



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Proyecto de Innovación

Convocatoria 2022/2023

Nº de proyecto 226

Título

Digitalización de esqueletos de primates y otros mamíferos para generación de colecciones virtuales: visualización e impresión 3D como recurso de aprendizaje y transferencia de conocimiento

Responsable del Proyecto:

Luis Ríos Frutos, Contratado Doctor,

Departamento de Biodiversidad, Ecología y Evolución

1. **Objetivos propuestos en la presentación del proyecto**

El objetivo principal del proyecto se enmarca en la digitalización de colecciones de historia natural mediante escaneo de superficie 3D e impresión de los modelos. Concretamente, se trata de crear un recurso docente dual de acceso virtual (repositorio online) y material (impresiones), a especímenes de difícil acceso por su localización y valor como son los esqueletos de primates homínidos (chimpancés, gorilas, orangutanes).

El material seleccionado, huesos de manos y pies de machos y hembras de cuatro especies actuales de homínidos (humanos, chimpancés, gorilas, orangutanes), se ha escogido por dos razones. Primero, debido a la importancia de estas regiones anatómicas para explicar los procesos evolutivos de adquisición de destreza manual y bipedismo dentro de los homínidos. Segundo, debido a la escasez de esqueletos de estos primates, especímenes valiosos de acceso restringido, limitados a colecciones de museos con fines de investigación.

Para cumplir el objetivo se diseñaron tres fases (virtualización, impresión, generación de un recurso en línea), que resultan en un recurso dual de aprendizaje. Por un lado, un recurso físico, consistente en una colección de impresión 3D de los especímenes seleccionados. Por otro lado, un recurso en línea, consistente en un museo virtual donde se podrá visualizar e interaccionar con los modelos 3D. De esta manera se espera que los estudiantes tengan un acceso, tanto físico como virtual, a especímenes de difícil acceso necesarios para un mejor aprendizaje de la biología evolutiva y la evolución humana; y que se familiaricen con los flujos de trabajo y los recursos digitales disponibles para la investigación de la forma biológica, aplicables a diversas áreas de conocimiento, profesionales y de desarrollo de proyectos.

Este proyecto de innovación docente pretende ser el punto de partida de una línea que crezca con el tiempo centrada en la digitalización de colecciones desde el punto de vista de la Antropología Virtual, generando un recurso estable de aprendizaje.

2. Objetivos alcanzados

El objetivo prioritario de generar un recurso docente virtual y material de especímenes biológicos escasos, como son los huesos de las manos y pies de nuestros parientes vivos más cercanos (chimpancés, gorilas, orangutanes), se considera cumplido. A continuación, se detallan los resultados obtenidos:

- a. El recurso docente virtual se estructura en los siguientes formatos (Figura 1, Anexo)::
 - i. Una base de datos de escaneos de cada hueso individual de la mano y pie de los cuatro especímenes primates seleccionados (un macho y una hembra de cada una de las cuatro especies), con un total de 360 archivos (152 correspondientes a huesos de mano, y 208 correspondientes a huesos de pie). Los archivos tienen formato “.stl”, indicado para su visualización y manipulación en visores 3D y para su impresión.
 - ii. Una base de datos de archivos en formato “.stl” elaborados a partir de los escaneos descritos en el punto 2.1.1., estructurados de la siguiente manera:
 1. Manos y pies de cada espécimen, con un total de 16 modelos (mano de gorila macho, mano de gorila hembra, etc.).
 2. Una serie de archivos comparativos, que incluyen el mismo hueso de diferentes especies (metacarpo 1 de machos de las cuatro especies, metacarpo 2 de machos de las cuatro especies, etc.).
 - iii. Un repositorio virtual preliminar en la plataforma “sketchfab” donde estarán disponibles todos los archivos descritos, y que podrán ser manipulados para su visualización 3D.
- b. El recurso docente material (Figuras 2 a 4, Anexo) consiste en:
 - i. Una impresión 3D escala 1:1 de los 360 huesos escaneados, ordenados por especie, macho/hembra y mano/pie. Estas impresiones se han realizado para su manejo por parte de los estudiantes, y se están duplicando con el objetivo de cubrir las necesidades de una clase de prácticas de 15-20 personas.

3. Metodología empleada en el proyecto

El flujo de trabajo implementado en el proyecto ha constado de los siguientes pasos y metodologías:

- a. Selección y traslado del material osteológico.
 - i. En la Facultad de Medicina de la Universidad de Valladolid, selección de una mano y un pie de un macho y una hembra de las especies *Homo sapiens*, *Pan troglodytes*, *Gorilla gorilla* y *Pongo pygmaeus*.
- b. Escaneo y procesado.
 - i. Se escanearon los 360 huesos de primate uno por uno con el escáner 3D Shining Einscan, de la Unidad de Antropología Física de la Facultad de Ciencias Biológicas. Se realizó un escaneo sin texturas, generando archivos “.stl” que se almacenaron en un disco duro externo (comprado con presupuesto Innova).
- c. Impresión 3D.
 - i. Cada uno de los archivos “.stl” se imprimió con filamento PLA (comprado con presupuesto de Innova), en la impresora Ender 3 Max, de la marca Creality, con placa de impresión de hasta 300x300x400mm (comprada con presupuesto de Innova). Para cada especie se escogió un color de PLA diferente (chimpancé, blanco; gorila, verde; orangután, rosa; humano, marrón). Se realizaron pruebas para ajustar los parámetros de impresión y para seleccionar un color adecuado de filamento que resaltara los detalles anatómicos de los modelos. Estas impresiones están disponibles para su manipulación física como recurso docente.
- d. Creación del “Museo Virtual de la Unidad Docente de Antropología Física de la UCM”.
 - i. Mediante el uso de un software de alineación de modelos virtuales, Arctec Studio, se ensamblaron los escaneos de huesos individuales en archivos “.stl” correspondientes a la mano o pie de cada individuo primate, o a combinaciones del mismo hueso de diferentes especies. Cada archivo resultante se nombró de acuerdo a la especie, sexo y unidad anatómica, por ejemplo “gorila_macho_pie.stl”.
 - ii. Estos archivos “.stl” compuestos se están subiendo a la plataforma “sketchfab”, y están disponibles bajo clave de acceso como recurso docente virtual 3D.

4. Recursos humanos

Los recursos humanos empleados fueron los descritos en la solicitud del proyecto, y las personas implicadas realizaron las siguientes tareas de cada uno de los puntos citados en la sección anterior:

- a. Selección y traslado del material osteológico: Profesor Francisco Pastor, Universidad de Valladolid, y Contratado Doctor Luis Ríos y Daniel García, de la UCM. Selección de material osteológico de fauna no primate: Técnicos Mariano Padilla y Susana Vergara (UCM), y Contratado Doctor Luis Ríos (UCM).
- b. Escaneo y procesado de los huesos: Contratado Doctor Luis Ríos y Daniel García (UCM), coordinando y entrenando al resto del equipo del proyecto, así como a estudiantes de grado y doctorado.
- c. Impresión 3D: Contratado Doctor Luis Ríos, coordinando y entrenando al resto del equipo del proyecto, así como a estudiantes de grado y doctorado.
- d. Virtualización: Contratado Doctor Luis Ríos y Daniel García (UCM), coordinando y entrenando al resto del equipo del proyecto, así como a estudiantes de grado y doctorado.

5. Desarrollo de las actividades

Se describen las actividades llevadas a cabo para cumplir con los objetivos, divididas en tres grandes fases:

1. Virtualización:

- a. Selección de material: Se emplearon los meses de septiembre a noviembre del 2022 para coordinar las visitas a la Universidad de Valladolid y seleccionar los esqueletos de primates homínidos del Museo Anatómico, así como para revisar las colecciones del Museo de Anatomía Comparada de Vertebrados (MACV) de la UCM. Se seleccionaron un macho y una hembra de cinco especies de primates (humanos, chimpancés, gorilas, orangutanes, gibones). En las visitas, se siglaron los especímenes uno por uno (los del Museo Anatómico de Valladolid), se empaquetaron y se enviaron por correo a la UCM.
- b. Entre enero y mayo del 2023, se inició el escaneo de los huesos de mano y pie en el Laboratorio de Antropología Virtual de la Facultad de Biología de la UCM, realizando pruebas con los parámetros de escaneo y decidiendo si realizarlos con o sin textura, fijando un escaneo sin texturas y creando un protocolo de escaneo. Se realizó con éxito la virtualización de los huesos de humano, chimpancé, gorila y orangután, y se decidió aplazar el escaneo de los huesos del macho y hembra de gibón, debido a su pequeño tamaño. Se siguen haciendo pruebas de escaneo de estos huesos. Se ha generado una base de datos de más de 400 escaneos individuales.

2. Impresión:

- a. Entre septiembre y diciembre de 2022 se iniciaron los trámites de compra de material para el proyecto, concretamente el material presupuestado: una impresora 3D, filamento PLA para la impresión, y un disco duro externo para el almacenaje de los modelos 3D. Querría resaltar los problemas encontrados debido a la partición del presupuesto en dos anualidades, lo que impide comprar el material deseado debido a la no disponibilidad de todo el presupuesto. Este problema resultó en la compra de una impresora con una placa de impresión de menor tamaño de la esperada, aunque ha resultado una compra satisfactoria.
- b. Tras la recepción de la impresora y los filamentos, entre febrero y julio de 2023 se procedió a realizar:
 - i. Pruebas de impresión, variando los parámetros de la impresora y tratando de equilibrar máximo detalle, tiempo de impresión, orientación del filamento respecto a la anatomía del hueso,

procesado posterior del modelo (dependiendo esto de los apoyos físicos del modelo, que varían en función de la posición del modelo 3D, que luego tienen que ser eliminados). Las pruebas se realizaron con filamentos de distintos colores, ya que se pensó que al asignar un color a cada especie sería más fácil distinguir los modelos impresos para el estudiante y docente.

- ii. Impresiones definitivas, obteniendo un juego de mano y pie, de cada macho y cada hembra de cada especie, obteniendo duplicados, proceso aún en marcha, para obtener varios juegos de cada espécimen. Cada juego se ha empaquetado en una caja de plástico etiquetada.

3. Generación de recurso online:

El flujo de trabajo desde la virtualización hasta la publicación en línea se ha realizado desde el inicio de los escaneos en enero de 2023 y continúa en la actualidad. Ha implicado la utilización de varios programas (Meshlab, Ultimaker Cura, Arctec Studio), y su carga en la plataforma Sketchfab (www.sketchfab.com), donde se ha generado un museo virtual con el título de “Museo virtual de Antropología – UCM”, que se puede visitar en la siguiente dirección:

<https://sketchfab.com/luriosucm>

Dentro del museo se ha generado una colección “Great apes”, donde se están almacenando los modelos 3D obtenidos con el proyecto. La visita y manipulación de los modelos para visualizar su anatomía es un recurso docente estable que se espera seguir aumentando con más especímenes de grandes simios y otros organismos. Debido a las diferentes modalidades de las cuentas de sketchfab, está en discusión dentro de los miembros del equipo y en la Unidad Docente de Antropología Física, un balance entre el gasto de una suscripción anual y las ventajas que ofrece desde el punto de vista docente las diferentes opciones de suscripción (por ejemplo, la adición de información adicional al modelo virtual para favorecer la comprensión anatómica y evolutiva del espécimen).

Se considera que se ha cumplido con la generación de un recurso docente dual, físico (réplicas de huesos de mano y pie de grandes simios) y virtual (museo virtual con los modelos 3D en línea), que mejorará la docencia de la biología evolutiva, específicamente en los procesos de la evolución primate. Mediante este proyecto se ha generado un recurso docente que se ampliará a medida que en el Laboratorio de Antropología Virtual se escaneen e impriman más huesos de primates vivos y sus parientes fósiles.

6. Anexos

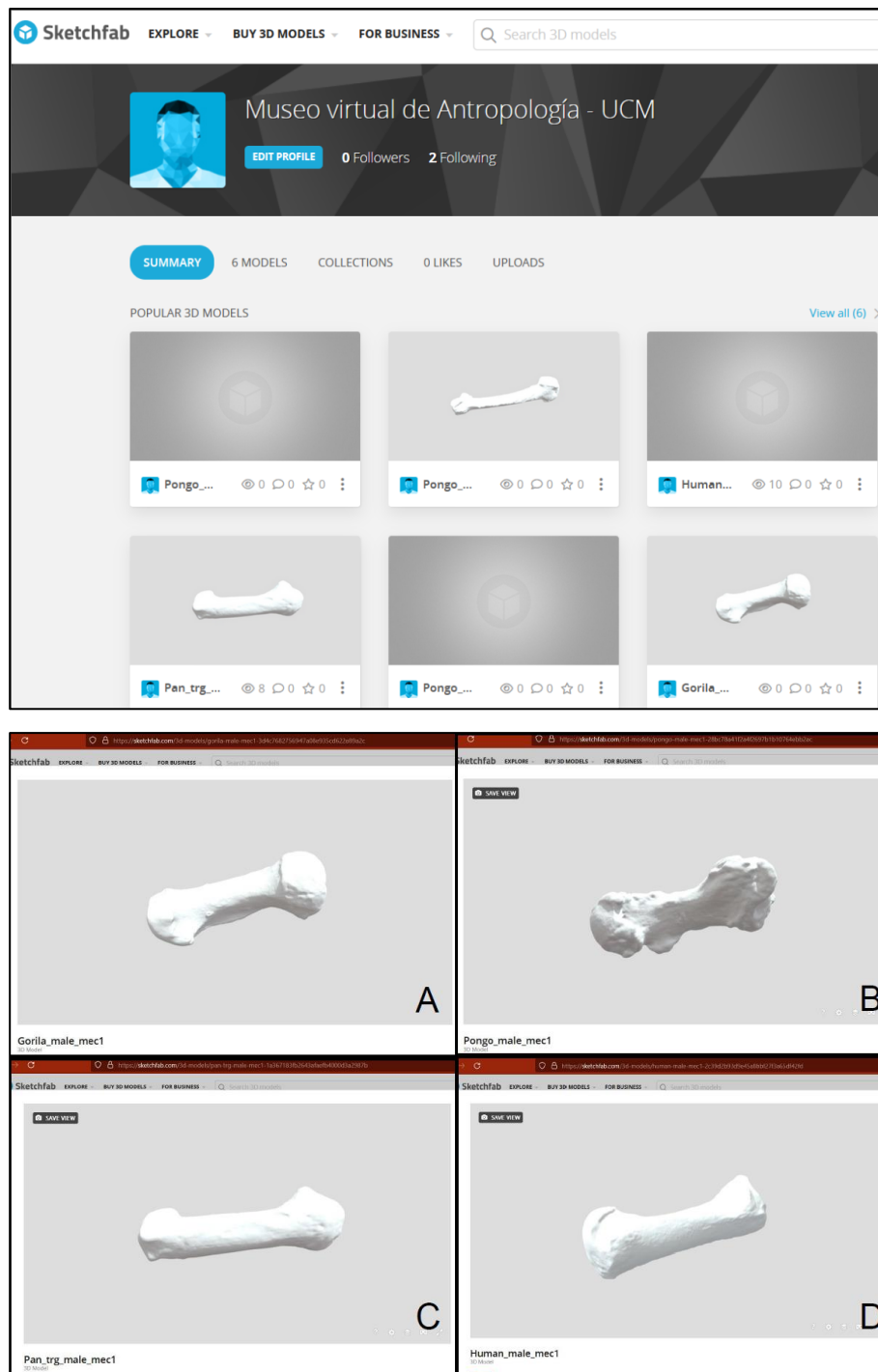


Figura 1. Aspecto del “Museo Virtual de Antropología – UCM”, en la plataforma sketchfab (arriba), y en la figura de abajo, ejemplos de modelos 3D escaneados del primer metacarpo de un gorila (A), orangután (B), chimpancé (C) y humano (D)

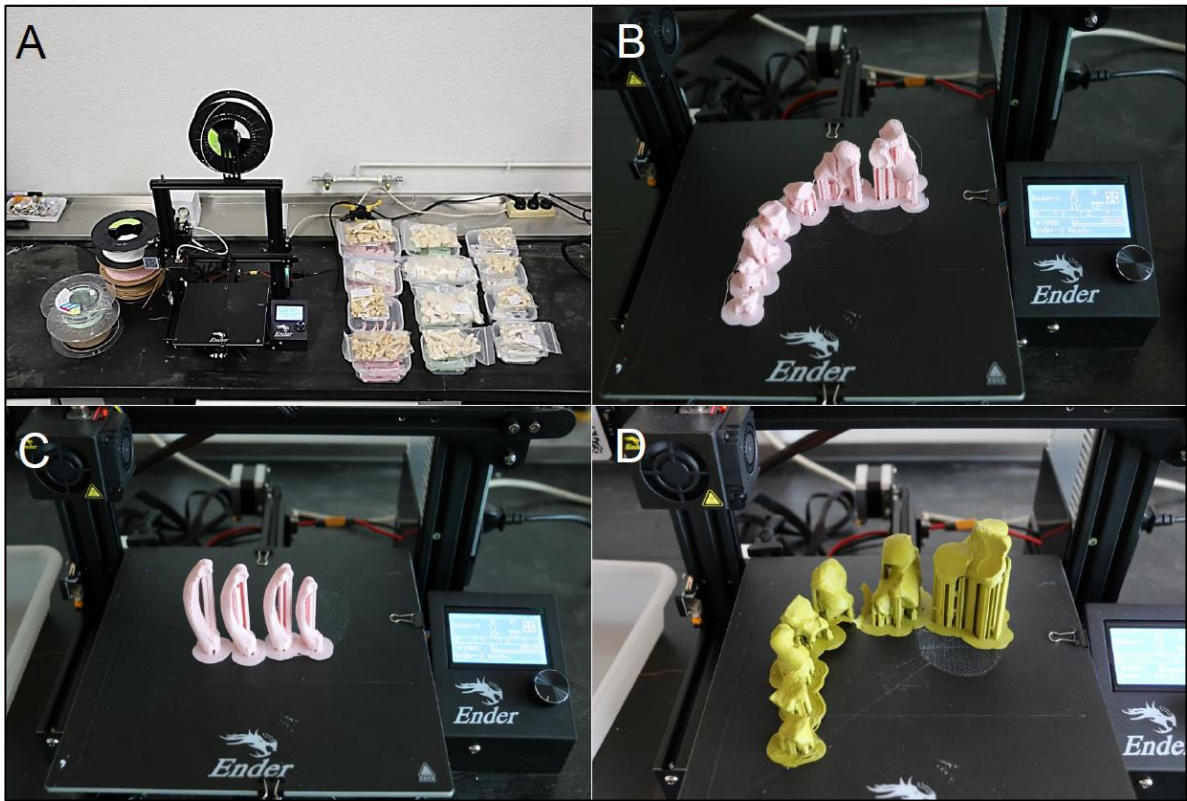


Figura 2. Filamentos PLA, impresora y especímenes esquelizados de primates encima de su réplica 3D (A). Tres ejemplos de impresión de modelos 3D en filamento de distinto color, correspondiente a tarsos (B) y falanges proximales de mano (C) de una orangutana, y tarsos de una gorila (D).



Figura 3. Detalle de las impresiones de los modelos 3D comparados con los huesos originales de los siguientes primates: mano de gorila macho (A, impresión a la izquierda, verde claro; huesos a la derecha); y detalle de las falanges proximales (B) y metacarpos (C), comparando uno a uno la impresión con el hueso; mano de orangután macho (D, impresión a la izquierda, rosa; huesos a la derecha), y detalle de los huesos del primer dedo de la mano (E).

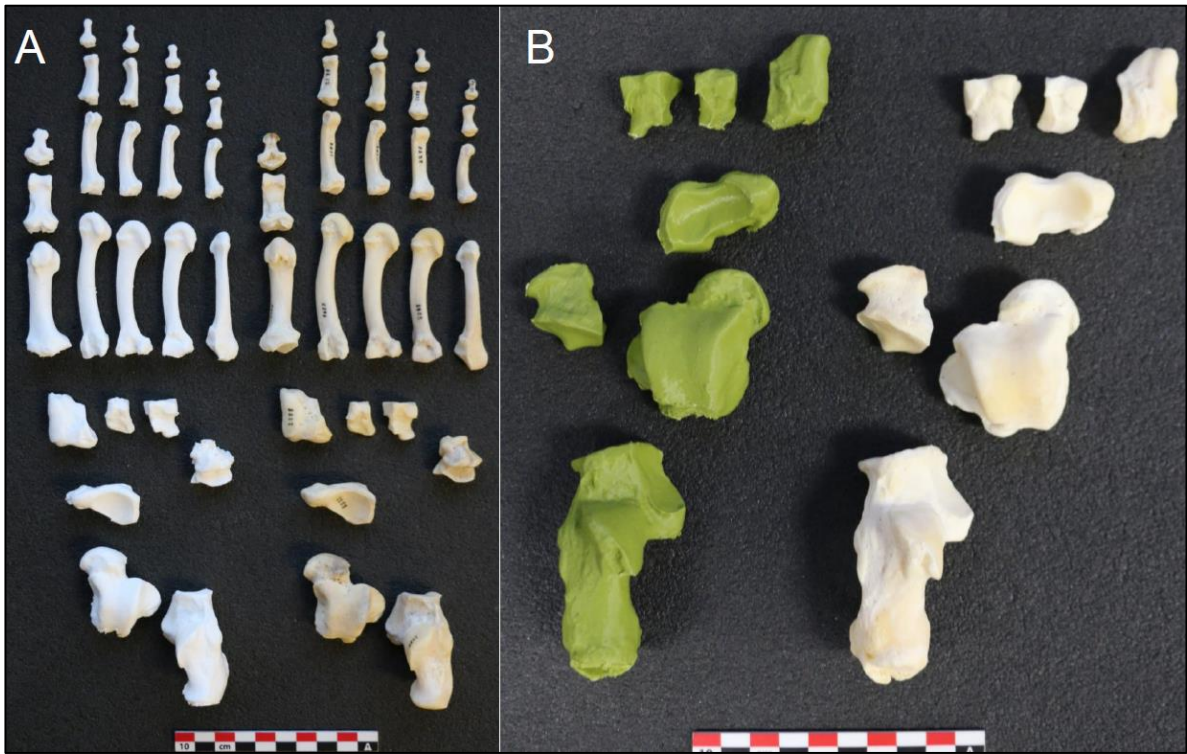


Figura 4. Detalle de las impresiones de los modelos 3D comparados con los huesos originales, en este caso del pie, de los siguientes primates: pie de chimpancé hembra (A, impresión en blanco a la izquierda, huesos a la derecha); tarsos de gorila hembra (B, impresión en verde oscuro a la izquierda, huesos a la derecha).