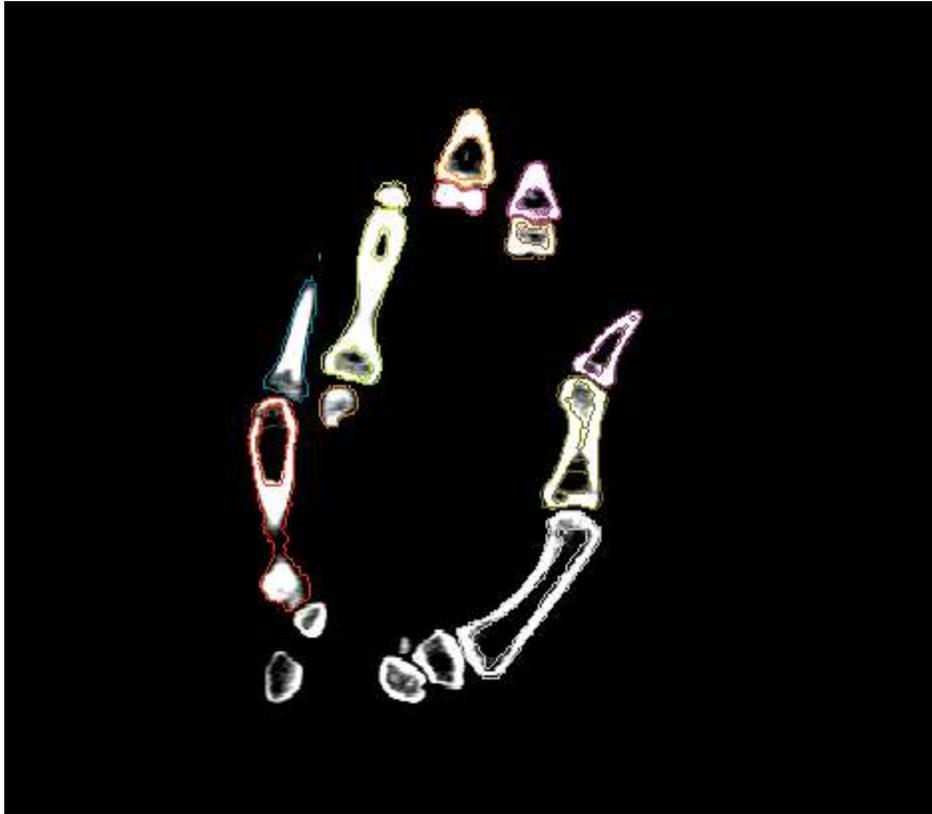


Imagen 118. Segmentación de falanges y metacarpianos

En la imagen se puede observar que no existen elementos ajenos a la estructura del hueso (piel y músculos) que puedan dificultar el procedimiento de segmentación, además de que se ve perfectamente dónde empieza y dónde termina cada hueso, por esta razón no se tuvo la necesidad de procesar estas imágenes.

A comparación con el primer estudio tomográfico al realizar el surface rendering se obtuvieron modelos de muy mala calidad, ya que presentaban muchas irregularidades y no eran del gusto para los especialistas en anatomía ósea.

A continuación se muestran algunas imágenes de los modelos que se obtuvieron del primer estudio tomográfico:

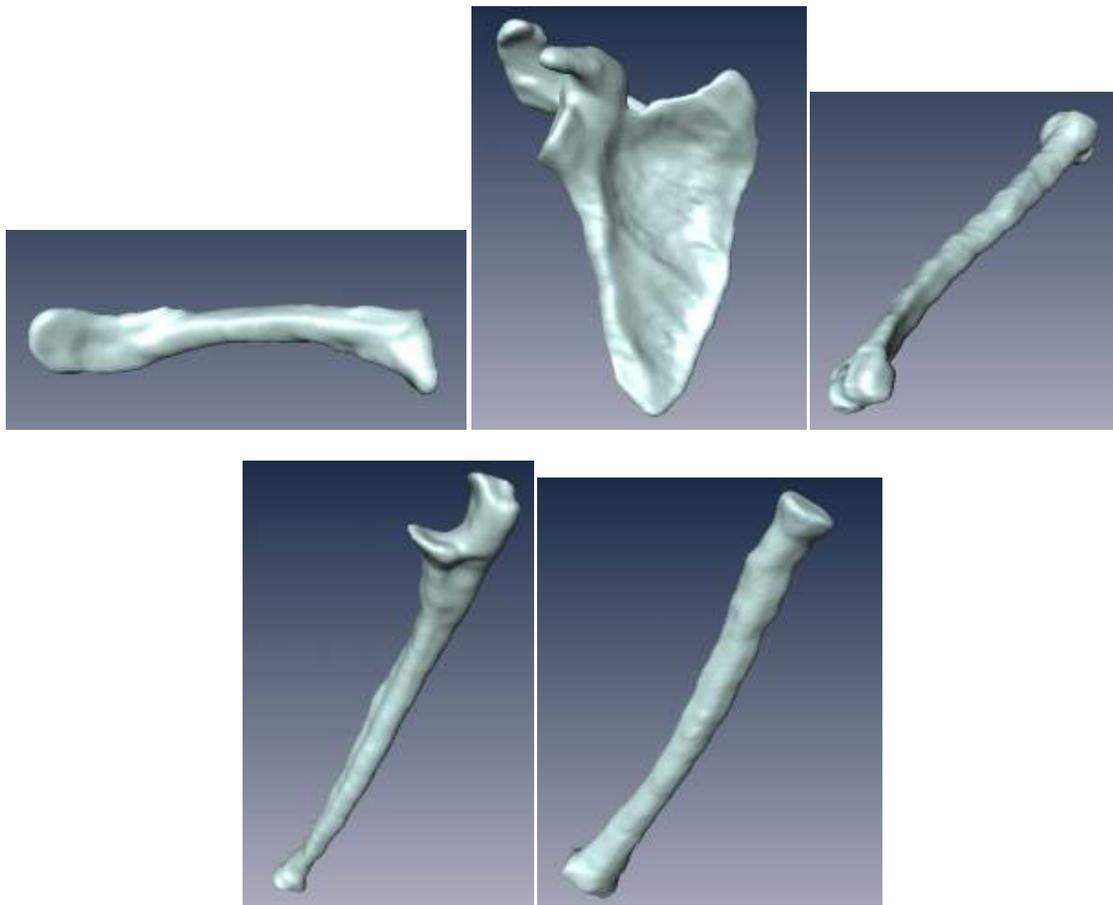


Imagen 119. Surface rendering del primer estudio tomográfico de la clavícula, escápula, húmero, cúbito (ulna) y radio

7.3 Corrección de geometrías con 3ds Max y Mudbox

Al obtener el modelo 3D de cada hueso por medio de la herramienta SurfaceGen, se pierden ciertos detalles anatómicos importantes del hueso, además de que la estructura de los huesos aparece con algunas deformaciones, por lo tanto se tiene que recurrir a la corrección de estos modelos 3D, esto se logra por medio de Amira y gran parte de ello con la ayuda de 3ds Max y Mudbox.

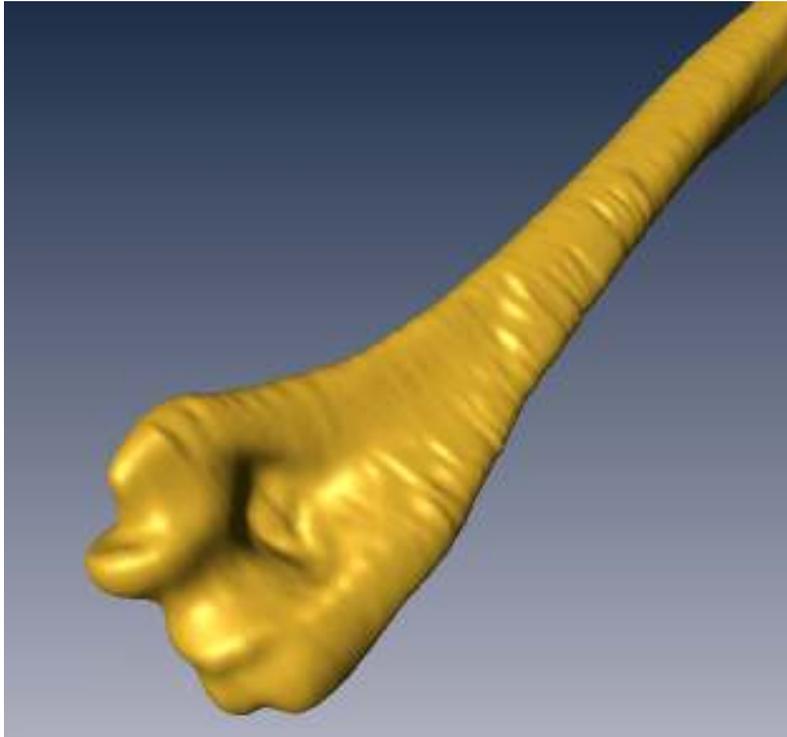


Imagen 120. Modelo 3D del húmero con algunas deformaciones

Como se puede observar en la imagen, la estructura del hueso aparece con rugosidades, lo cual no debe ser, ya que la superficie en su mayoría de este hueso es lisa.

Este problema se presentó en todos los modelos 3D de los huesos largos como son la clavícula, húmero, radio y cúbito (ulna), así como también un poco en la escápula.



Imagen 121. Modelos 3D de falanges y metacarpianos

Con respecto a los modelos 3D de huesos de la mano, se observa que no existen muchas deformaciones como aparecen en los modelos 3D de los huesos largos.

Para solucionar parte de este problema se hizo uso de la herramienta SmoothSurface, que sirve para suavizar la superficie del modelo 3D en cuestión, realizando tantas iteraciones necesarias para que desaparezca un poco la rugosidad.



Imagen 122. Herramienta SmoothSurface en Amira

En este caso se hicieron 200 iteraciones y dejando el parámetro lambda con el valor por default, ya que si se aumenta este parámetro, el modelo 3D tendría aun más deformaciones.

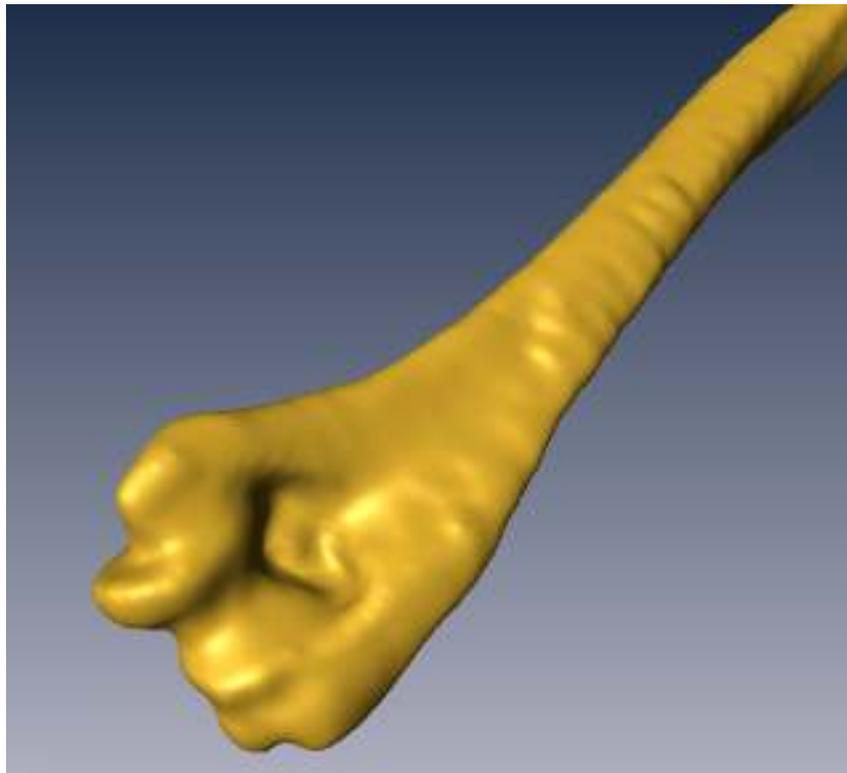


Imagen 123. Suavizado de la superficie con 200 iteraciones

Como se puede apreciar, el modelo 3D ya se ve más liso, aunque aun se presentan algunas deformaciones.

Para poder solucionar por completo este problema, se hizo uso de los programas 3ds Max y Mudbox, pero antes de esto se tiene que exportar cada modelo 3D al formato WRL con la herramienta VRML-Export en Amira para después importarlos a 3ds Max.

7.3.1 3ds Max

3ds Max es un programa que sirve para modelar, animar, renderizar entre otras cosas, para este proyecto se utilizó para corregir la geometría de los modelos 3D de los huesos por medio de diversas herramientas de muy fácil uso, posteriormente para realizar las animaciones de los movimientos básicos del miembro superior.

Lo primero que se hizo es importar los modelos 3D que están en formato WRL, para después convertirlo en Editable Poly, de esta forma se tiene acceso a diversas herramientas para corregir



geometrías del modelo y remarcar ciertos detalles importantes que se perdieron a la hora de realizar el surface rendering en Amira.



Imagen 124. Herramientas para optimizar los modelos 3D

Las herramientas que más se utilizaron para corregir los modelos 3D fueron Shift, Push/Pull, Relax/Soften, Flatten y Noise, todas en combinación y dependiendo de lo que se requería hacer en cada modelo del hueso.

Con la herramienta Shift se puede trasladar vértices de forma perpendicular a la vista que se tenga.

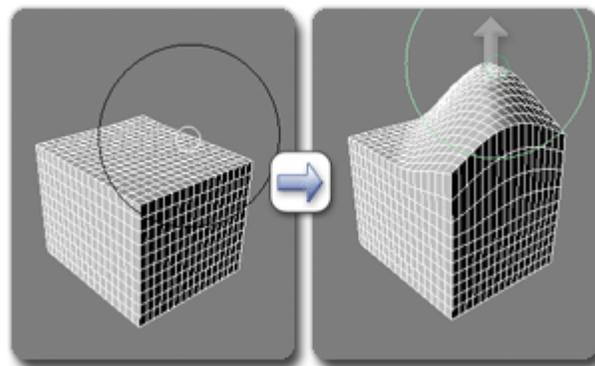


Imagen 125. Usando la herramienta Shift

Con la herramienta Push/Pull se puede expandir o contraer vértices en las regiones del modelo seleccionadas.

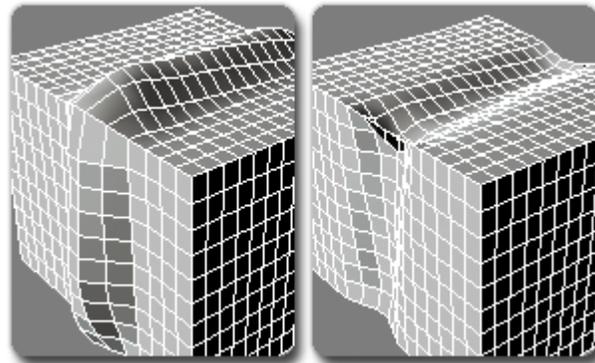


Imagen 126. Usando la herramienta Push/Pull

La herramienta Relax/Soften sirve para suavizar la superficie, por ejemplo, para redondear las esquinas.

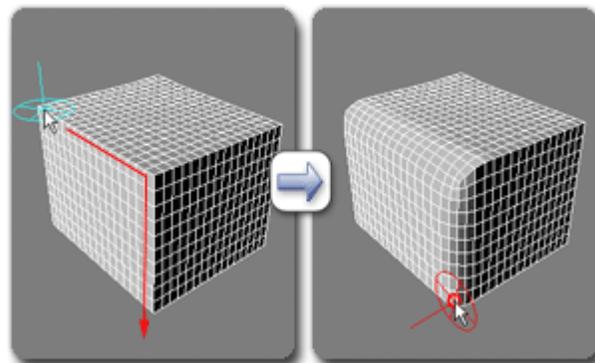


Imagen 127. Usando la herramienta Relax/Soften

La herramienta Flatten sirve para aplanar áreas del modelo que sean cóncavas o convexas.

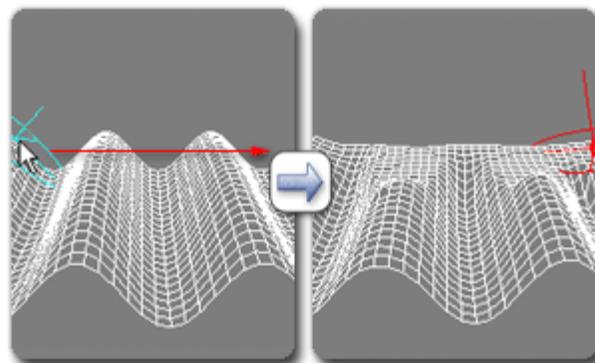


Imagen 128. Usando la herramienta Flatten



Finalmente la herramienta Noise que sirve para añadir ruido a una superficie.

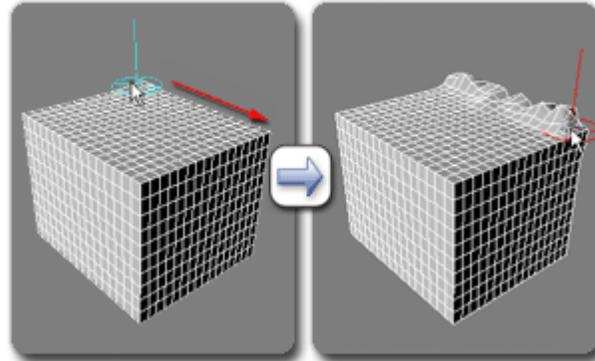


Imagen 129. Usando la herramienta Noise

Con la ayuda de estas herramientas se pudieron corregir muchos de los defectos que tenían los modelos 3D que surgieron al momento de realizar el surface rendering en Amira.

A continuación se muestran comparaciones entre los modelos 3D originales y los ya corregidos con detalles remarcados y detalles que se perdieron a la hora de realizar el surface rendering:



Imagen 130. Comparación entre el modelo original y corregido de la clavícula



Imagen 131. Comparación entre el modelo original y corregido de la escápula



Imagen 132. Comparación entre el modelo original y corregido del húmero

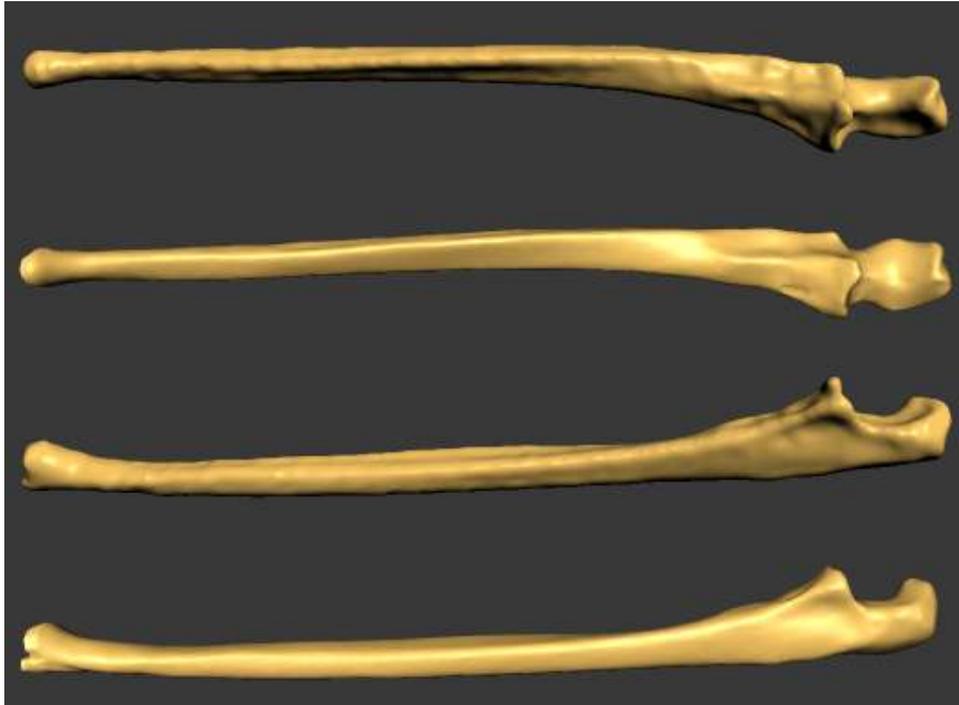


Imagen 133. Comparación entre el modelo original y corregido del cúbito (ulna)



Imagen 134. Comparación entre el modelo original y corregido del radio



Como se puede observar en general se aliso la superficie de los huesos, en algunos casos se modifico considerablemente su estructura y en otros solo se remarcaron detalles de importancia, todo esto se realizo con la supervisión de especialistas en anatomía ósea.

Con respecto a los modelos 3D de los huesos que conforman la mano, al utilizar las herramientas con las que cuenta 3ds Max, la estructura se deformaba y no se podían hacer las correcciones de una forma adecuada, ya que la malla es más simple al resto de los huesos, por esta razón se decidió utilizar el programa Mudbox que es más especializado en el moldeado de estructuras 3D.

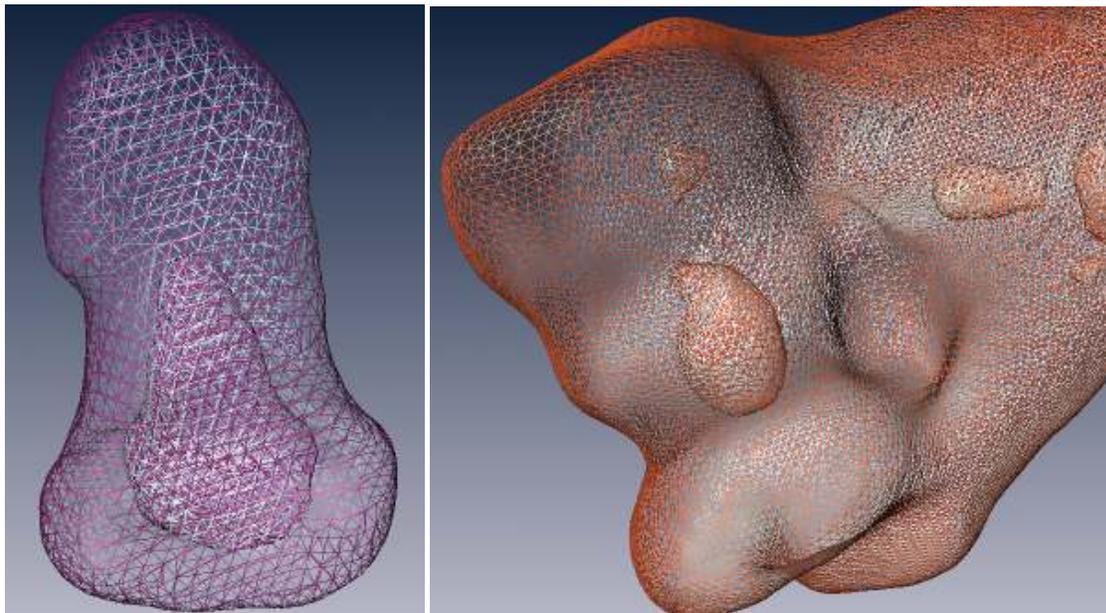


Imagen 135. Comparación entre las mallas de la falange distal del pulgar y el húmero en Amira

Para poder trabajar en Mudbox se tuvieron que exportar los modelos 3D desde 3ds Max a algún formato compatible con Mudbox (ya que no es compatible con el formato WRL), en este caso se decidió hacer la exportación al formato OBJ.

7.3.2 Mudbox

Otro software utilizado para optimizar los modelos obtenidos fue Mudbox, una herramienta para modelar y esculpir digitalmente la geometría 3D de los modelos virtuales obtenidos de una manera rápida y con una mayor precisión.

Mudbox combina una interfaz de usuario muy intuitiva con potentes herramientas para generar y editar modelos 3D, obteniendo un mayor realismo con un número elevado de polígonos.



Una vez que se exportaron los modelos desde 3ds Max a formato OBJ, se importaron en Mudbox para poder comenzar a editar las geometrías.

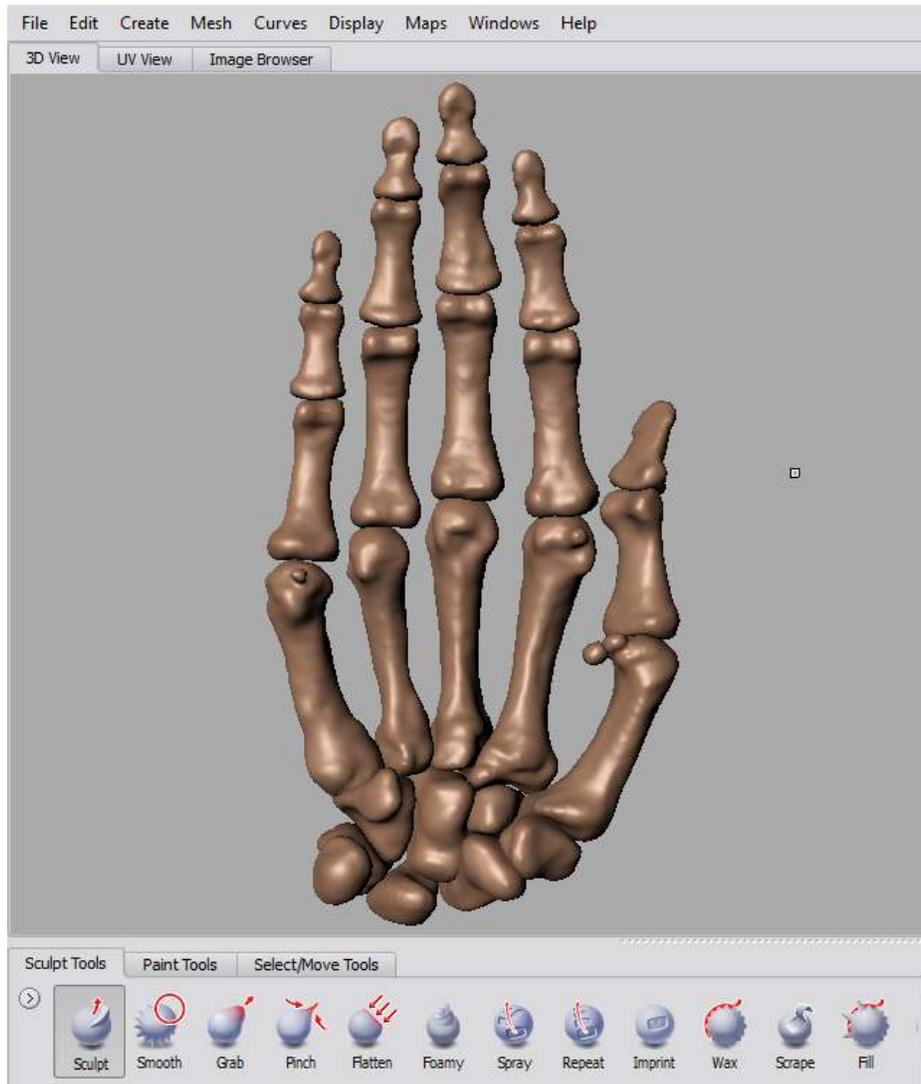


Imagen 136. Modelo original de la mano en formato OBJ, visualizado en Mudbox

Como se puede observar en el modelo, aun hay pequeños detalles de rugosidad, los doctores que supervisaron el desarrollo de este proyecto recomendaron dar un mayor realce a los detalles de los huesos y disminuir la rugosidad en los modelos

El proceso de optimización se realizó para cada uno de los huesos que conforman el esqueleto de la mano.



A continuación se muestra una comparación entre los modelos antes y después de ser procesados con las herramientas que proporciona Mudbox.

En las falanges distales fue necesario remarcar la superficie rugosa y saliente en forma de herradura que las caracteriza.

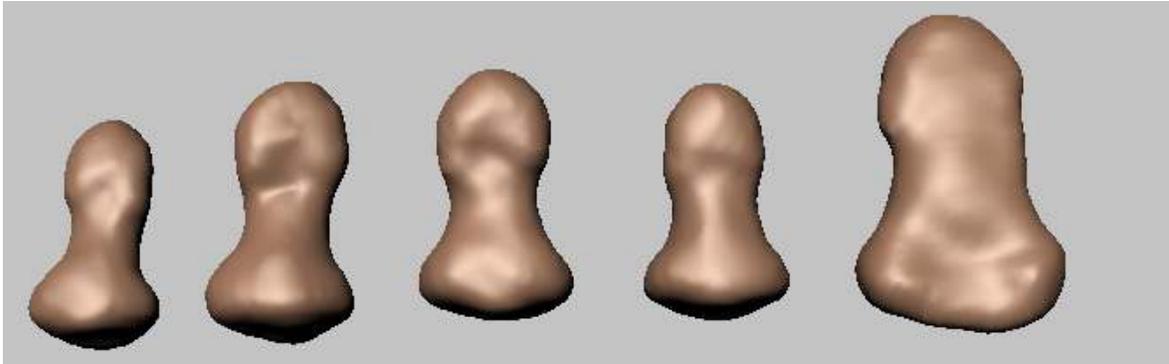


Imagen 137. Falanges distales sin procesar, puede observarse que en algunas no es posible distinguir correctamente la superficie con forma de herradura característica de estos huesos

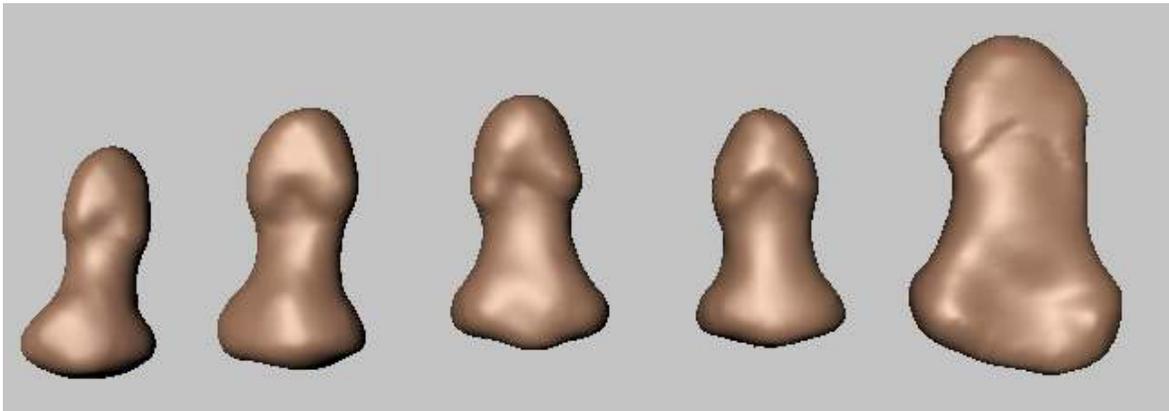


Imagen 138. Falanges distales con mayor detalle



En las Falanges medias y proximales se tuvieron que alisar las superficies para que se vieran menos rugosas.



Imagen 139. Falanges medias con superficies rugosas



Imagen 140. Falanges medias con superficies alisadas

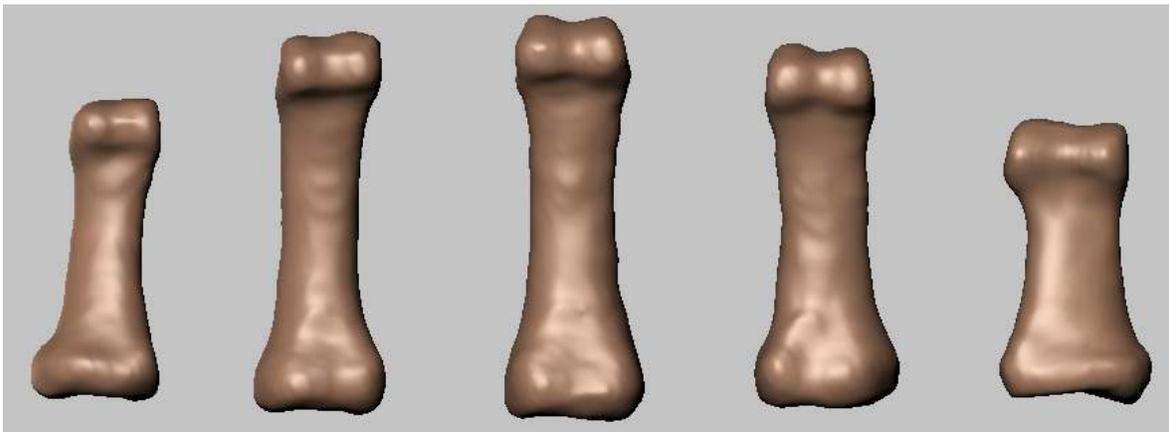


Imagen 141. Falanges proximales con superficies rugosas

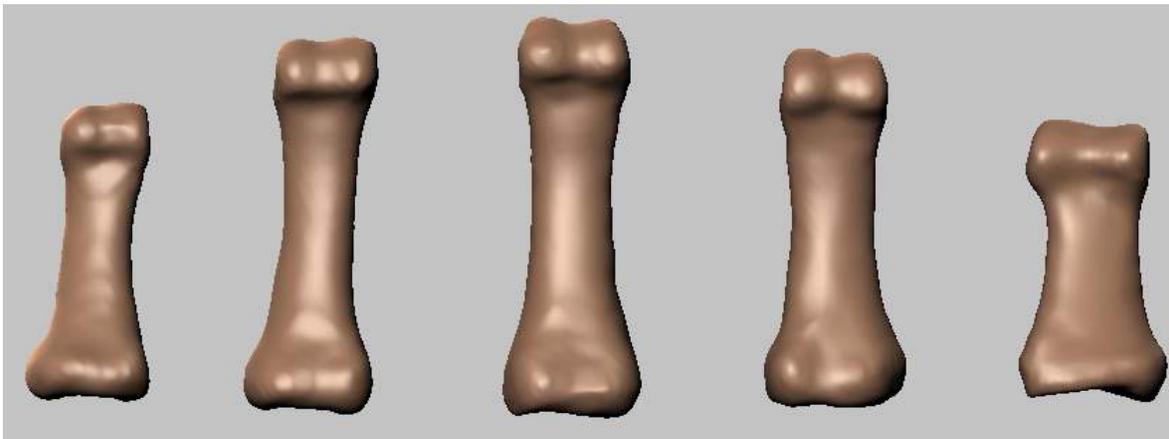


Imagen 142. Falanges proximales con superficies alisadas

Para los metacarpianos fue necesario suprimir los huesos sesamoideos que se localizan en la parte superior del primer, segundo y quinto metacarpiano, debido a que los médicos recomendaron no tomarlos en cuenta por no ser una característica presente en todos los individuos.

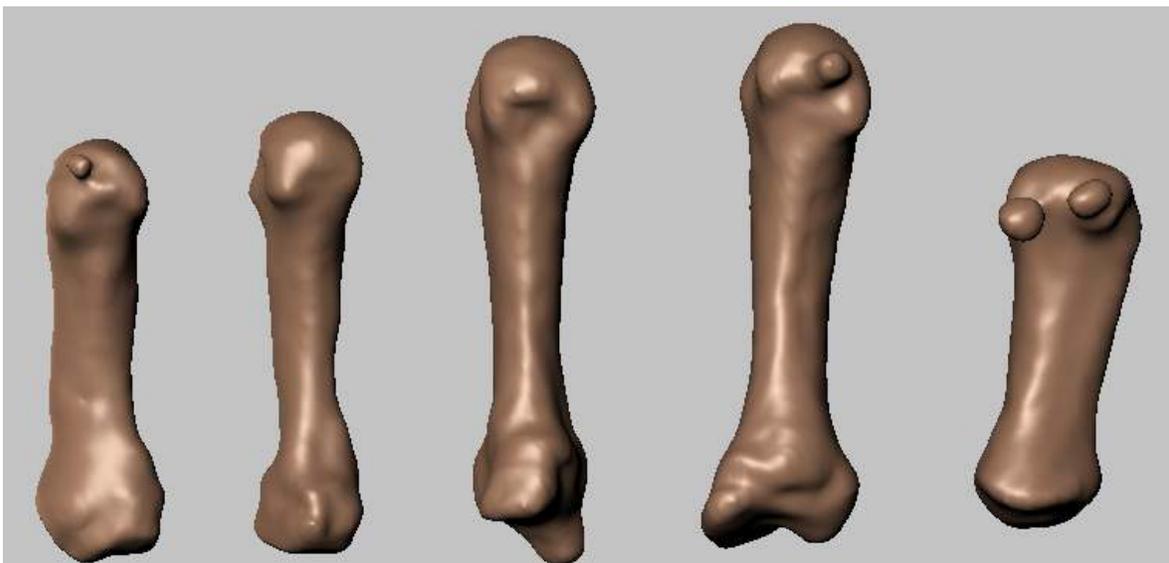


Imagen 143. Metacarpianos con huesos sesamoideos y superficie rugosa



Imagen 144. Metacarpianos después corregir y optimizar geometrías con Mudbox

En las siguientes imágenes se presenta el estado inicial (a la izquierda) y el resultado del procesamiento con Mudbox (a la derecha) para los huesos correspondientes al carpo.

Para el hueso escafoides se remarcaron algunos bordes para definir mejor la estructura del hueso.

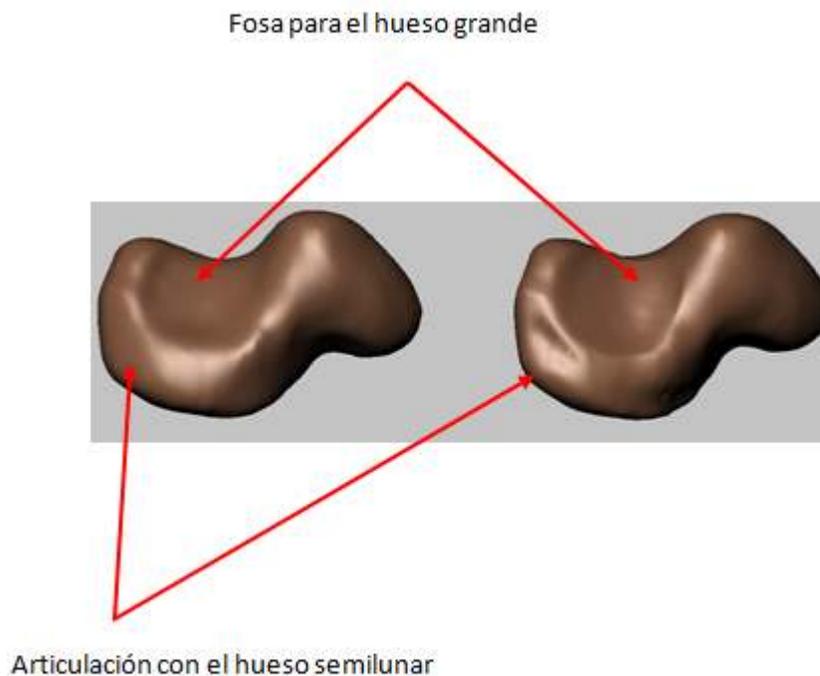


Imagen 145. Escafoides (vista anterior)



A la Izquierda de la imagen podemos observar el hueso escafoides antes de ser procesado con las herramientas que nos proporciona el software Mudbox, mientras que del lado derecho se puede observar cómo han sido remarcados algunos detalles del hueso.

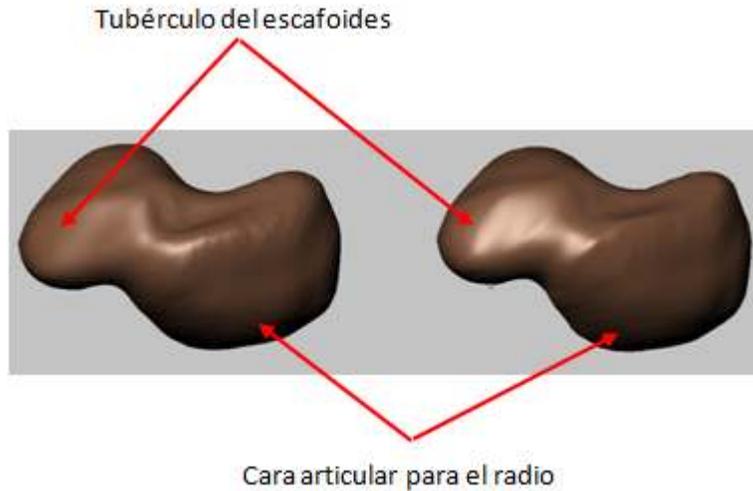


Imagen 146. Escafoides (vista posterior)

Para el hueso semilunar solo fue necesario remarcar algunos bordes articulares, principalmente la articulación con el hueso grande y que es la que le da forma de media luna.



Imagen 147. Semilunar (vista anterior)

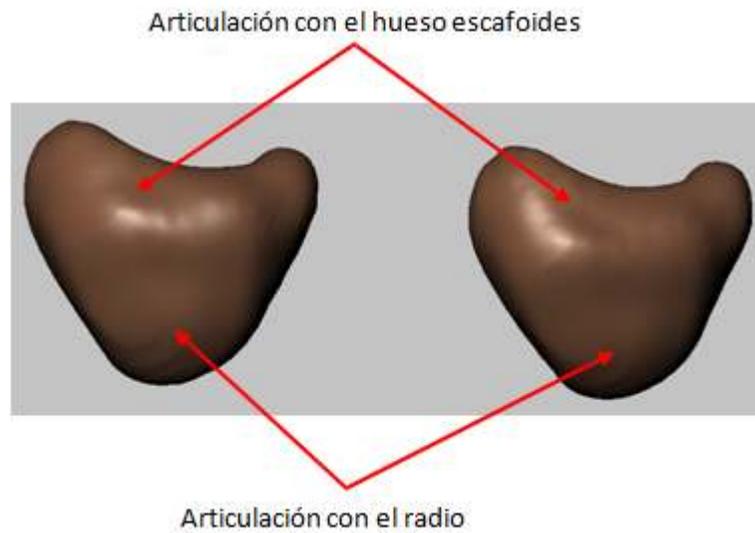


Imagen 148. Semilunar (vista posterior)

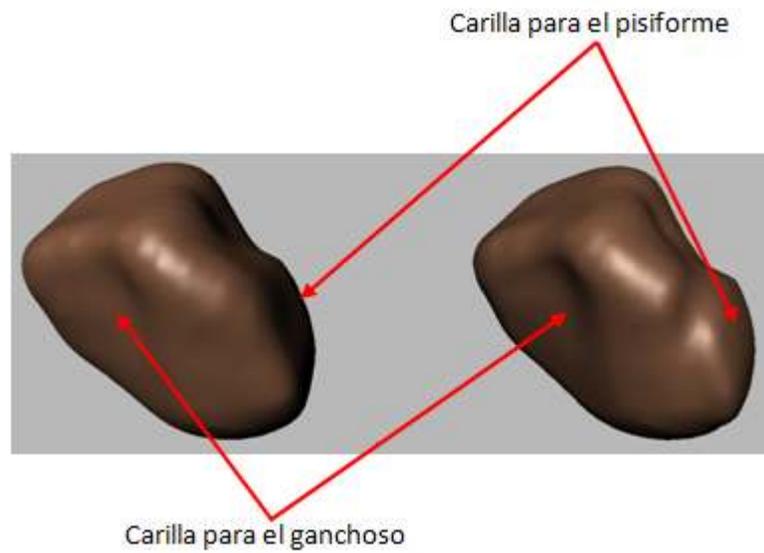
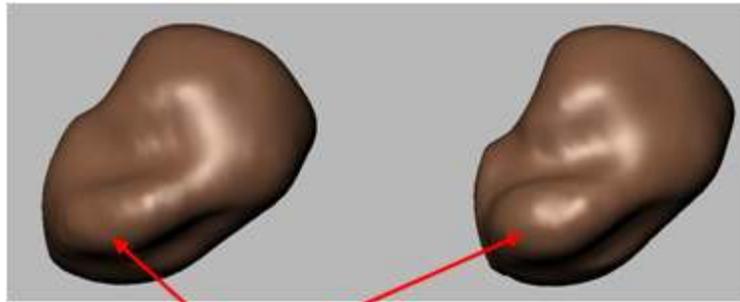


Imagen 149. Hueso piramidal (vista lateral)



Tubérculo

Imagen 150. Hueso piramidal (vista posterior)

Articulación con el Hueso Piramidal

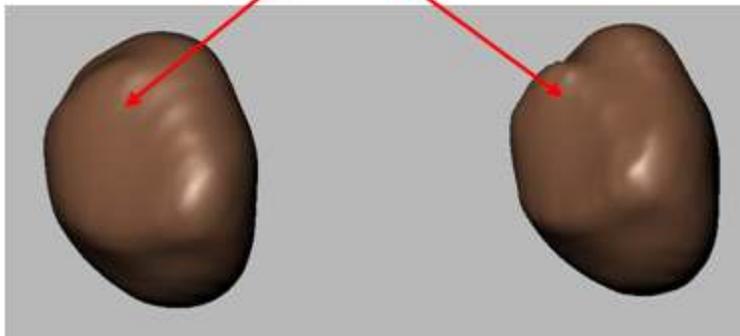
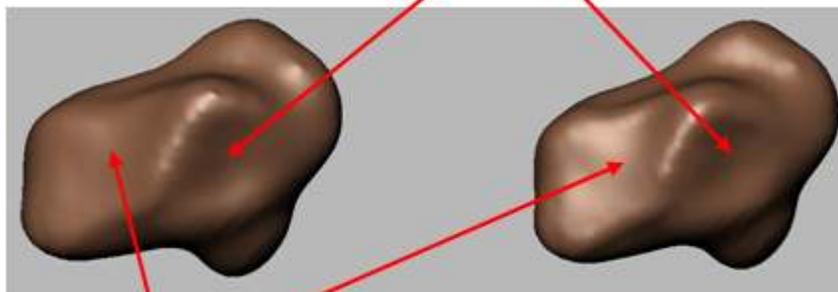


Imagen 151. Hueso pisiforme (vista lateral)

Articulación con el hueso escafoides



Articulación con el hueso trapezoide

Imagen 152. Hueso trapecio (vista próximo-medial)

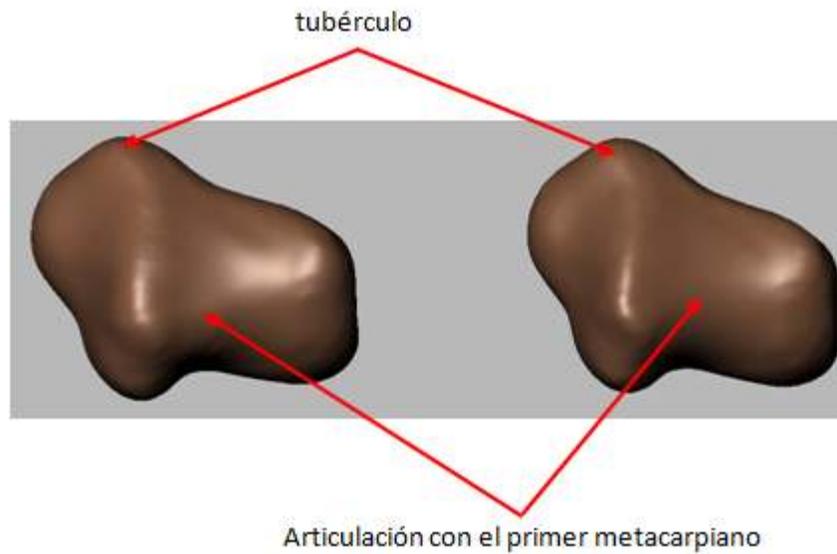


Imagen 153. Hueso trapecio (vista lateral)

Articulación con el trapecio

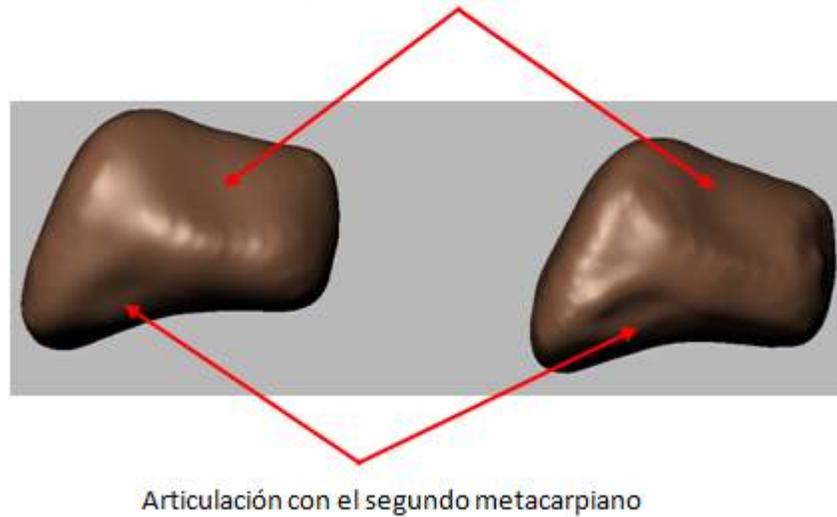
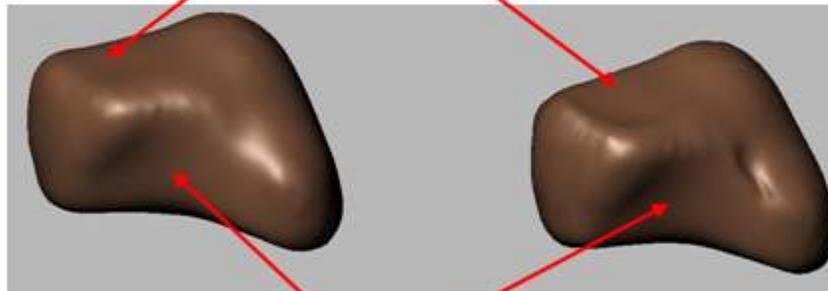


Imagen 154. Hueso trapezoide (vista disto-lateral)



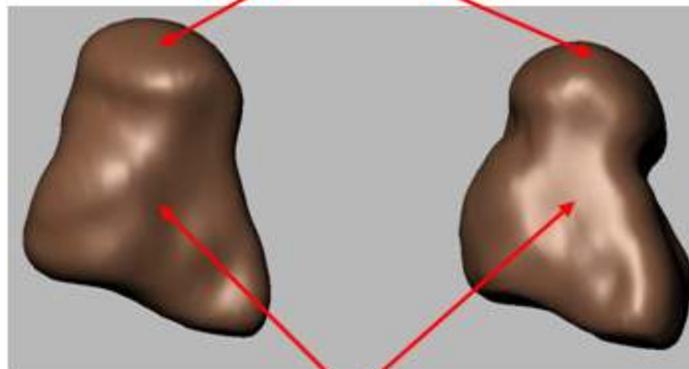
Articulación con el escafoides



Articulación con el hueso grande

Imagen 155. Hueso trapezoide (vista próximo-medial)

Articulación con el semilunar



Articulación con el ganchoso

Imagen 156. Hueso grande (vista medial)

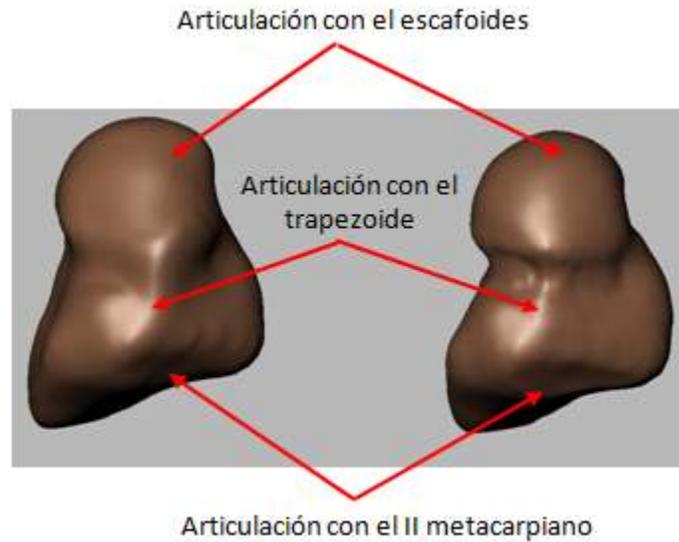


Imagen 157. Hueso grande (vista lateral)

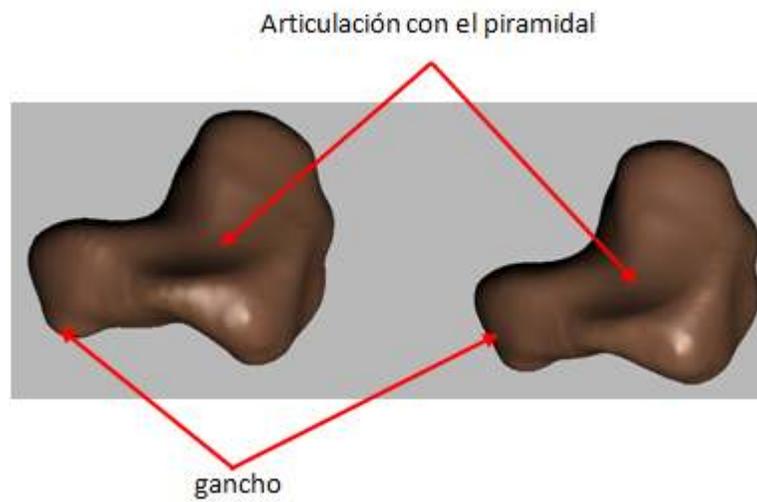


Imagen 158. Hueso ganchoso (vista posterior)

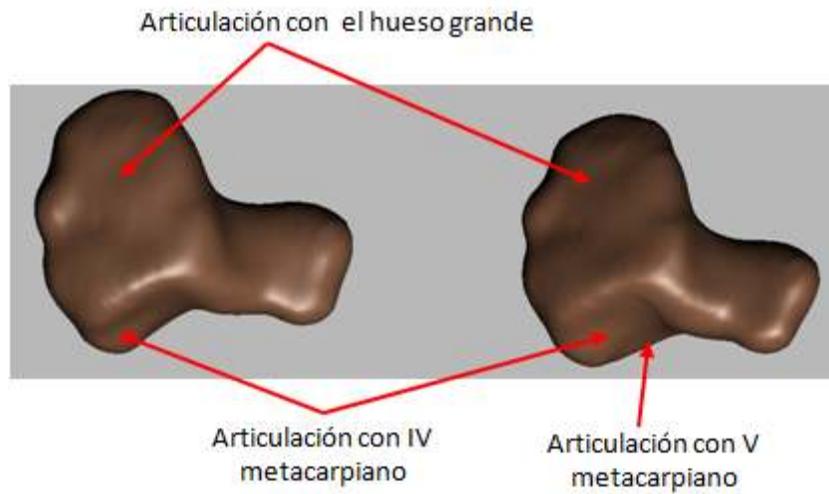


Imagen 159. Hueso ganchoso (vista anterior)

Al finalizar el proceso de optimización de las geometrías correspondientes a la mano, se obtuvo un modelo más detallado y de una mejor calidad.

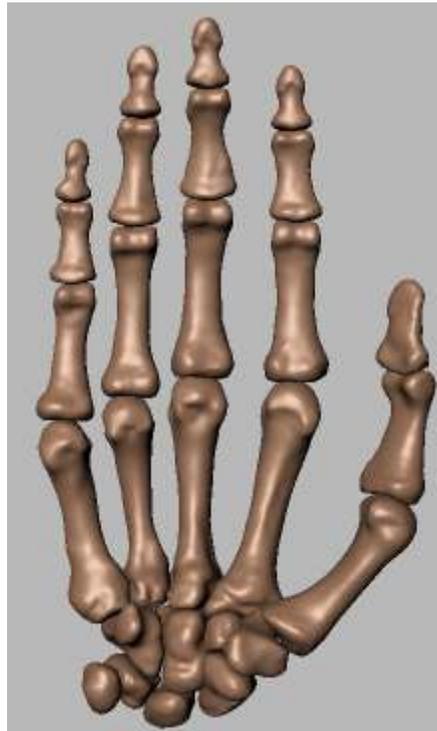


Imagen 160. Resultado final



7.4 Proceso de animación con 3ds Max

Para realizar el proceso de animación, lo primero que se tiene que hacer es acomodar los huesos 3D del miembro superior en la posición anatómica universal, para esto se conto con la asesoría de especialistas en anatomía ósea.

Primero se empezó a acomodar la clavícula, siguiendo con la escápula, el húmero, el cúbito (ulna), el radio y finalmente los huesos que conforman la mano, en este caso, los huesos de la mano ya estaban casi totalmente acomodados en la posición anatómica, ya que la segmentación se realizo con el estudio tomográfico de las manos, lo único que se hizo fue unirlo junto con el cúbito (ulna) y el radio y mover algunas falanges para lograr la posición deseada.

Al tener todos los huesos 3D en su lugar lo que procede es acomodar el pivote de cada modelo, el pivote es el que nos permite manipular de una forma adecuada las traslaciones y rotaciones que deseemos aplicar a cada modelo con el fin de realizar las animaciones.

El pivote de cada modelo tiene que estar colocado en el punto de rotación real de cada hueso, para que a la hora de realizar las animaciones correspondientes, los movimientos se vean reales.

Se realiza por medio de la herramienta hierarchy en el apartado pivot, de esta forma se puede modificar la posición del pivote que tiene por default cada modelo, por medio de traslaciones y rotaciones del mismo hasta colocarlo en el lugar adecuado.

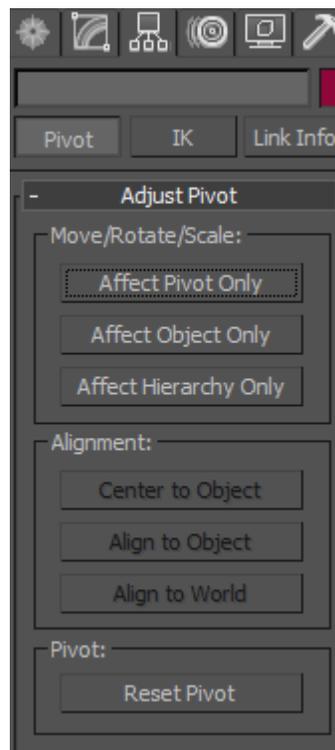


Imagen 161. Herramienta hierarchy en 3ds Max

A continuación se muestra la posición de los pivotes en cada uno de los modelos:

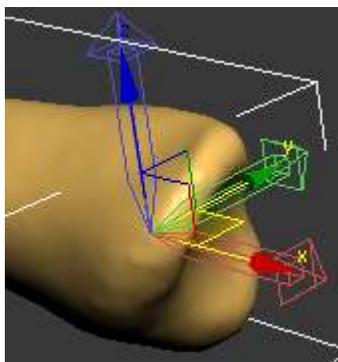


Imagen 162. Posición del pivote de la clavícula

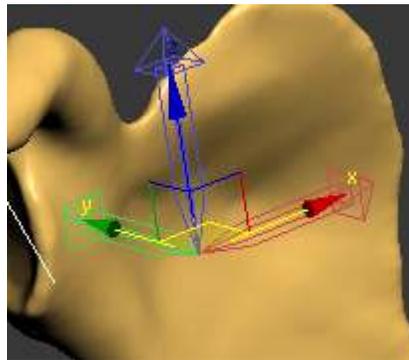


Imagen 163. Posición del pivote de la escápula

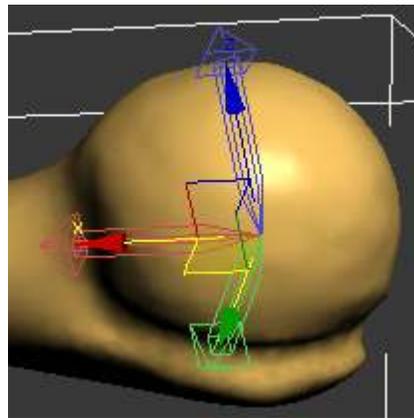


Imagen 164. Posición del pivote del húmero

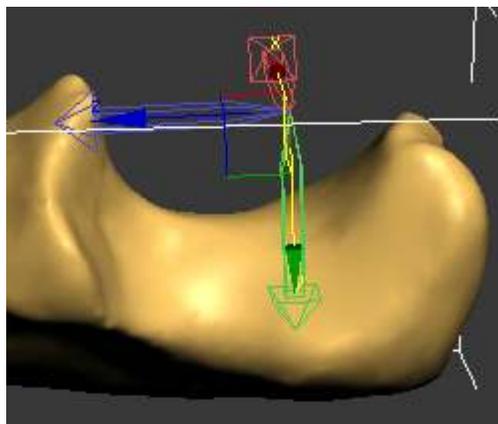


Imagen 165. Posición del pivote del cúbito (unla)

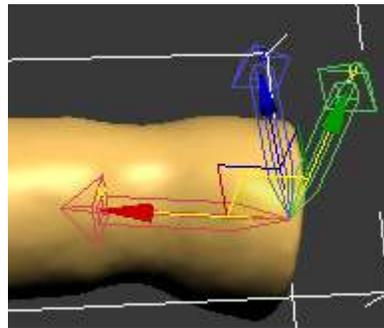


Imagen 166. Posición del pivote del radio

Como se mencionó anteriormente en el tema de biomecánica, las articulaciones interfalángicas de los dedos de la mano son de tipo troclear (polea), y por lo tanto los ejes de rotación deben situarse en el centro de estas “poleas” conformadas por las cabezas de cada una de las falanges.

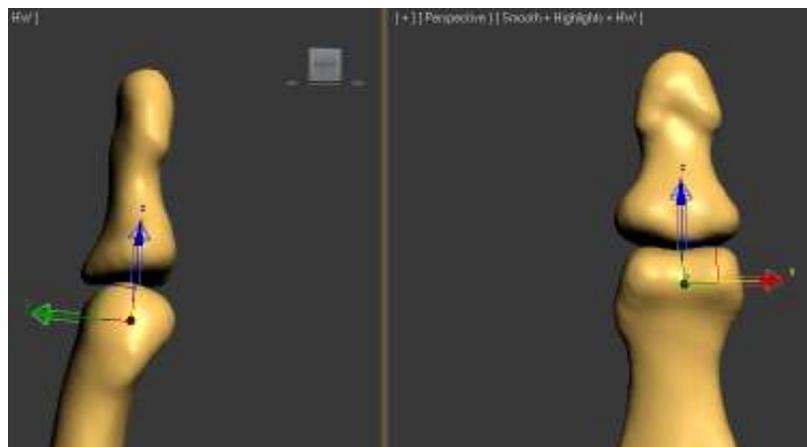


Imagen 167. Posición del pivote correspondiente a la falange distal del dedo medio



Imagen 168. Posición del pivote correspondiente a la falange media del dedo medio



Para las articulaciones metacarpofalángicas los pivotes se ajustaron en el centro de las cabezas de los metacarpianos pues son articulaciones de tipo esferoideas y deben permitir movimiento en torno a los tres ejes en el espacio.

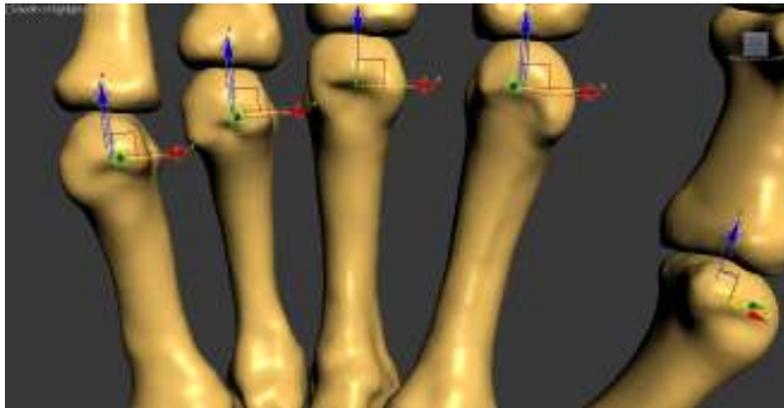


Imagen 169. Posición de los pivotes de las articulaciones metacarpofalángicas

Para la articulación trapezometacarpiana, responsable principalmente de la oposición del dedo pulgar, fue necesario establecer dos pivotes debido a la forma de silla de montar que esta tiene. Como cada modelo dentro de 3ds Max cuenta con un solo pivote, se utilizó un objeto de tipo dummy (ayudante) para establecer otro sistema de referencia y de esta manera poder realizar el complejo movimiento que implica la oposición del dedo pulgar.

Uno de los pivotes se ubicó en la parte inferior del primer metacarpiano para lograr los movimientos de anteposición y retroposición y otro se colocó en el trapecio para poder realizar los movimientos de flexión y extensión cuando el primer metacarpiano ha realizado el movimiento de anteposición.

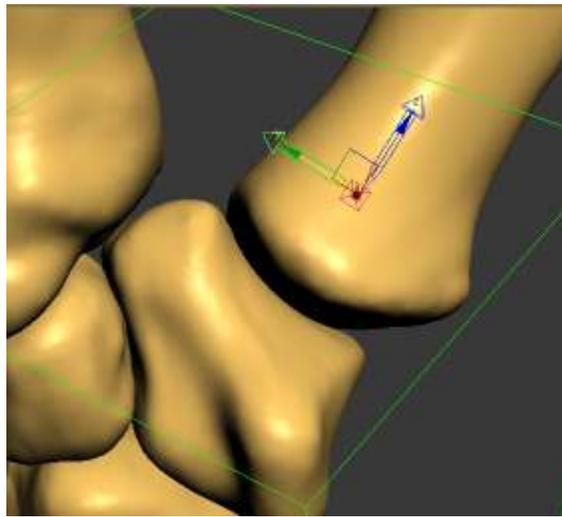


Imagen 170. Posición del pivote que permite realizar los movimientos de ante-retroposición del primer metacarpiano

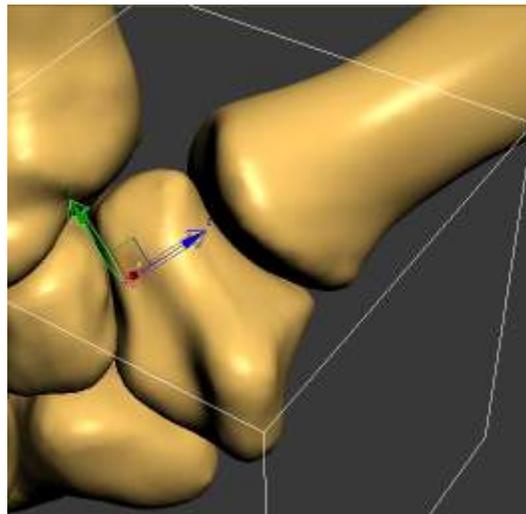


Imagen 171. Posición del pivote que permite realizar correctamente los movimientos de flexo-extensión cuando el primer metacarpiano se encuentra en anteposición

Los modelos correspondientes a los huesos del carpo fueron considerados como un solo elemento y se ajustó el pivote a manera de que permita reproducir los movimientos de flexión-extensión de la muñeca así como también los movimientos de aducción-abducción de circunducción.

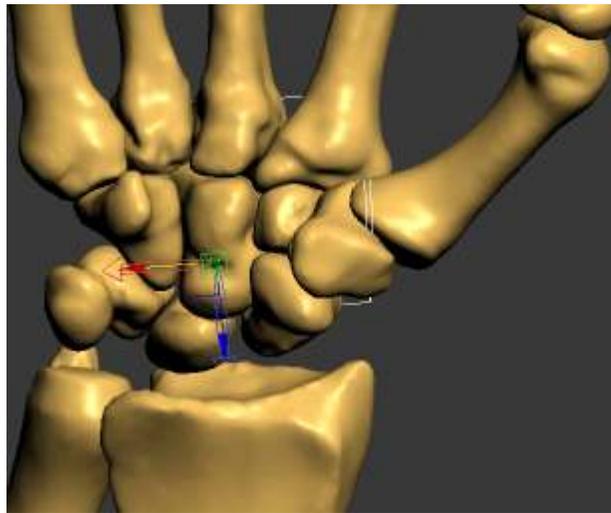


Imagen 172. Posición del pivote para los movimientos de la muñeca

En el mundo de la animación tridimensional, el término de cinemática es utilizado para referirse al movimiento de una estructura vinculada. Cuando se crean animaciones en 3ds Max, se pueden vincular objetos para crear una estructura jerárquica que se mueva al mismo tiempo. Existen 2 formas distintas de crear una cadena o estructura jerárquica: por medio de la herramienta select and link de la barra main toolbar o bien creando directamente un sistema de huesos.

Una vez que todos los pivotes se pusieron en el lugar adecuado, se optó por vincular los modelos mediante la herramienta select and link en lugar de crear una estructura de huesos, ya que el sistema de huesos es ideal cuando se requiere realizar animaciones más complejas.



Imagen 173. Herramienta select and link y unlink selection en 3ds Max

Al definir la jerarquía a los modelos se facilita el desarrollo de las animaciones, ya que al aplicar una rotación a un modelo con la jerarquía de padre, este a su vez moverá a los de jerarquía menor (hijos).



A continuación se muestran las jerarquías de los huesos en 3D:

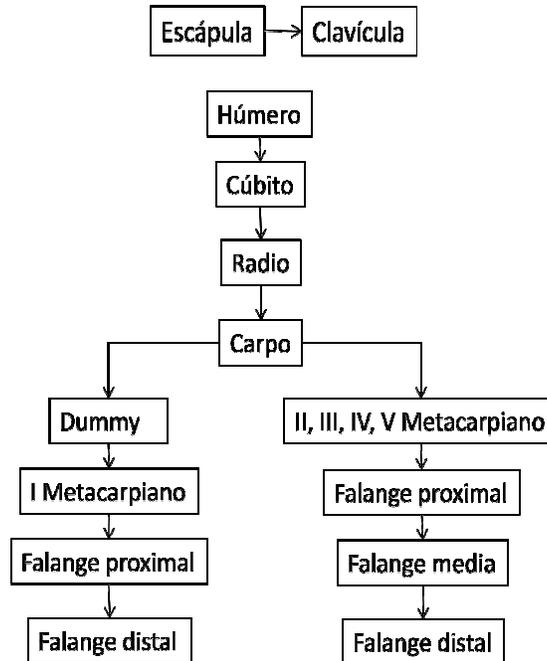


Imagen 174. Jerarquía de los modelos 3D

El desarrollo de las animaciones se hace por medio de keyframes, primero seleccionando el modo Auto Key, se selecciona el modelo que se requiere animar, se presiona el botón con icono de llave para crear el primer frame de la animación, después se avanza el control de tiempo a donde se desee y finalmente se aplica una traslación o rotación al modelo seleccionado, al momento de terminar la traslación o rotación se creara el frame que finalizara la animación.



Imagen 175. Herramientas para animación en 3ds Max

Con solo definir 2 frames en diferentes posiciones y diferente tiempo automáticamente se creara la animación mostrando por completo el recorrido que existe entre los frames.

Para este proyecto se realizaron diversas animaciones de los movimientos básicos del miembro superior y algunos otros donde se hace una combinación de estos, siempre contando con la supervisión de especialistas en anatomía ósea.



En las animaciones que tienen que ver desde la cintura escapular hasta el antebrazo al igual que las demostraciones de reducción del hombro luxado, se tuvieron que sincronizar frames de las dos diferentes jerarquías que se mostraron anteriormente, por ejemplo en la animación donde se representa la aducción y la abducción del miembro superior, primero se tuvo que hacer la animación de la jerarquía del húmero y después hacer una animación sincronizada con la jerarquía de la escápula, acorde con el movimiento del húmero.

En las demás animaciones que tienen que ver solo el brazo y antebrazo, no se tuvo que hacer ninguna sincronización de frames, ya que solo se tenía que aplicar rotación a los elementos de la jerarquía del húmero.

Las animaciones correspondientes a la mano, se realizaron por separado a las de brazo y antebrazo y se tuvieron que sincronizar los movimientos de las articulaciones interfalángicas de cada uno de los dedos para lograr un movimiento realista. Primero se sincronizaron los movimientos de cada una de las falanges proximales, después las falanges medias y por último las falanges distales siguiendo la jerarquía antes mencionada.

Una de las animaciones que implicó un mayor grado de dificultad fue la del movimiento de oposición del pulgar con cada uno de los dedos, ya que fue necesario reproducir cada uno los movimientos posibles en las articulaciones de la mano.

Finalmente las animaciones se exportaron a formato WRL ya que en este formato se pueden guardar todos los frames que se crearon para cada movimiento.

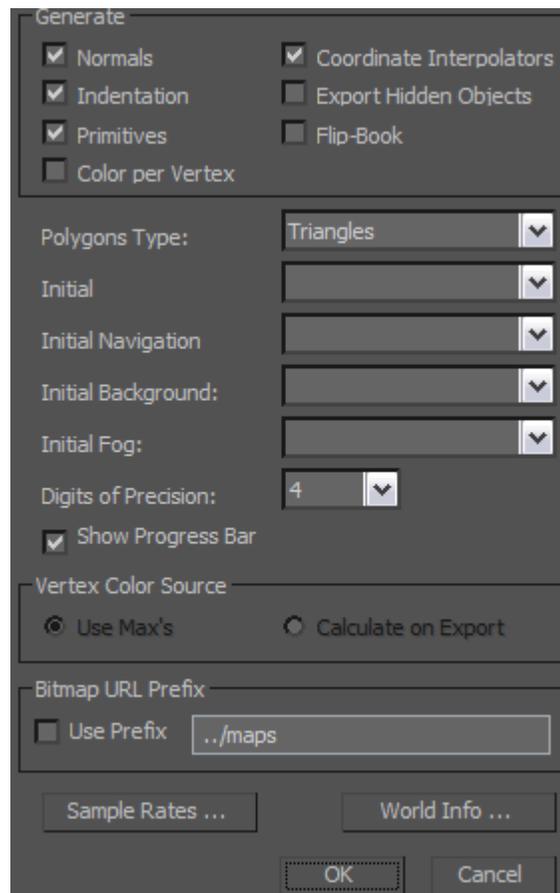


Imagen 176. Exportando a formato WRL en 3ds Max

7.5 Integración de animaciones y eventos en Amira

Para integrar tanto los modelos 3D de cada hueso como las animaciones que se realizaron anteriormente en una demostración con fines pedagógicos, se utilizaron diversas herramientas con las que cuenta el programa Amira, el procedimiento fue el siguiente:

Lo primero que se hace es abrir los modelos 3D de los huesos en formato WRL, ya que lo primero que se requiere es hacer una demostración individual de cada hueso. Una vez que se tiene el bloque del modelo se usa la herramienta IvDisplay para poder visualizar el contenido de dicho bloque. También se utilizó para visualizar las animaciones que se realizaron.

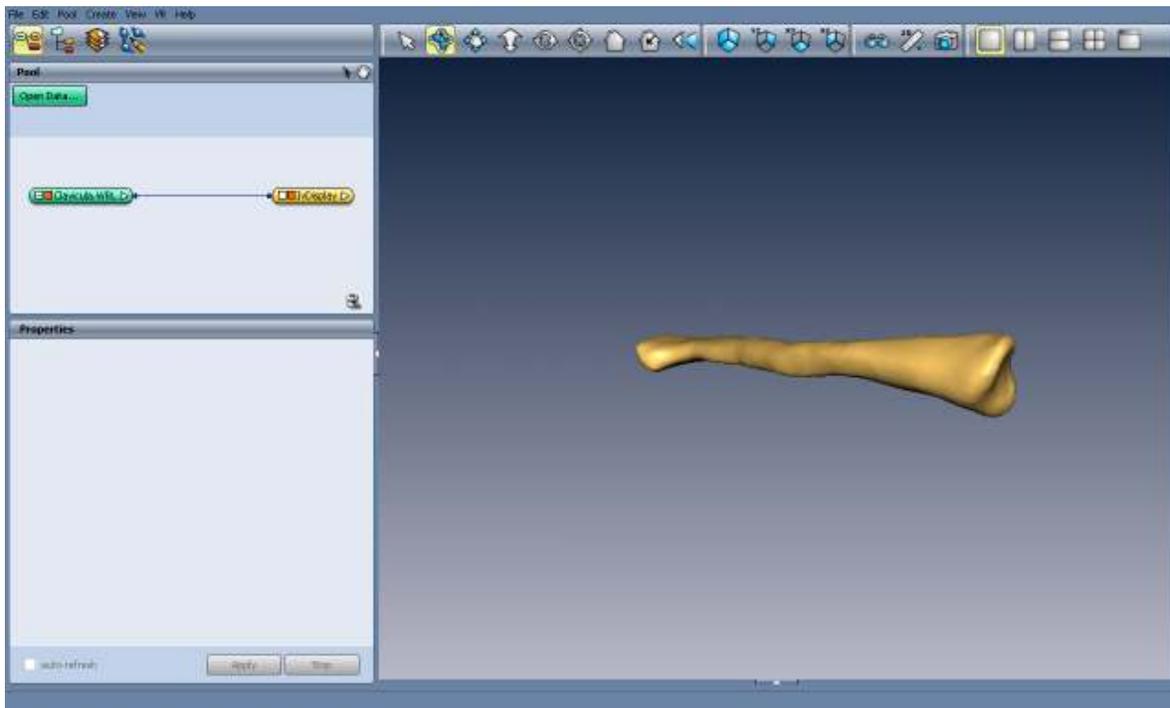


Imagen 177. Visualizando la clavícula en Amira con la herramienta IvDisplay

Al tener todos los huesos ya visualizados se elige el punto de vista más favorable para la demostración, para esto se hace uso de la herramienta CameraPath con la cual se puede fijar por medio de una cámara el punto de vista de nuestro interés, así como también hacer un recorrido por medio de keyframes.

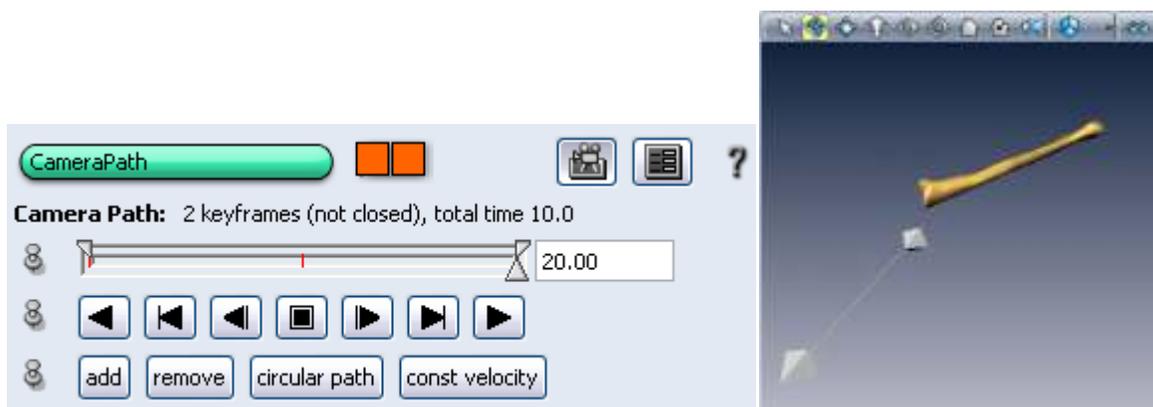


Imagen 178. Ejemplo del uso de la herramienta CameraPath

Como se muestra en las imágenes se añadieron un par de keyframes en diferentes puntos de vista, los cuales forman un recorrido con la cámara (la cámara se representa por una pirámide).



En el caso de este proyecto se utilizaron 3 cámaras, una cámara fija para la vista principal de todos los huesos en conjunto, un recorrido de cámara para realizar un zoom para visualizar los huesos y movimientos de la mano y finalmente otro recorrido de cámara para obtener la mejor vista al visualizar los movimientos del brazo y antebrazo.

Para poder trasladar y rotar los modelos 3D de los huesos para su demostración se utilizaron las herramientas ObjectTranslate y ObjectRotate.

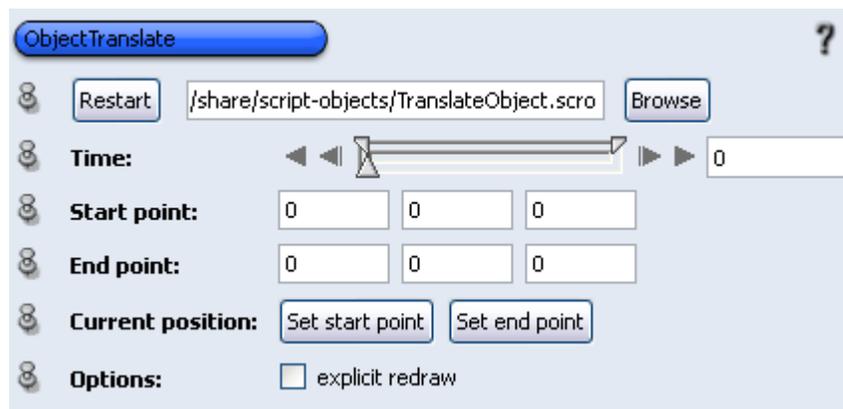


Imagen 179. Herramienta ObjectTranslate

Con la herramienta ObjectTranslate se puede especificar el punto de origen y el punto del destino al que se quiera trasladar el modelo, para cada uno de los modelos, el punto de origen es la coordenada del centro geométrico del modelo en cuestión y el punto del destino de traslación es la coordenada más favorable para la demostración.

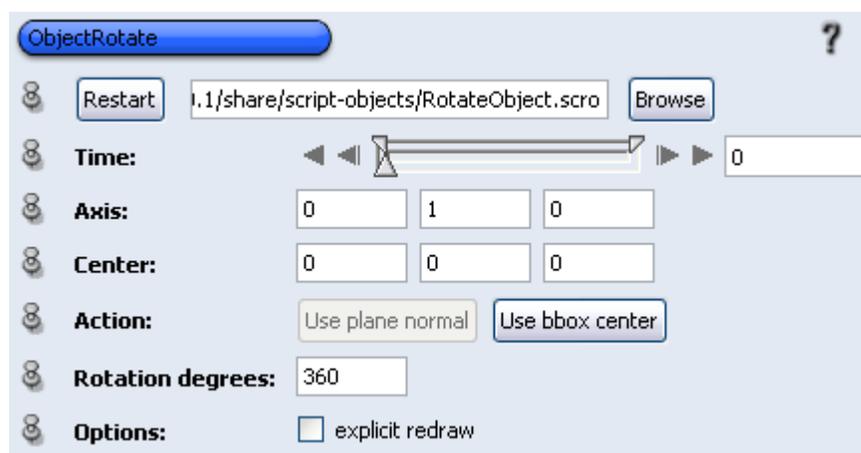


Imagen 180. Herramienta ObjectRotate



Con la herramienta ObjectRotate se puede especificar el eje de rotación de los modelos al igual que la coordenada del centro de rotación, también se puede especificar que tantos grados se desea rotar el modelo, para todos los modelos 3D se uso el eje Y como eje de rotación y la coordenada del centro de rotación se uso el centro geométrico del modelo en cuestión y con una rotación de 360°.

Para poder visualizar texto se usa la herramienta Annotation, con la que podemos escribir un texto y colocarlo en las coordenadas que se deseen. Esta herramienta se uso para poner el nombre a cada uno de los huesos y los movimientos de estos.

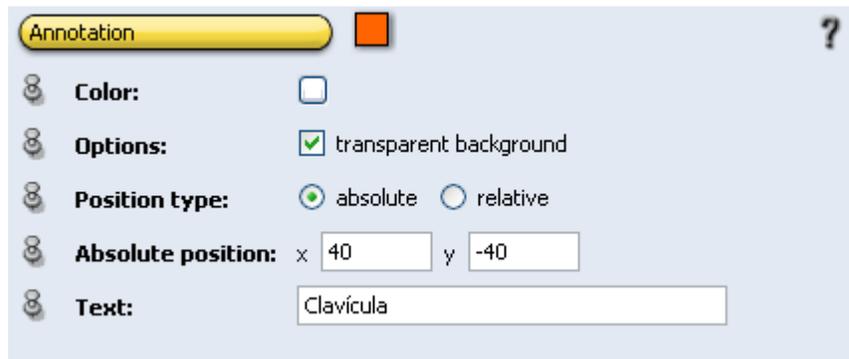


Imagen 181. Herramienta Annotation

Finalmente para poder integrar todo en una demostración se usa la herramienta DemoMaker con la que se puede controlar todo lo que se realizo, como activar las cámaras, activar y desactivar visualizadores de modelos o animaciones, activar las traslaciones y rotaciones de los modelos, entre otros procesos.

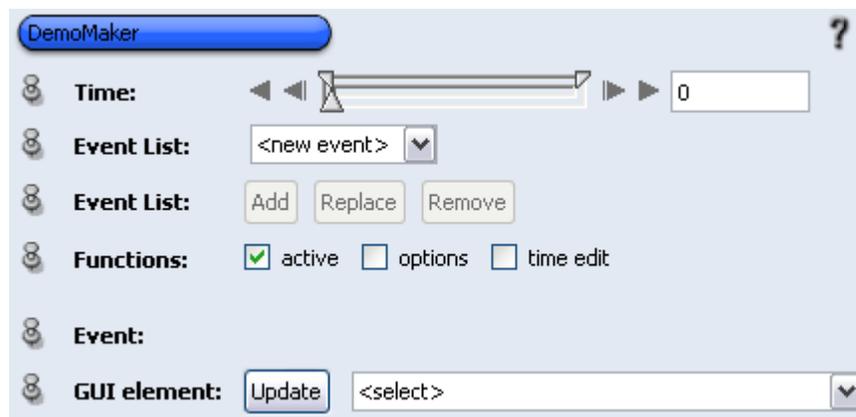


Imagen 182. Herramienta DemoMaker



Las herramientas CameraPath, ObjectTranslate y ObjectRotate cuentan con una barra de tiempo la cual controla la función de dichas herramientas, por ejemplo en la herramienta ObjectRotate rotara el modelo 360° en el tiempo de 0 a 1, con el eje y coordenadas del centro de rotación que se haya asignado a dicho modelo. Esta barra de tiempo es de mucha utilidad a la hora de integrar todo con la herramienta DemoMaker.

Al igual que las herramientas anteriormente mencionadas, la herramienta DemoMaker también cuenta con una barra de tiempo con la cual se pueden asignar eventos en el tiempo que se requiera, por medio del apartado GUI element donde se almacenan todos los procesos que se pueden realizar con todos los bloques que se tienen en cuestión.

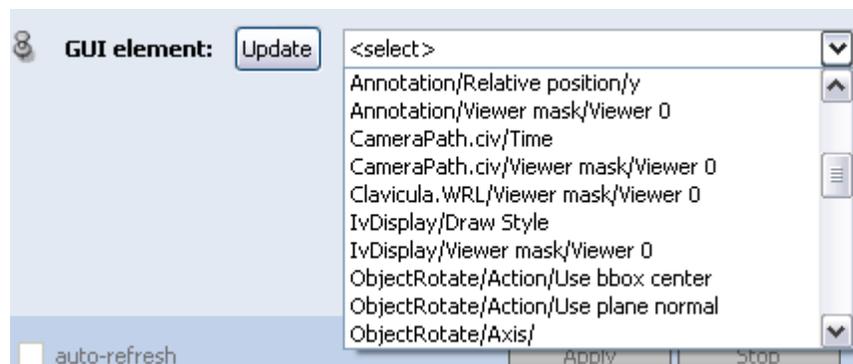


Imagen 183. Apartado GUI element de la herramienta DemoMaker

Para ejemplificar el proceso de integración se usara el bloque de rotación que se asigno al modelo de la clavícula.

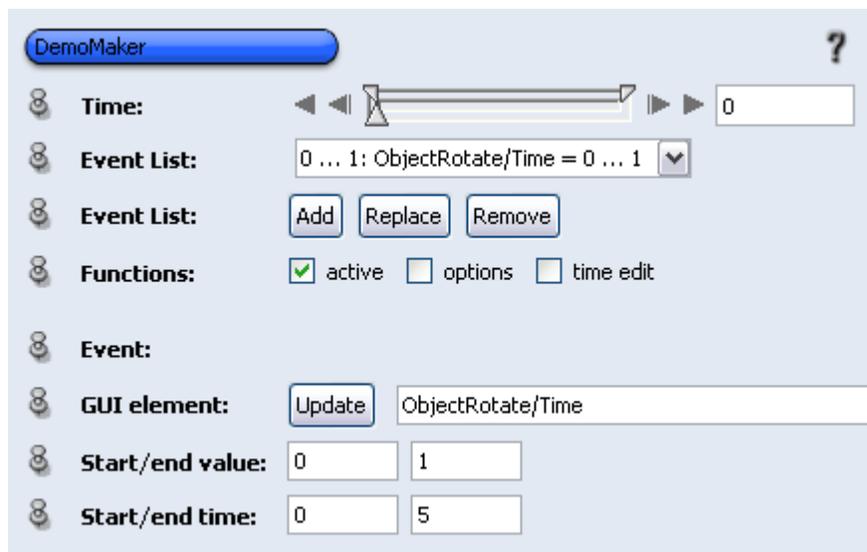


Imagen 184. Integración del evento de rotación de la clavícula con la herramienta DemoMaker



Como se puede observar se asigno el valor inicial y final como 0 y 1 respectivamente, estos valores son los mismo con los que cuenta la herramienta ObjectRotate, los valores inicial y final de tiempo, son el lapso de tiempo de la herramienta DemoMaker en el cual se activará la rotación del modelo de la clavícula.

Después de asignar estos valores, se añade a la lista de eventos, de esta forma se va creando la demostración, activando y desactivando diversos eventos como traslaciones, visualización de modelos y textos en pantalla, recorridos de cámara, entre otros.

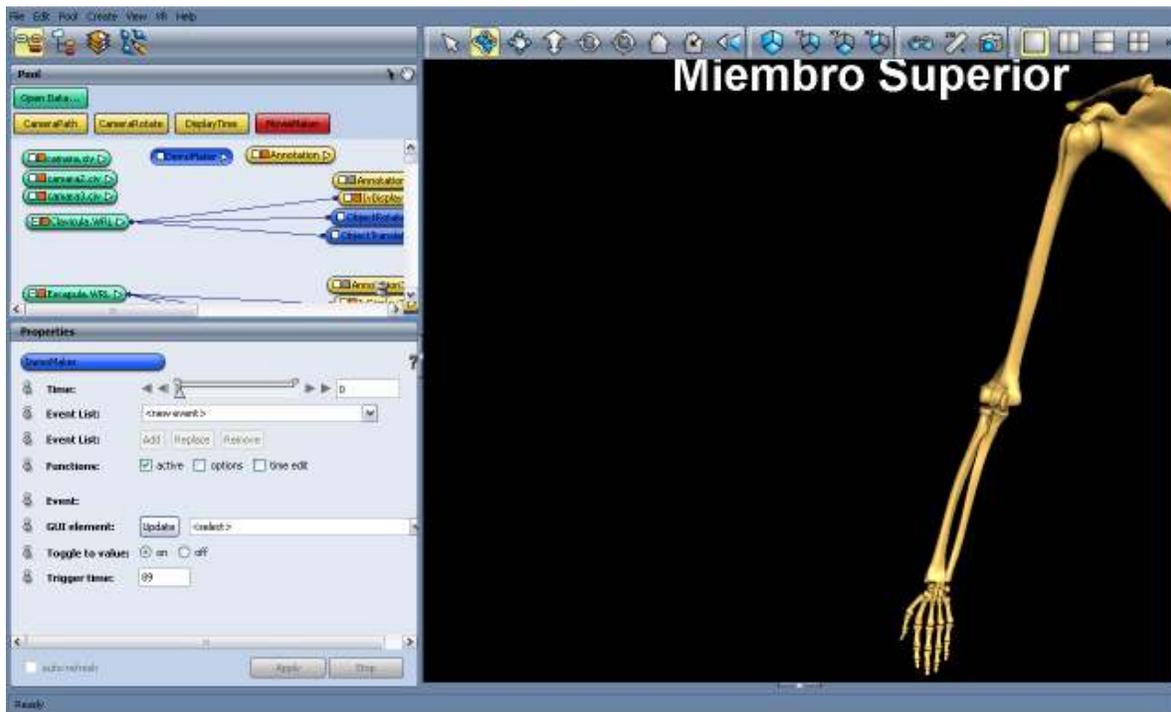


Imagen 185. Integración de animaciones y eventos en Amira ya finalizado

Finalmente se activa uno de tantos efectos estereoscópicos con los que cuenta Amira, en este caso se eligió Raw Stereo (OpenGL), con este efecto se tiene que hacer uso de lentes especiales para el sistema de estereoscopia alternativo.

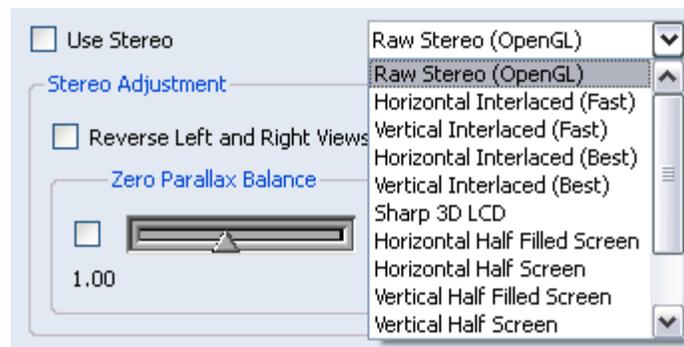


Imagen 186. Elección de efecto estereoscópico en Amira