

Estado de la publicación: No informado por el autor que envía

Capturando historias de huesos: Protocolo de videogrametría para generar Modelos 3D para ciencia y educación

Martina Zaffino, Martín Ignacio Brogger, María Constanza Marchesi

<https://doi.org/10.1590/SciELOPreprints.9240>

Enviado en: 2024-06-27

Postado en: 2024-07-05 (versión 1)

(AAAA-MM-DD)

Capturando historias de huesos: Protocolo de videogrametría para generar Modelos 3D para ciencia y educación

Capturing Bone Stories: Videogrammetry Protocol for Generating 3D Models for Science and Education

Zaffino, Martina

¹Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco, ²LAMAMA, CESIMAR-CONICET, Puerto Madryn, Chubut, Argentina, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1460-9885>.

Email: martinazaffino23@gmail.com

Brogger, Martín Ignacio

³LARBIM, IBIOMAR-CONICET, Puerto Madryn, Chubut, Argentina. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1229-5032>

Marchesi, María Constanza

²LAMAMA, CESIMAR-CONICET, Puerto Madryn, Chubut, Argentina. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9926-6719>

Resumen

La disponibilidad de material osteológico original es un factor limitante para su estudio, así como para su utilización en actividades educativas y centros de comunicación científica. Las técnicas actuales para la generación de réplicas tridimensionales involucran escáneres de alta definición con costos elevados y de difícil manipulación y transporte. Técnicas más económicas y portables, como la fotogrametría, requieren la obtención de numerosas fotografías con lentes fijos. Como parte de un proyecto que propone evaluar el desempeño de distintos dispositivos ópticos asequibles (celulares y cámaras fotográficas no profesionales) en la obtención de modelos tridimensionales fieles y de alta definición, para ser utilizados en investigación y educación, hemos generado un protocolo metodológico sencillo y económico. Este protocolo permite generar, mediante videogrametría, réplicas de material para ser utilizado en actividades educativas y de comunicación científica. Se tomaron videos sobre vértebras de dos especies de pequeños odontocetos del Mar Argentino. Se utilizó el software Agisoft Metashape para la obtención de fotogramas y la generación de los modelos. Utilizar técnicas más asequibles y sencillas

para producir modelos 3D podría abrir nuevas posibilidades para potenciar el intercambio entre instituciones científicas y educativas.

Palabras claves: Videogrametría, material osteológico, modelados 3D, Agisoft Metashape, educación.

Abstract

Studying marine mammal bones is often constrained by limited access to original skeletal material, which limits the possibility of using osteological material for educational and scientific purposes. While high-definition scanners represent valuable tools, their high costs, combined with the challenges of manipulation and transport, pose significant barriers in low-income countries. Alternatively, more affordable and portable techniques, such as photogrammetry, present an accessible solution by utilizing fixed lenses and professional cameras. As part of a research project that focuses on the development and evaluation of cost-effective optical devices (a smartphone and a non-professional camera) in obtaining accurate and high-definition three-dimensional models, we have developed an affordable methodological protocol. This protocol allows the generation of material replicas from osteological materials through videogrammetry to be used in educational activities and scientific communication. To achieve this, we captured videos of vertebrae from two small Odontoceti species from the Argentine Sea (Mar Argentino). The 3D models were constructed using *Agisoft Metashape*, a versatile software capable of processing various digital and spatial images with high accuracy. The resulting models have been shown to be a good representation of the objects to be used in outreach activities and education. Using more affordable and straightforward techniques to produce 3D models could open up new possibilities to enhance the exchange between scientific and educational institutions.

Keywords: Videogrammetry, osteological material, 3D modeling, Agisoft Metashape, education.

Authors' contribution statement

Martina Zaffino: Conceptualization, Data Curation, Methodology, Investigation, Writing – original draft, Writing review & editing, Visualization.

Martin I. Brogger: Conceptualization, Methodology, Investigation, Writing review & editing, Supervision, Resources

María C. Marchesi: Conceptualization, Methodology, Investigation, Writing review & editing, Supervision, Resources, Funding acquisition.

Conflict of interest statement

The authors declare that there is no conflict of interest.

Research data availability statement

- The dataset supporting the results of this study is not publicly available.

Introducción

Actualmente, la generación de modelos 3D se realiza mediante dispositivos muy costosos, como escáneres de superficie, o mediante técnicas más económicas y portables, como la fotogrametría, que involucra la obtención de numerosas fotografías con lentes fijos (Bastir *et al.*, 2019; Medina *et al.*, 2020). Sin embargo, ambos métodos utilizan software complejo y de difícil acceso (Falkingham, 2012; Muñoz-Muñoz *et al.*, 2016). Sumado a esto, el acceso a piezas osteológicas también representa un problema, ya que la mayoría son parte de colecciones mastozoológicas públicas o privadas, y a menudo no se permite su libre utilización. Teniendo en cuenta estas limitaciones, y sumado a las dificultades que muchos investigadores enfrentaron durante la pandemia para acceder a material de colecciones, se propuso generar un protocolo metodológico sencillo para crear copias digitales de dicho material. Este protocolo permite la creación de modelos 3D de piezas osteológicas, fieles a la realidad y de alta calidad, mediante una técnica rápida y eficiente como la videogrametría. Esta técnica se basa en la fotogrametría, pero utiliza videos del objeto de estudio para obtener los fotogramas necesarios como paso previo a la generación de modelos (Muñoz-Muñoz *et al.*, 2016). El objetivo principal de este trabajo es proporcionar a Museos e Instituciones académicas y científicas un protocolo metodológico sencillo que, utilizando herramientas asequibles, permita la generación de modelos tridimensionales de alta calidad.

Materiales

Los videos fueron tomados utilizando dispositivos asequibles, de amplia disponibilidad: la cámara de un teléfono inteligente iPhone 8 (videos con resolución 4K a 30 fotogramas por segundo) y una cámara semi-profesional (Nikon D7000, lente Nikkor DX 18-55mm 1:3.4-5.6G ED). El número de videos necesarios depende de la complejidad del objeto de estudio, debiendo tomar los necesarios para capturar la totalidad de la estructura. En este trabajo, se grabaron un total de seis videos por vértebra (1 set). Cada set consiste de dos vistas, recta y oblicua (ángulo de aproximadamente 45°), de tres posiciones distintas de la vértebra. Para la toma de videos se utilizó un trípode, un fondo apropiado para generar contraste con el objeto y una plataforma giratoria (ComXim, MT320RL40) con una velocidad de 24 segundos por vuelta. Cada video representa una vuelta completa (360°). La iluminación fue natural y/o artificial (aro de luz SEISA S31), según necesidad, para evitar la proyección de sombras (Figura 1). Una vez capturados todos los

videos, fueron renombrados utilizando el nombre de origen asignado por cada dispositivo y un código alfanumérico indicando posición y vista (e.g., DS_1234_P1-R) para evitar una posible pérdida de calidad durante el renombrado y facilitar el orden en el procesamiento.



Figura 1: Set de toma de videos.

Para la creación de los modelos 3D se utilizó el software **Agisoft Metashape** (<https://www.agisoft.com/>), un software autónomo que permite procesar diferentes tipos de imágenes digitales y espaciales para generar modelados 3D con precisión. Este software puede ser utilizado en una gran diversidad de disciplinas y a diferentes escalas. En este trabajo se empleó la versión *Agisoft Metashape Professional*, versión 2.0.1 build 16069 (Agisoft LLC, 2021). Sin embargo, el protocolo puede seguirse de igual manera con la versión libre del mismo, aunque algunas herramientas pueden cambiar de nombre en distintas versiones.

Protocolo metodológico

Ejecución del programa y creación de modelos 3D

En la interfaz del programa hay tres secciones (Figura 2). A la izquierda se encuentra el espacio de trabajo, donde se ubicarán los bloques (chunks) y los pasos realizados durante la producción del modelo 3D. En el centro se encuentra el panel de visualización, donde se podrá ver el objeto en tres dimensiones. A la derecha se ubicarán todos los fotogramas del video importado. En la parte superior, hay dos barras de tareas con íconos que permiten realizar diferentes funciones.

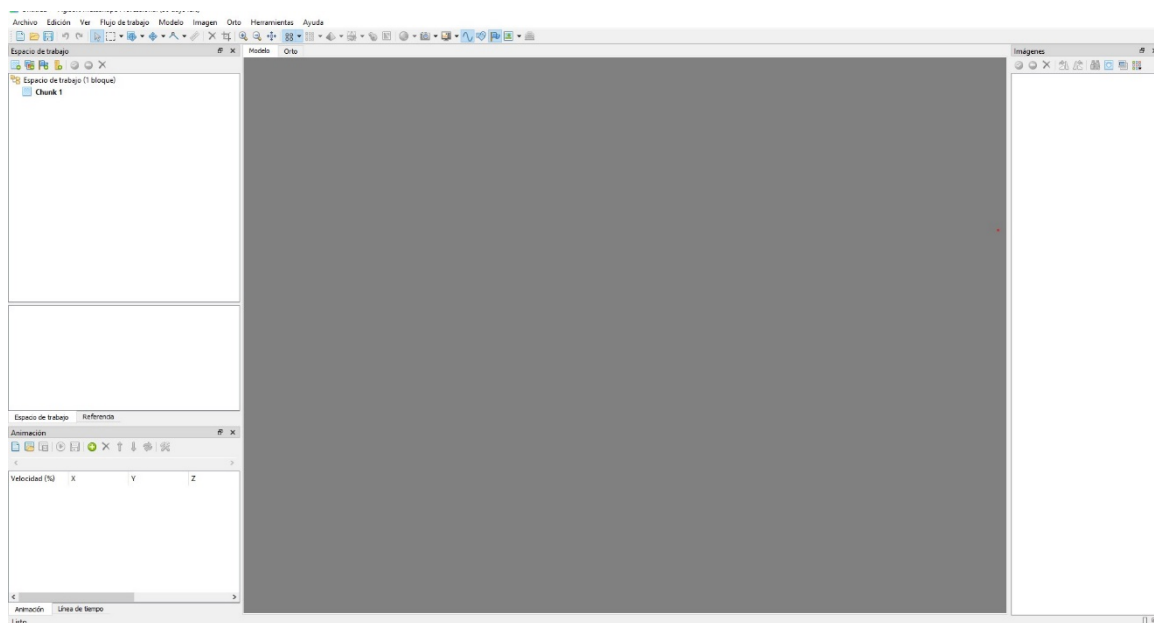


Figura 2: Interfaz del software Agisoft Metashape.

1. Crear los bloques (Figura 3): uno por cada posición del objeto (incluyendo todas las vistas).

Se tendrán tantos bloques como posiciones distintas del objeto, y cada uno incluirá todas las vistas en esa posición. En este trabajo se crearon tres bloques, cada uno conteniendo dos videos del objeto. Por ejemplo, el Bloque 1 contenía los videos de la Posición 1, vista recta y oblicua, es decir, dos videos de 25 segundos cada uno, con aproximadamente 76 fotogramas cada uno. Por defecto, el espacio de trabajo incluye un bloque. Para crear un bloque, hacer “clic derecho” en el “espacio de trabajo” y seleccionar “agregar bloque”.

Recomendación: Previamente, crear carpetas en el equipo o en un disco externo, donde el programa guardará los fotogramas de los bloques. Cada carpeta contendrá tantas subcarpetas como vistas haya del objeto.

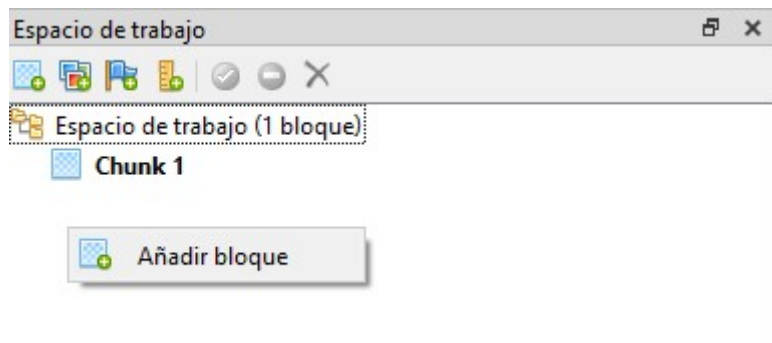


Figura 3: Añadir bloques.

2. *Importar los videos* a cada bloque: Ir a “Archivo” // “Importar” // “Importar video” (Figura 4a). Se abrirá una ventana para elegir el archivo, luego hacer clic en “Abrir”. Se abrirá una pantalla de previsualización del video con una serie de opciones para establecer parámetros (Figura 4b).

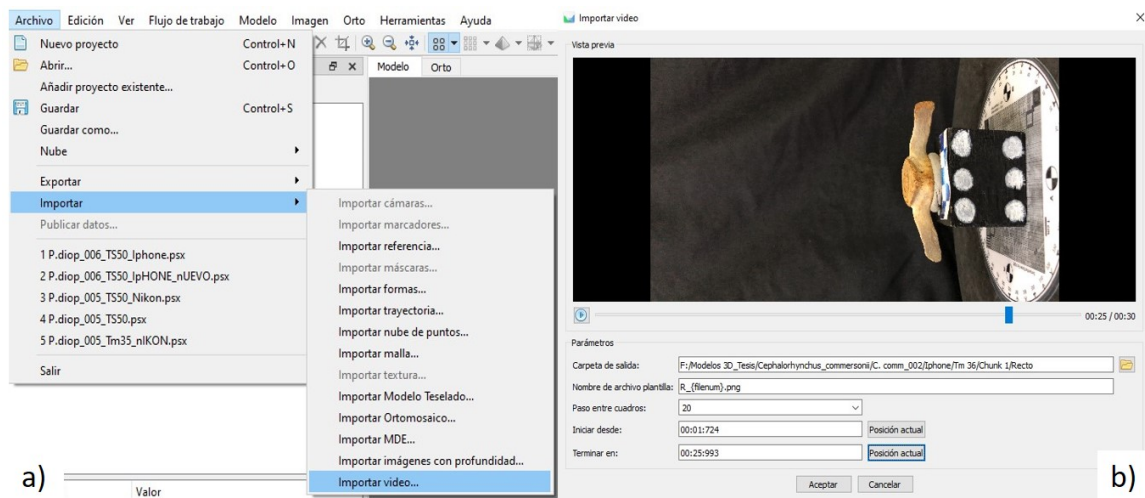


Figura 4: a) Importar videos; b) Parámetros.

Parámetros generales:

- Carpeta de salida: Carpeta donde se guardarán los archivos.

Nota: Todos los videos deberán ir en carpetas separadas en una misma localización, ya que de lo contrario se reescriben y no se guardarán todos los videos.

- Nombre de archivo plantilla: Se elige el nombre de cada video y por lo tanto de cada fotograma (*frame*) generado.

Recomendación: *dejar las especificaciones por defecto. Si se cuenta con más de una vista en cada bloque, utilizar prefijos para nombrar los fotogramas; por ejemplo: R_{filenum}.png, donde la “R_” significa vista recta del video, de esta manera la “R_” se mantiene y lo que se modifica es el número de archivo (filenum). Esto lo hace automáticamente el programa.*

- Paso entre cuadros: Indica el número de fotogramas por segundo, que son cuadros individuales fijos de un video en un momento específico. Esto depende del objeto de estudio y su complejidad.

Nota: *en este caso se utilizaron 20 pasos (Personalizado), generando un total de entre 38 y 40 fotogramas por video.*

- Iniciar desde: Seleccionar el tiempo de inicio.
 - Posición actual: indica la posición actual del video que se está previsualizando en la ventana.
- Terminar en: Seleccionar el tiempo de finalización del video.
 - Posición actual: posición actual de finalización del video.

Una vez importado el video seleccionado, éste se convertirá en fotogramas según la cantidad indicada. Cuanto mayor sea la cantidad de fotogramas por segundo, mayor será el solapamiento de fotos. Sin embargo, a mayor número de fotogramas, se requerirá más tiempo de procesamiento.

Durante la creación de este protocolo, se utilizó un total de 38 fotogramas por video, lo que resulta en un total de 76 fotogramas por bloque (correspondientes a ambas vistas). De esta manera, se deben cargar todos los videos de un bloque hasta que se tengan todos los bloques con fotogramas.

3. Orientar fotos: utilizando el video importado, ir a “flujo de trabajo” y seleccionar “Orientar fotos” (Figura 5a). Para cada bloque, se alinearán y orientarán todos los

fotogramas correspondientes. Se abrirá una nueva ventana donde se pueden modificar ciertos parámetros (Figura 5b). Los fotogramas de un mismo bloque serán orientados todos juntos.

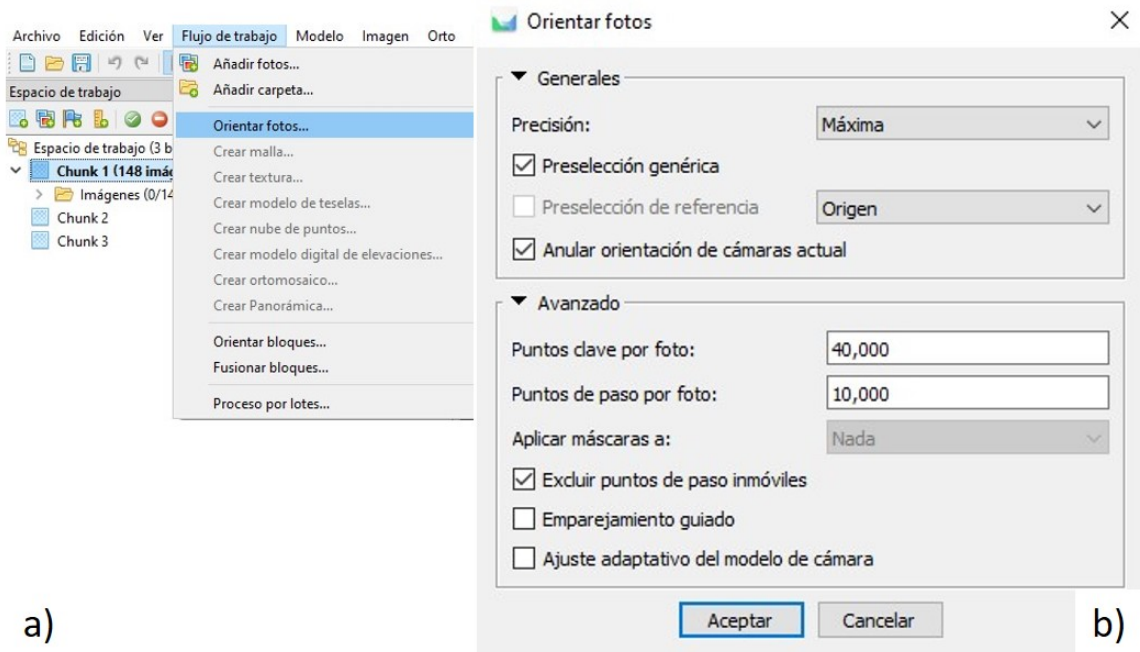


Figura 5: a) Orientar fotos; b) Parámetros.

Parámetros Generales:

- Precisión: Elegir la calidad deseada; se recomienda Alta o Máxima calidad.
 - Por defecto dejar preselección genérica; y origen en la solapa de la derecha.

Parámetros avanzados: en esta sección se encuentran las opciones más avanzadas.

Dejar las opciones seleccionadas por defecto.

- Puntos clave por foto: 40.000
- Puntos de paso por foto: 10.000
- Cuando esté disponible, también se podrán elegir *Aplicar máscaras a:* donde se puede elegir si se utilizan las máscaras en los puntos clave, en los puntos de paso o si no se utilizan.

Después de cada paso, se abrirá una ventana que mostrará el progreso del procesamiento de la tarea. El tiempo que tome dependerá de la velocidad de

procesamiento de la computadora. En este caso, se trabajó con una computadora relativamente rápida (11th Gen Intel® Core™ i7-11700 @ 2.5Ghz, RAM 32GB) y las demoras variaron entre unos segundos en algunos pasos (como en la *orientación de las fotos* [3]), y más de 30 minutos en otros (como la creación de la *nube de puntos* [5] y al *orientar los bloques* [8]). De esta manera, se tardó entre 2-3 horas en generar un modelo de las vértebras más simples y entre 4-5 horas en recrear las vértebras más complejas.

Una vez que los fotogramas están alineados y orientados, hay que verificar en la ventana de visualización que el programa esté alineando el objeto deseado, y no otros posibles elementos de la imagen (elementos del montaje del objeto). Para esto, desde la sección de la izquierda (el espacio de trabajo), y en el bloque recién alineado, ir a “Puntos de paso”. En esta solapa se mostrará el objeto alineado representado mediante una serie de puntos. De igual manera, en la solapa de la derecha, aparecerán todos los fotogramas de ese bloque, y aquellos que se orientaron correctamente tendrán un ícono con dos tildes en la parte superior. Si en este paso el objeto no se ve correctamente, está solapado o no se alinearon suficientes fotos para que el programa reconstruya el objeto, se deberá volver a alinear ayudando al programa mediante marcadores que serán agregados en cada bloque (ver paso siguiente).

Nota: *Un problema que puede surgir en este punto es que aparezca un mensaje indicando que algunos fotogramas no pudieron ser alineados (Figura 6). En este caso, se puede volver a alinear todo en una calidad más alta o, de no ser posible (debido al tiempo de procesamiento o porque ya se corrió en la calidad más alta), ir al panel de la derecha, y seleccionar los fotogramas que no tengan el ícono con las dos tildes por encima de ellos, ir al ícono de deshabilitar y volver a orientar los fotogramas restantes. Si bien se perderá parte de la información, en una segunda iteración de cada bloque se podrán volver a habilitar y orientar con el resto de los fotogramas.*

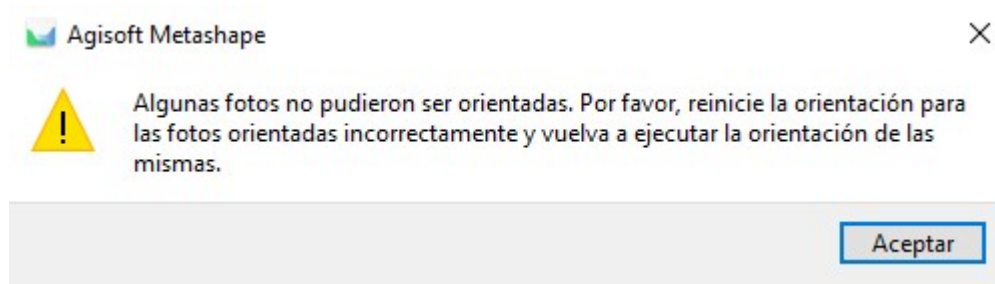


Figura 6: Problema en la orientación de los fotogramas.

4. Agregar Marcadores: Se recomienda hacerlo cuando el objeto que se está reconstruyendo no es bien detectado por el programa o cuando la orientación de algunos fotogramas no es la deseada. Si bien el agregado de marcadores es una herramienta que lleva tiempo, mejora considerablemente el resultado final del alineamiento. Para ello, ir desde cada bloque a la sección de la derecha, donde se encuentran los fotogramas alineados. Seleccionar el primer fotograma del bloque, se abrirá la imagen en la sección principal del programa, hacer clic derecho y seleccionar la opción “añadir marcadores” (Figura 7a).

De esta manera se podrán marcar puntos relevantes del objeto en cada bloque. Tener en cuenta que si en el bloque 1 hay tres marcadores (marcador 1, 2 y 3) y el bloque 2 también debe haber tres, ya que estos marcadores se van a solapar cuando se fusionen los bloques. Por lo tanto, procurar no nombrar de igual manera marcadores que no se correspondan. Una vez que los marcadores fueron agregados en el primer fotograma, hay que colocarlos en todos los demás. Como los fotogramas ya fueron previamente alineados, este trabajo se encuentra un poco facilitado, ya que el programa reconoce en qué lugar iría cada marcador. Sin embargo, hay que recorrer cada fotograma para confirmar que cada marcador se encuentra en la posición correcta. Cada marcador se coloca de manera automática y se distingue con una banderita azul (Figura 7b).

- Posible problema: Si la banderita del marcador es de color azul significa que el marcador no está fijo, es decir, se puede desplazar en cualquier momento, y esto puede generar errores en la reconstrucción del modelo.

- Solución: volver a hacer clic sobre cada marcador en cada fotograma, para que el marcador se distinga con una banderita color verde. De esta manera, el marcador quedará fijo en todos los fotogramas. Hay que desmarcar aquellos marcadores que en ciertos fotogramas no estén visibles. Para ello, hacer clic derecho sobre dicho marcador y seleccionar eliminar proyección. Esta opción permite que, en ese fotograma particular un marcador no se proyecte, pero sí se proyecte en aquellos fotogramas en los cuales dicho punto es visible.

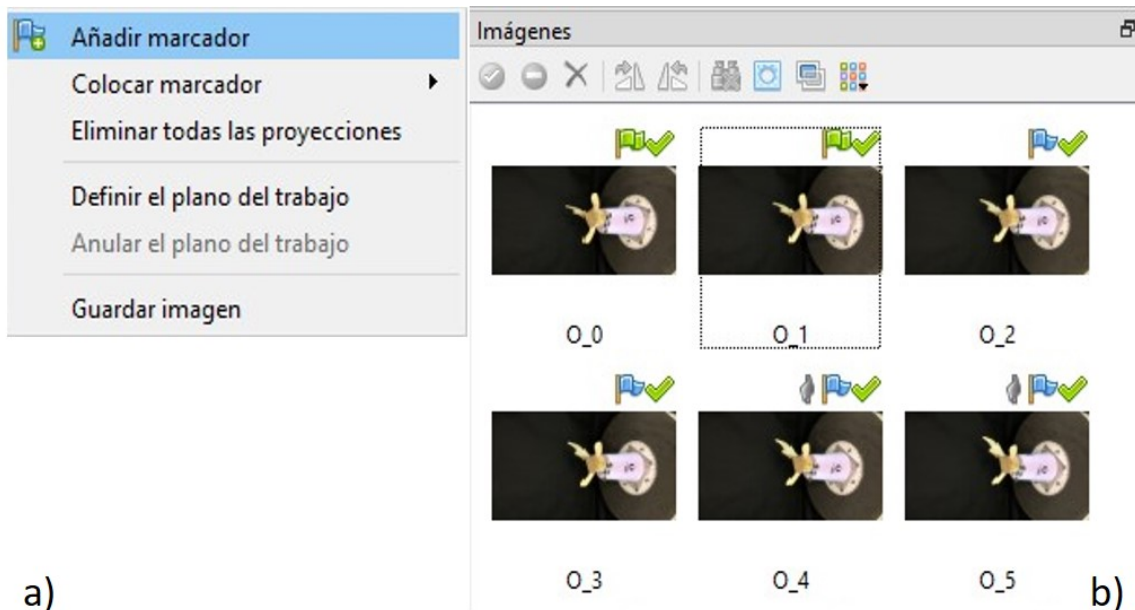


Figura 7: a) Añadir marcadores; b) Visualización de marcadores en fotogramas.

Una vez finalizado este paso, volver a “alinear” y “orientar los fotogramas” para notar la diferencia entre el alineado previo y el nuevo. Se verá que, si el programa pudo identificar bien cada marcador, en los puntos de paso, el objeto se encuentra bien definido. Ya se puede continuar con los siguientes pasos.

En este punto, se puede realizar una limpieza del pre-modelo utilizando la herramienta de “borrado de Selección libre” (Figura 8). Esta herramienta permite borrar de manera manual todos aquellos puntos que no sean parte del objeto que se quiere modelar. Procurar borrar solo lo necesario, el fondo y aquellos puntos que realmente interfieran con la visión del objeto.

Nota: *cambiar entre Herramienta “Navegación” y “Selección de forma libre”: Barra espaciadora. Si se borró de más, se puede deshacer lo borrado con ctrl+Z.*

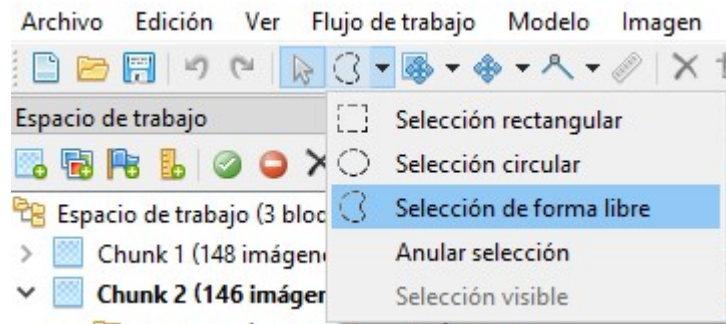


Figura 8: Borrado Selección de forma libre.

5. **Crear la nube de puntos:** ir a “flujo de trabajo” y seleccionar “crear nube de puntos” (Figura 9a). Se abrirá una nueva ventana (Figura 9b).

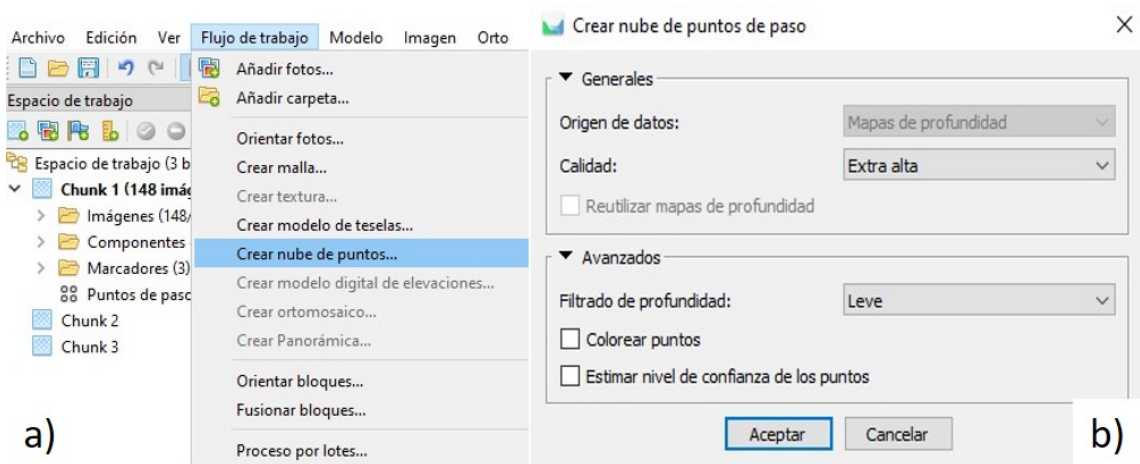


Figura 9: a) Crear nube de puntos; b) Parámetros.

Parámetros Generales:

- Origen de datos: indica de dónde va a utilizar la información para generar la nube de puntos. Dejar mapas de profundidad por defecto.
- Calidad: elegir la calidad deseada (en mi caso, utilicé Alta y Extra alta).

Recomendación: dejar las opciones avanzadas por defecto.

Al final del procesamiento, sobre la sección de espacio de trabajo, se podrán observar dos ítems nuevos: mapas de profundidad y la nube de puntos. El primero no será utilizado de manera práctica o manipulativa, sino que lo crea el programa y lo utiliza para ir generando el modelo. El segundo, la nube de puntos, es a partir de lo cual se va

a generar el pre-modelo de ese bloque. En este punto, se puede borrar alguna parte del objeto que no sea deseada. Si no hay nada que borrar, se sigue con el siguiente paso.

6. **Crear la malla:** para ello, ir a “flujo de trabajo” y seleccionar “crear malla” (Figura 10a). Se abrirá la siguiente ventana con ciertos parámetros que se pueden modificar (Figura 10b).

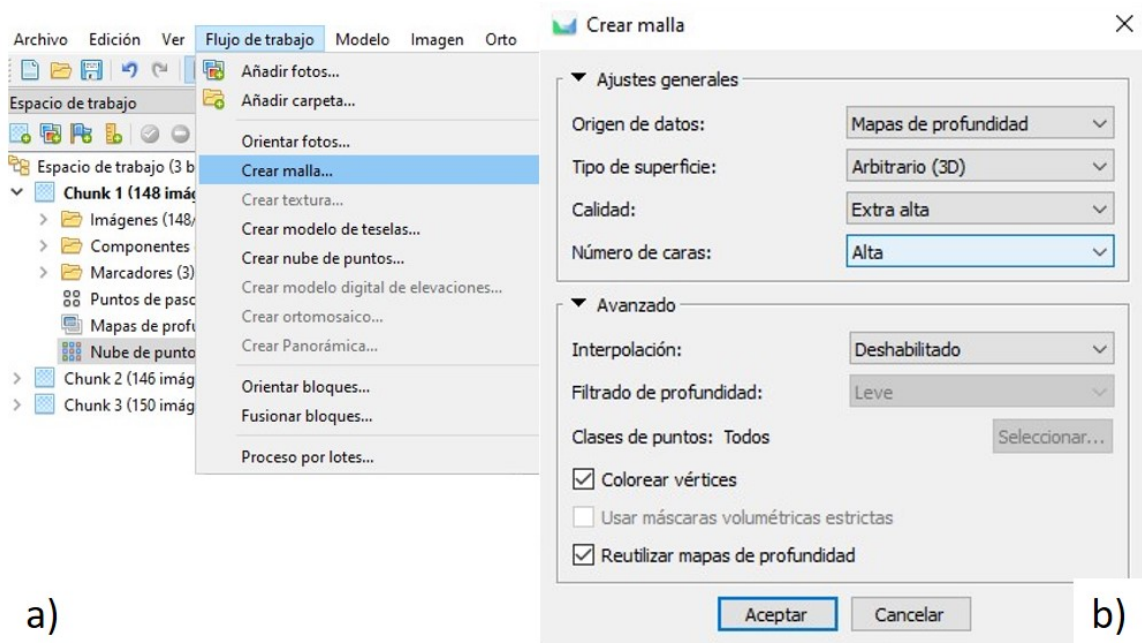


Figura 10: a) Crear malla; b) Parámetros.

Parámetros generales:

- Origen de los datos: Indica de dónde sacará la información para generar el modelo 3D. Dejar mapas de profundidad por defecto.
- Tipo de superficie: Indica en qué dimensión se quiere el modelo. En mi caso, utilicé Arbitrario (3D) por defecto.
- Calidad: elegir la calidad deseada. En mi caso, utilicé Alta y Extra alta.
- Número de caras: Especifica el máximo número de polígonos en la malla final (Agisoft LLC, 2021). En mi caso, utilicé Alta.

Parámetros avanzados:

- Interpolación: Esta opción indica si se deben cerrar o no los puntos que puedan quedar abiertos en el modelo. En mi caso, en el procesamiento de los bloques por separado, mantengo esta opción deshabilitada. Sin embargo, cuando se fusionan los bloques, se habilita esta opción para que no queden zonas abiertas en el modelo 3D final.
 - Dejar las demás opciones por defecto.

En el espacio de trabajo aparecerá un nuevo ítem, el modelo 3D (Figura 11). Seleccionar este modelo para que se muestre en la pantalla o sección principal. En este paso puede existir ruido de fondo que hay que borrar. Para ello, utilizar la herramienta de selección libre. A partir de este momento, ya tenemos el primer modelo 3D de un bloque.

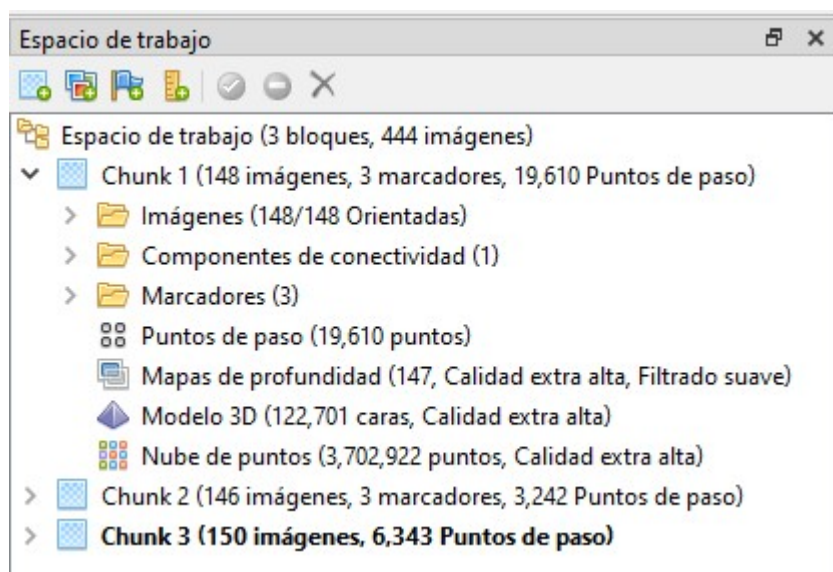


Figura 11: Espacio de trabajo detallado.

7. **Importar máscara:** Esta herramienta permite generar una máscara del objeto deseado utilizando el modelo 3D ya creado en cada bloque. Para ello, desde la sección derecha de la pantalla, donde se encuentran los fotogramas, seleccionar uno de ellos que haya sido alineado con éxito (verificar que tenga una tilde ✓ verde arriba a la derecha de cada fotograma) y hacer clic derecho, seleccionar “máscaras” y luego “importar máscaras”

(Figura 12a). Se abrirá la ventana que se muestra en la Figura 12b. De esta manera, se creará a partir del modelo ya creado una máscara representando solo el objeto deseado.

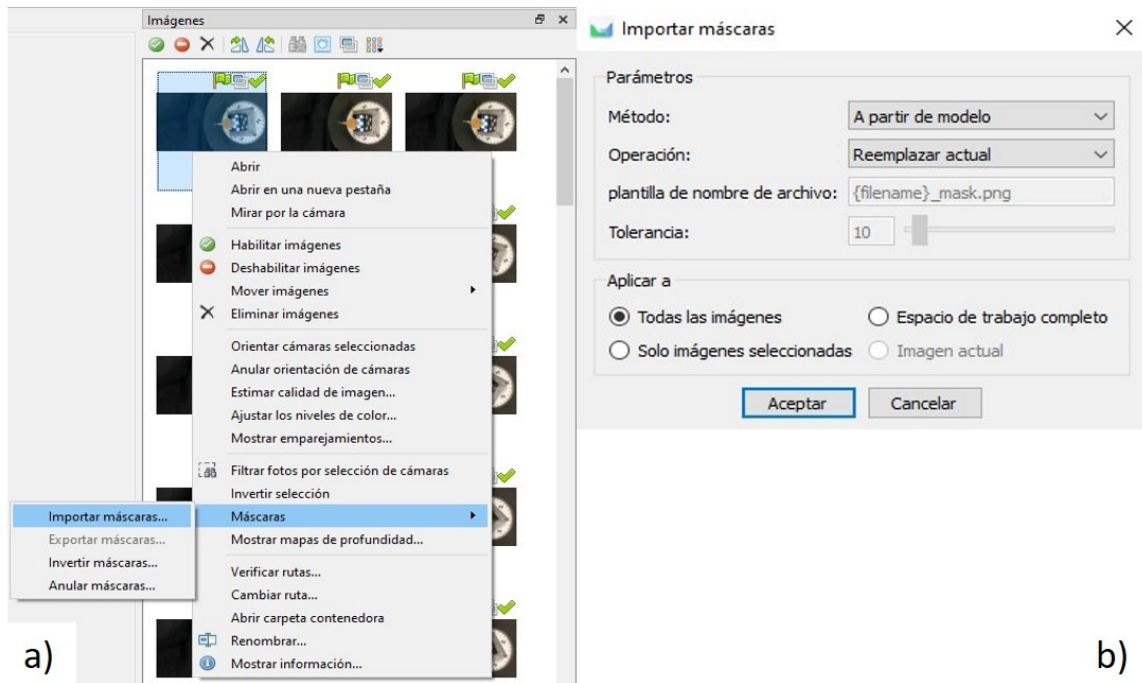


Figura 12: A) Importar máscara; b) Parámetros.

Parámetros Generales

- **Método:** Indica de dónde obtendrá la información para crear la máscara (Agisoft LLC, 2021). En mi caso, utilicé a partir del modelo, ya que utiliza el pre-modelo ya creado para generarla.
- **Operación:** Indica cómo operará en caso de que se agregue otra máscara a la foto (Agisoft LLC, 2021). Dejar “Reemplazar actual” por defecto.
- **Aplicar a:** Indica a qué imágenes se le van a generar las máscaras. Notar que por imagen hay una máscara, y entre bloques se crean máscaras diferentes. Por lo tanto, no recomiendo utilizar la opción de aplicar a Espacio de trabajo completo. En mi caso, utilicé aplicar a todas las imágenes (de un solo Bloque).

Hasta ahora, se han creado los bloques, se han importado los videos, se han orientado los fotogramas, se ha creado la nube densa, la malla y, por último, la máscara.

Este procedimiento deberá replicarse en los bloques que siguen. Una vez realizado esto en los demás bloques, y procurando guardar el proyecto después de cada paso, tendremos tantos modelos 3D como bloques. Sin embargo, luego de varias pruebas, encontré que para mejorar la calidad del modelo, debía repetir algunos pasos. Comenzando por el *bloque 1*, se deberá volver a orientar los fotogramas (paso 3), volver a crear la nube de puntos (paso 5), y volver a crear la malla (paso 6). De esta manera, me aseguro de que en la nueva iteración, el programa solo utilizará la información del objeto contenida en la máscara creada (paso 7). Esta iteración se hará en una calidad mayor que la anterior. Repita esto en todos los bloques. A simple vista, es posible que no se note una gran diferencia, sin embargo, se facilita el trabajo al *software*, ya que le indicamos con precisión en qué debe centrarse para la creación del modelo final.

8. **Orientar los bloques:** ir a “flujo de trabajo” y seleccionar “orientar bloques” (Figura 13a). Se abrirá la siguiente ventana con algunos parámetros (Figura 13b). En este paso no habrá nada nuevo visible.

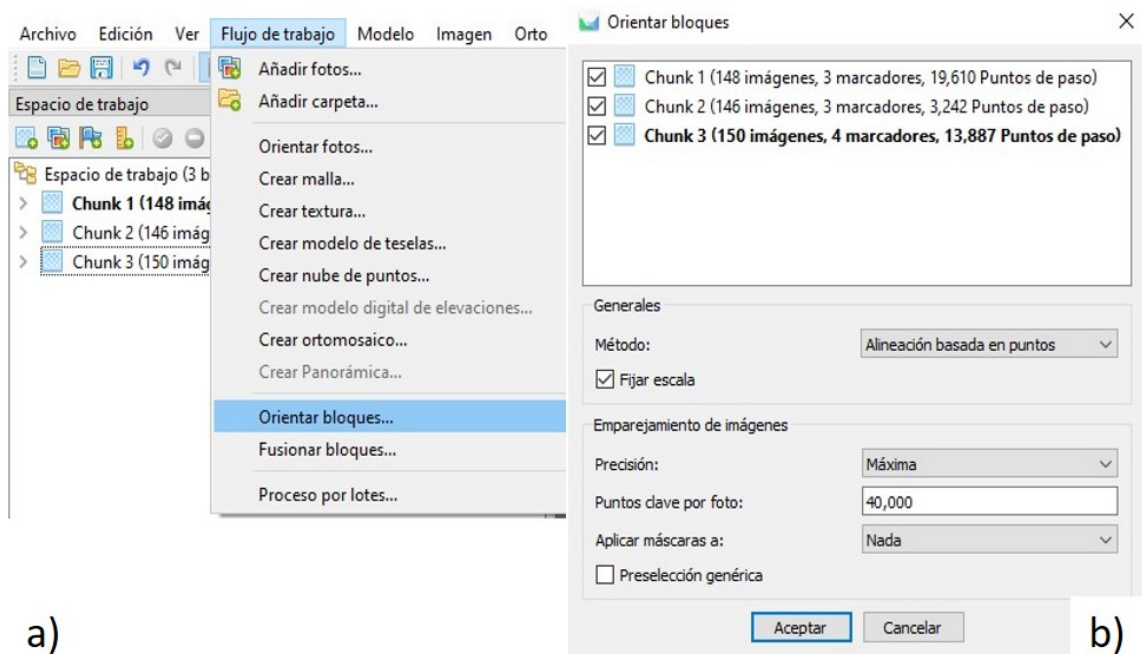


Figura 13: a) Orientar bloques; b) Parámetros.

Parámetros Generales:

- Seleccionar que se orienten todos los bloques que se requieran.
- Fijar escala: En esta opción seleccionar que te fije la escala, a partir de la alineación basada en puntos.

Permite re escalar la malla de cada bloque en caso de que existan diferencias entre ellas.

Emparejamiento de imágenes

- Precisión: Indica con qué precisión se hará el alineamiento y orientación de las imágenes. En mi caso, utilicé Máxima.
- Puntos clave por foto: 40,000.

Recomendación: dejar las demás opciones por defecto.

9. **Fusionar los bloques:** Ir a “flujo de trabajo” y seleccionar “fusionar bloques” (Figura 14a). Se abrirá la siguiente ventana (Figura 14b).

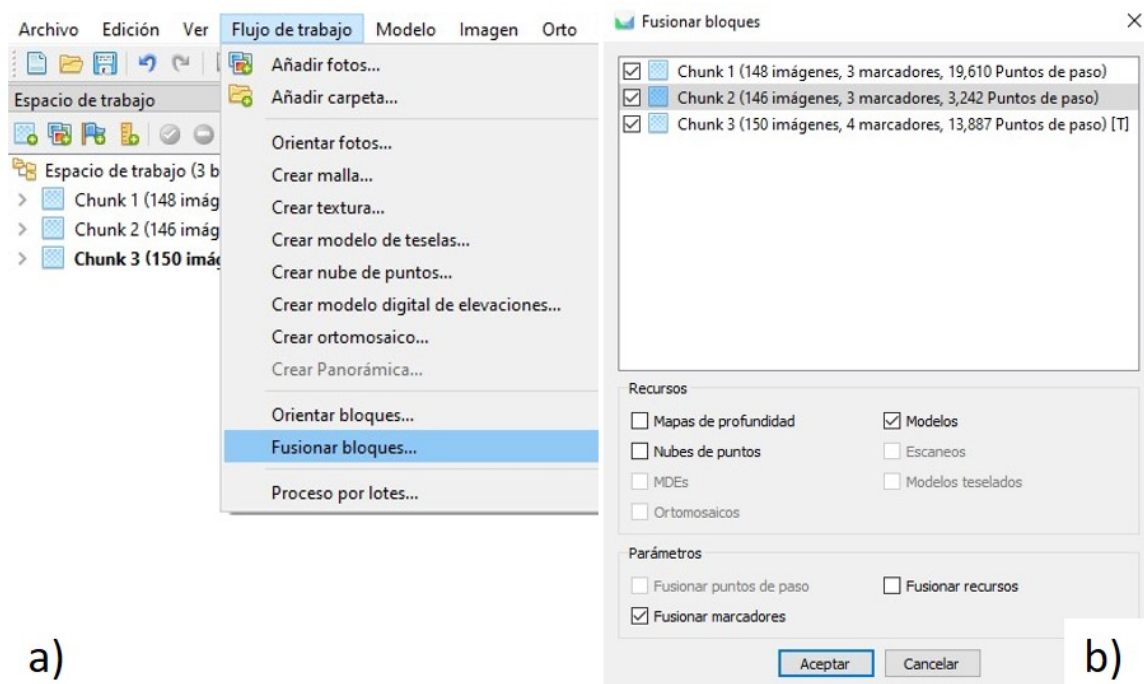


Figura 14: a) Fusionar bloques; b) Parámetros.

Recursos: Elegir lo que se quiere fusionar.

Recomendación: *Elegir solo los modelos y los marcadores si fueron agregados, para mejorar la calidad de la fusión.*

Seleccionar “fusionar los bloques” que se deseen, en este caso se seleccionaban los tres bloques, siempre y cuando haya sido posible generar el modelo en todos ellos. Si en algún bloque no hubiera sido posible, no se fusionaba. Ahora tendremos los modelos, y si existieran marcadores (agregados en el paso 4), estos estarán fusionados. De esta manera, en el nuevo Bloque fusionado (*Merged chunk*), estaremos indicando al programa la orientación correcta los bloques alineados.

Nota: *Procurar que, si se agregaron marcadores, estos no deben tener el mismo nombre si no corresponden al mismo lugar en el objeto.*

Luego de este paso se podrá observar en la sección izquierda de la pantalla un nuevo ítem llamado *Bloque Fusionado*, en el cual se encontrarán todos los fotogramas de los bloques creados, y los modelos y marcadores pertenecientes a cada bloque. Con este nuevo bloque se trabajará a partir de ahora (Figura 15).

Nota: *Asegurarse de guardar luego de cada paso.*

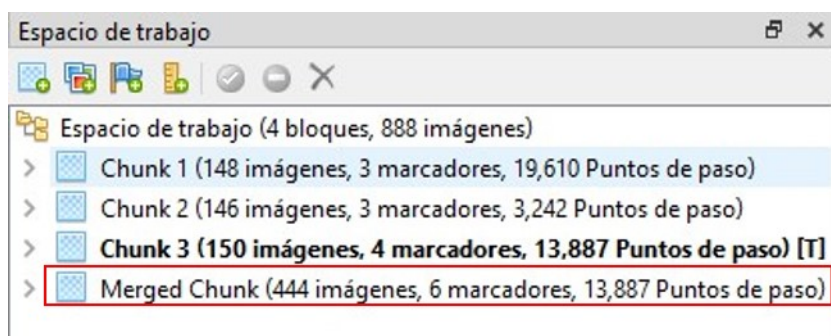


Figura 15: Espacio de trabajo con todos los bloques creados.

- a) **Orientación de fotos del Bloque Fusionado (*Merged Chunk*):** Desde el icono del nuevo bloque fusionado, hay que volver a orientar los fotogramas (ver paso 3). Para ello, ir a “flujo de trabajo” y seleccionar “orientar fotos”. De esta manera, se alinearán y orientarán los fotogramas de todos los bloques juntos. Se creará un nuevo icono de puntos de paso por debajo del “*Merged chunk*”.

- b) **Creación de la nube de puntos:** de la misma manera que se realizó previamente (ver paso 5), ir a “flujo de trabajo” y seleccionar “crear nube de puntos”.
- c) **Creación de la malla (Figura 16a):** pero con algunas diferencias en las opciones a elegir, con respecto a lo realizado previamente. Ir a “flujo de trabajo” y seleccionar “Crear malla”, al abrirse la ventana (Figura 16b), ir a opciones avanzadas y elegir que la interpolación esté habilitada (por defecto). Esto nos permitirá cerrar el modelo si es que existen huecos o errores de cierre en nuestro modelo 3D. De esta manera ya tendremos creado nuestro modelo 3D utilizando los bloques en su conjunto.

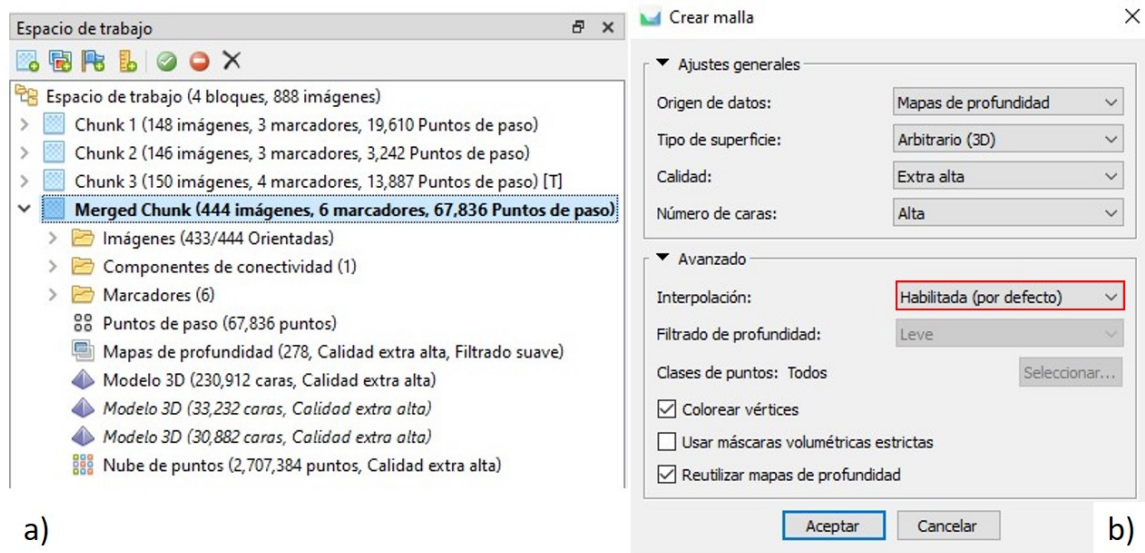


Figura 16: a) Pasos del “Bloque fusionado”; b) Parámetros de crear malla.

10. **Agregar textura (si se requiere):** Para ello ir a “flujo de trabajo” y seleccionar “crear textura” (Figura 17a). Nuevamente se abrirá una ventana con opciones (Figura 17b).

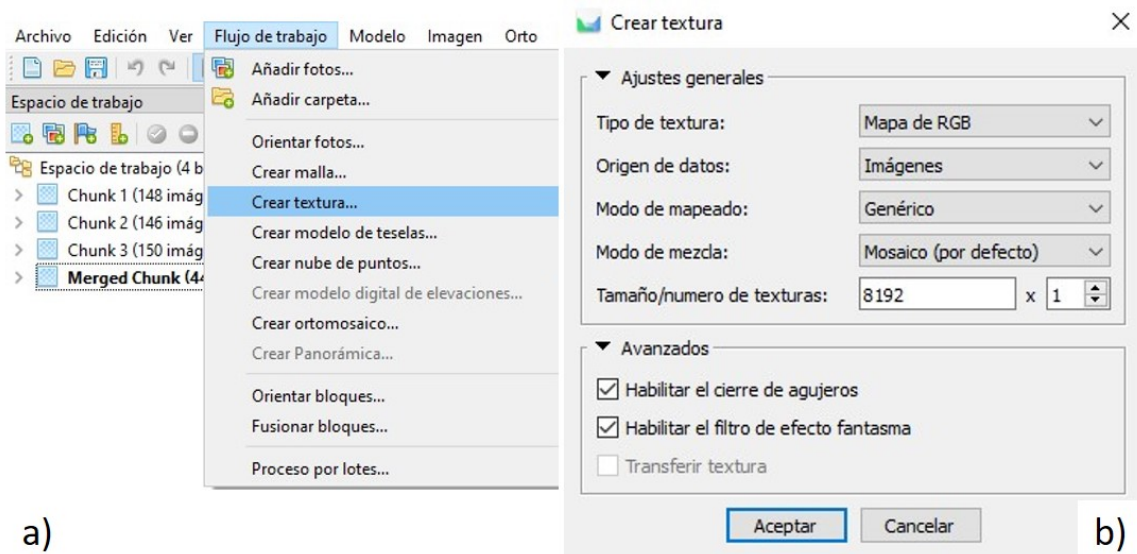


Figura 17: a) Crear textura; b) Parámetros.

Recomendación: dejar todos los ajustes generales por defecto.

Ajustes avanzados: Seleccionar ambas opciones.

- **Habilitar el cierre de agujeros:** esta función se utiliza para completar o rellenar las partes faltantes de un modelo 3D, en caso de que existan áreas donde falte información visual, resultando en huecos en el modelo. Habilitarla permite mejorar la apariencia y completitud del modelo.
 - **Habilitar el filtro de efecto fantasma:** Este efecto ayuda a eliminar o reducir la aparición de estructuras delgadas del objeto, en caso de que existan y no se hayan reconstruido completamente en el modelo.
11. **Agregar escala al modelo finalizado.** Para ello debemos agregar unos marcadores en nuestro modelo 3D. Para esto, previa a la obtención de los videos, se tomaron medidas lineales de cada vértebra, utilizando un calibre, y se midió el alto y el ancho máximo, que serán utilizados para escalar el objeto. “Agregar marcadores” desde el

panel de visualización, haciendo clic derecho sobre el modelo 3D final, y en mi caso agregue cuatro marcadores (Figura 18):

- 1) En la punta del proceso neural.
- 2) En el borde más ventral del disco (parte ventral de la vértebra).
- 3) En el borde más distal de un proceso transverso.
- 4) En el borde más distal del otro proceso transverso.

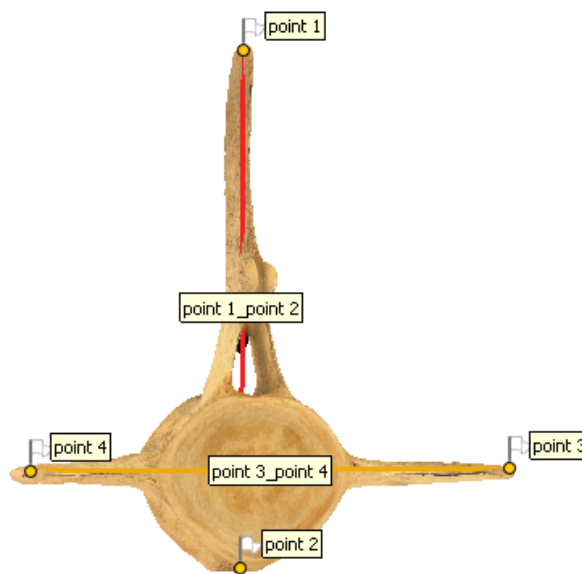


Figura 18: Marcadores para escalar modelo.

Estos marcadores pueden visualizarse en la sección izquierda en el espacio de trabajo. A continuación, crearemos la escala seleccionando dos marcadores. En este caso, el marcador 1 y el marcador 2 formarán una escala, y el marcador 3 y el marcador 4, otra (Figura 19a). Se seleccionan dichos marcadores desde el espacio de trabajo. Notar que por encima hay una serie de iconos, el cuarto corresponde a una regla. Con los dos marcadores seleccionados, hacer clic sobre el icono de la regla. Por debajo de los marcadores veremos una nueva solapa denominada “Medidas de distancias”, donde se encontrarán las escalas creadas (Figura 19b). Hasta este paso, estas escalas no tienen

valores. Para asignarles valores, iremos a la sección “Panel de Referencia” en la parte izquierda. Aquí encontraremos las escalas (Figura 20a). Seleccionar la escala deseada, hacer clic derecho y seleccionar “modificar”. Se abrirá una ventana como la que se muestra en la Figura 20b. Aquí es posible modificar la distancia como la precisión (Figura 20c y 20d). Por defecto, tanto la distancia como la precisión se encuentran en metros. Una vez que la referencia fue modificada, hacer clic en el panel de referencia, sobre el ícono de “actualizar transformación” (Figura 20e). De esta manera, el objeto será escalado.

Notar: si el objeto modelo es muy pequeño (en el orden de los cm o mm), este se va a achicar por lo que no será visible en el panel de visualización. Hacer clic derecho y seleccionar “centrar la vista en puntero”.

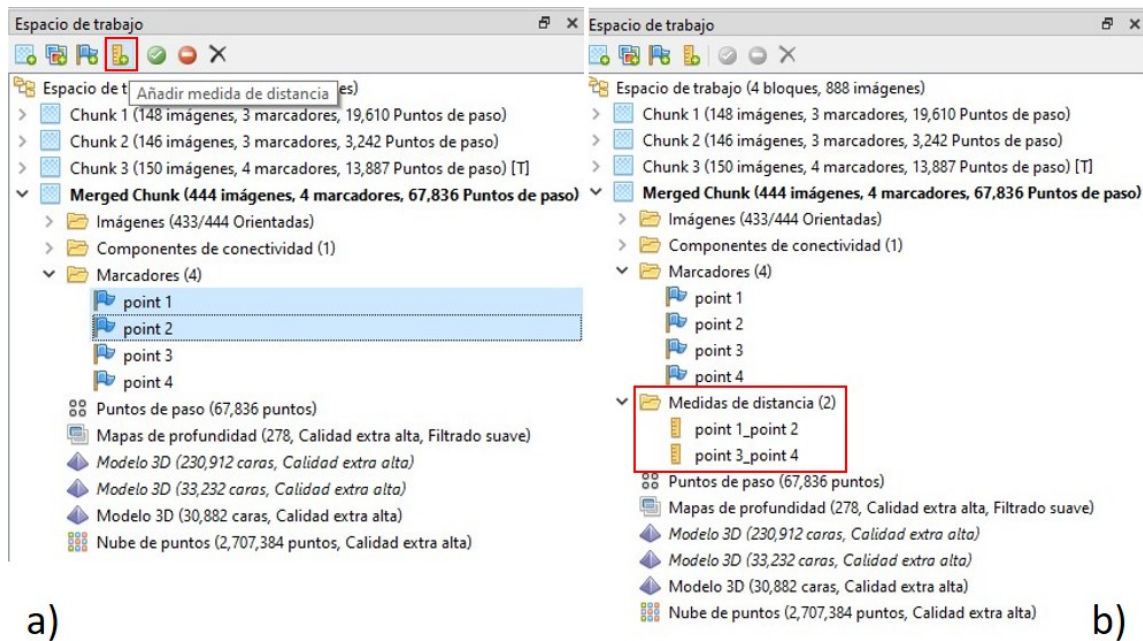


Figura 19: Agregar escala: a) Crear marcadores; b) Crear medidas de distancia.

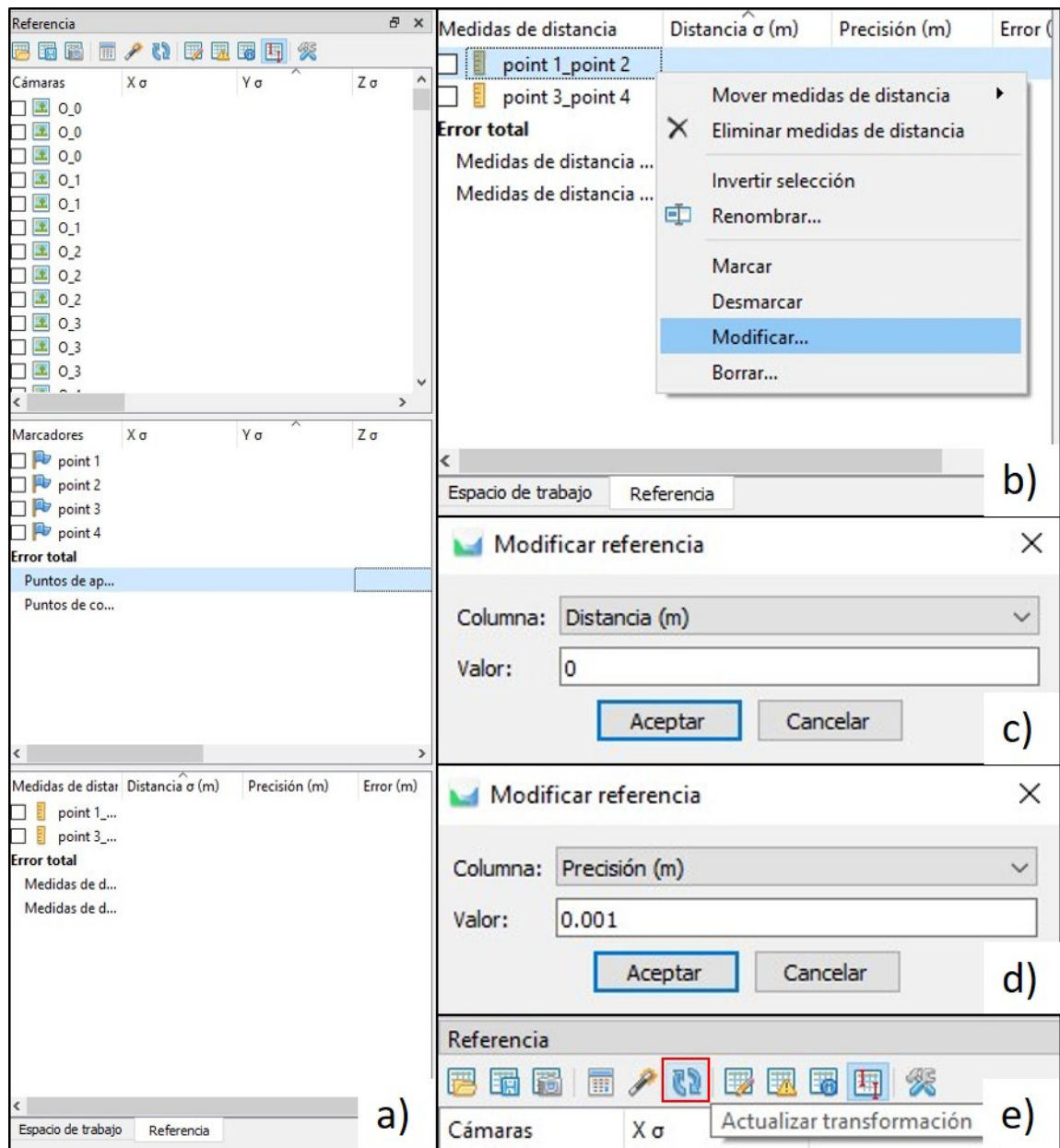


Figura 20: a) Panel de referencias; b) Modificar medidas de distancia; c) Modificar la distancia; d) Modificar la precisión; e) Actualizar transformación.

Para exportar el modelo, ir a “Archivo”, seleccionar “exportar”, y luego “exportar modelo”. Se abrirá una ventana del equipo donde se quiera guardar el modelo exportado (Figura 21). Muchos programas utilizan la extensión “.obj” o “.ply” para trabajar con los modelos. Por un lado, los archivos .obj tienen un soporte limitado para las texturas y contienen más información, mientras que los .ply no tienen especificación para la textura, pero pueden almacenar datos adicionales de manera más flexible y

compacta. Existen otras opciones que no detallaré en este protocolo. Dejar todas las opciones por defecto.

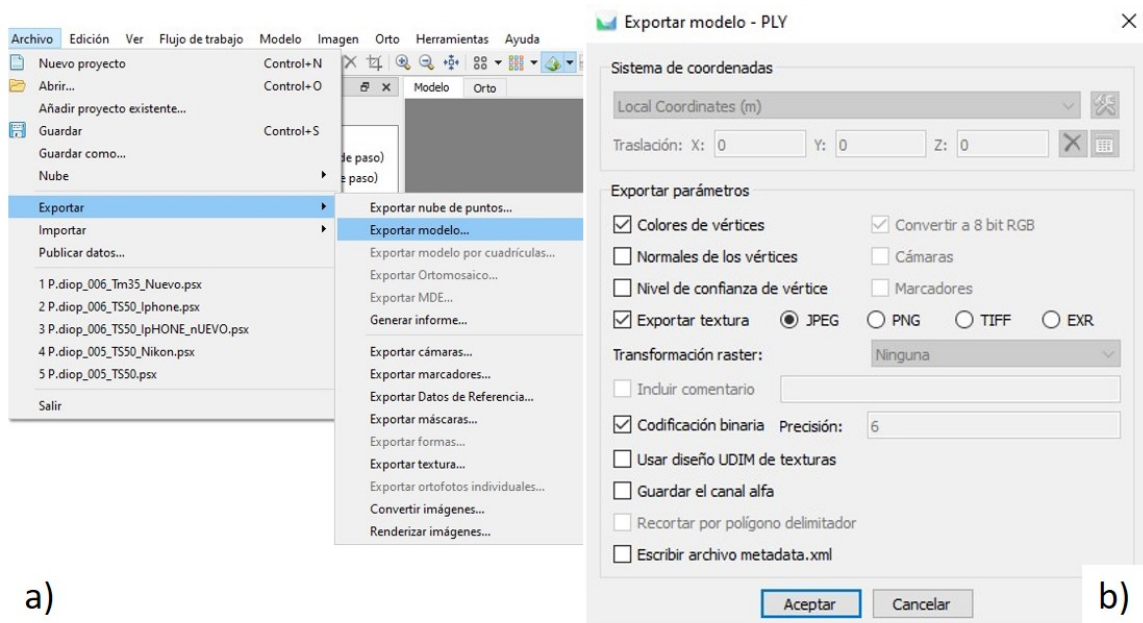


Figura 21: a) Exportar modelo; b) Parámetros.

Conjunto de pasos

1. Crear bloques: el número dependerá de la complejidad del objeto y las vistas capturadas del mismo.

Bloque 1:

2. Importar videos.
3. Orientar fotos.
4. Agregar marcadores y volver a orientar.
5. Crear nube de puntos.
6. Crear malla.
7. Crear máscara.
3. Orientar nuevamente las fotos en una calidad mayor a la primera orientación.
1. Volver a crear la nube de puntos.
2. Volver a crear la malla.

Bloque 2:

2. Importar videos.
3. Orientar fotos.
4. Agregar marcadores y volver a orientar.
5. Crear nube de puntos.
6. Crear malla.
7. Crear la máscara.
3. Orientar nuevamente las fotos en una calidad mayor a la primera orientación.
5. Volver a crear la nube de puntos.
6. Volver a crear la malla.

Bloque 3:

2. Importar videos.
3. Orientar fotos.
4. Agregar marcadores y volver a orientar.
5. Crear nube de puntos.
6. Crear malla.
7. Crear máscara.
3. Orientar nuevamente las fotos en una calidad mayor a la primera orientación.
5. Volver a crear la nube de puntos.
6. Volver a crear la malla.

Hasta aquí tendremos los bloques creados con dos iteraciones en cada uno. Por lo tanto, tendremos tres modelos 3D, uno por cada bloque. Estos modelos deberán unirse, para ello seguiremos con los siguientes pasos.

8. Orientar bloques (sin modificaciones visibles).
9. Fusionar bloques (fusionar modelos y marcadores, si fueron agregados previamente).

Merged chunk → corresponde al nombre que le asigna el programa a la fusión de los bloques.

3. Orientar fotos.
5. Crear nube de puntos.
6. Crear malla (interpolación habilitada).
10. Crear textura.
11. Crear escala.

Nota: *La primera iteración (pasos 2-6) se puede hacer en calidad media o alta, para hacerla en menos tiempo. Para luego, la segunda iteración (pasos 3, 5 y 6) hacerla en máxima calidad, y de esta manera, conseguir los mejores resultados posibles. Tener en cuenta que, a mayor precisión, mayor tiempo de procesamiento, sin embargo, el modelo 3D tendrá mayor calidad.*

Conclusión

Siguiendo este protocolo, es posible obtener modelos 3D de alta calidad de manera rápida y sencilla. Sin embargo, es importante tener en cuenta ciertos factores. La complejidad del objeto y la forma en que se obtengan los videos influirán directamente en la calidad del modelo 3D obtenido. Además, los tiempos de procesamiento se verán afectados por el rendimiento del procesador de la computadora utilizada.

Actualmente se está evaluando la fidelidad de la técnica mediante morfometría geométrica, comparando los modelos creados con un escáner de superficie Go!Scan® (con una resolución y precisión máxima de 0,1 mm) y aquellos generados mediante videogrametría, utilizando este protocolo y dispositivos asequibles. De esta manera, los modelos obtenidos con videogrametría podrían considerarse réplicas fieles del objeto, con sus medidas reales.

La relevancia de este proyecto para colecciones de museos e instituciones educativas podría ser enorme, ya que estos modelos no solo podrán ser utilizados en ámbitos educativos y en actividades de comunicación científica, sino también en estudios ecomorfológicos y anatómicos.

Este protocolo metodológico es parte de una tesina de grado, siendo de gran importancia para aquellos laboratorios que no cuentan con dispositivos tan costosos e inaccesibles como escáneres, y que requieren modelos tridimensionales para sus

investigaciones o simplemente para crear piezas digitales y fomentar el intercambio con colegas de otros lugares. Por ello, este trabajo estará disponible públicamente para su libre utilización. Es fundamental fomentar una mayor vinculación entre instituciones y resaltar la importancia de la comunicación científica. En este sentido, la disponibilidad de modelos 3D sean más accesibles que puedan ser utilizados en diversas actividades educativas y de investigación es de vital importancia.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Agisoft LLC por proporcionar gratuitamente la licencia profesional del software. Martina Zaffino quiere expresar su gratitud a la Iniciativa Pampa Azul (<https://www.pampazul.gob.ar>) por la beca parcial otorgada a su proyecto de tesis, del cual se desprende el presente protocolo. Este trabajo fue financiado parcialmente por el Ministerio de Ciencia y Tecnología de la República Argentina mediante el PICT 2019-2160.

Referencias

- Agisoft LLC (2021) Agisoft Metashape User's Manual *Professional* (versión 2.0.1 build 16069). Available online at <https://www.agisoft.com/downloads/user-manuals/>.
- Bastir, M., García-Martínez, D., Torres-Tamayo, N., Palancar, C., Fernández-Pérez, F. J., Riesco-López, A., y López-Gallo, P. (2019). Workflows in a Virtual Morphology Lab: 3D scanning, measuring, and printing. *Journal of Anthropological Sciences*, 97: 107–134.
- Falkingham, P. L. (2012). Acquisition of high-resolution three-dimensional models using free, open-source, photogrammetric software. *Palaeontología electronica*, 15(1): 15.
- Medina, J. J., Maley, J. M., Sannapareddy, S., Medina, N. N., Gilman, C. M., y McCormack, J. E. (2020). A rapid and cost-effective pipeline for digitization of museum specimens with 3D photogrammetry. *PLoS One*, 15(8), e0236417.
- Muñoz-Muñoz, F., Quinto-Sánchez, M., y González-José, R. (2016). Photogrammetry: A useful tool for three-dimensional morphometric analysis of small mammals. *Journal of Zoological Systematics and Evolutionary Research*, 54: 318–325.

Este preprint fue presentado bajo las siguientes condiciones:

- Los autores declaran que son conscientes de que son los únicos responsables del contenido del preprint y que el depósito en SciELO Preprints no significa ningún compromiso por parte de SciELO, excepto su preservación y difusión.
- Los autores declaran que se obtuvieron los términos necesarios del consentimiento libre e informado de los participantes o pacientes en la investigación y se describen en el manuscrito, cuando corresponde.
- Los autores declaran que la preparación del manuscrito siguió las normas éticas de comunicación científica.
- Los autores declaran que los datos, las aplicaciones y otros contenidos subyacentes al manuscrito están referenciados.
- El manuscrito depositado está en formato PDF.
- Los autores declaran que la investigación que dio origen al manuscrito siguió buenas prácticas éticas y que las aprobaciones necesarias de los comités de ética de investigación, cuando corresponda, se describen en el manuscrito.
- Los autores declaran que una vez que un manuscrito es postado en el servidor SciELO Preprints, sólo puede ser retirado mediante solicitud a la Secretaría Editorial deSciELO Preprints, que publicará un aviso de retracción en su lugar.
- Los autores aceptan que el manuscrito aprobado esté disponible bajo licencia [Creative Commons CC-BY](#).
- El autor que presenta el manuscrito declara que las contribuciones de todos los autores y la declaración de conflicto de intereses se incluyen explícitamente y en secciones específicas del manuscrito.
- Los autores declaran que el manuscrito no fue depositado y/o previamente puesto a disposición en otro servidor de preprints o publicado en una revista.
- Si el manuscrito está siendo evaluado o siendo preparando para su publicación pero aún no ha sido publicado por una revista, los autores declaran que han recibido autorización de la revista para hacer este depósito.
- El autor que envía el manuscrito declara que todos los autores del mismo están de acuerdo con el envío a SciELO Preprints.