

Modelado 3D de una estructura ósea escaneada con un sensor RGB-D

Ana Valeria Zumaya-García

Centro de Investigaciones en Óptica,
Guanajuato
México

anavaleria@cio.mx

Resumen. En este artículo, se presenta una metodología para generar el modelo 3D de una estructura ósea a partir de la nube de puntos obtenida mediante el escaneo 3D utilizando un sensor de profundidad (RGB-D), específicamente el sensor Kinect V2.0. Se aplicaron tres métodos de modelado 3D: Greedy, Poisson y Grid Projection, permitiendo una visualización tridimensional de las dimensiones reales de la estructura ósea. Se comprobó que el método Greedy posee las dimensiones más cercanas a la estructura ósea real, debido a que los métodos Poisson y Grid Projection presentaron mayores variaciones de acuerdo con las dimensiones reales de la estructura ósea.

Palabras clave: Kinect V2.0, modelo 3D, estructura ósea, escaneo, nube de puntos.

3D Modeling of a Bone Structure Scanned with an RGB-D Sensor

Abstract. This article presents a methodology for generating the 3D model of a bone structure from the point cloud obtained through 3D scanning using a depth sensor (RGB-D), specifically the Kinect V2.0 sensor. Three 3D modeling methods were applied: Greedy, Poisson, and Grid Projection, allowing a three-dimensional visualization of the actual dimensions of the bone structure. It was found that the Greedy method has the closer dimensions of the actual bone structure. In contrast, the Poisson and Grid Projection methods showed more significant variations according to the actual dimensions of the bone structure.

Keywords: Kinect V2.0, 3D model, bone structure, scanning, point cloud.

1. Introducción

En el contexto actual, donde la tecnología y la inteligencia artificial (IA) están transformando múltiples sectores, el diseño asistido por computadora (CAD) está experimentando un cambio significativo. Los modelos de objetos, utilizados en campos como la arquitectura, medicina, industria, educación y artes, están evolucionando gracias a la integración de métodos de IA [11].

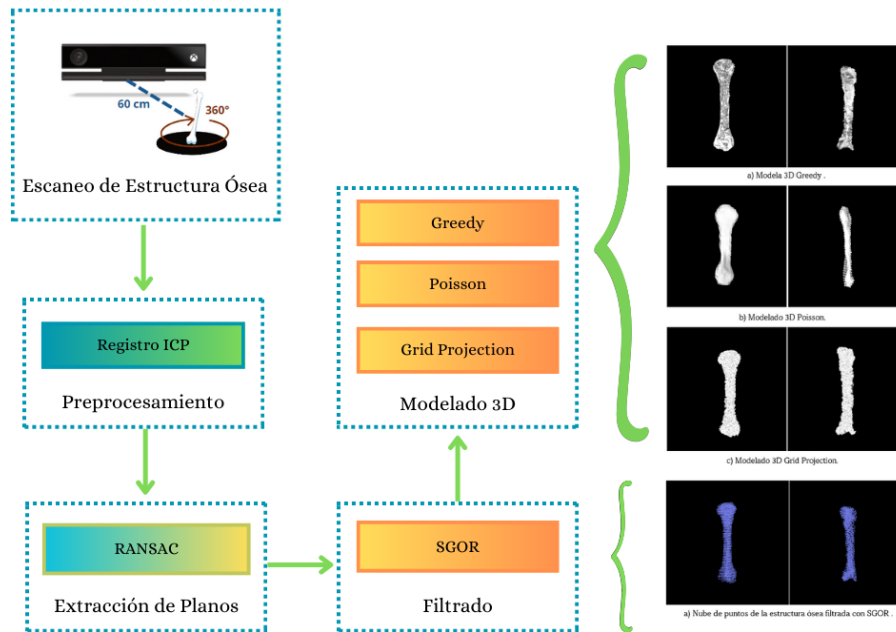


Fig. 1. Diagrama que ilustra las cinco etapas de la metodología propuesta para obtener un modelo 3D a partir de una estructura ósea escaneada con el sensor Kinect V2.0, utilizando tres métodos de modelado 3D: Greedy, Poisson y Grid Projection. Las etapas son: escaneo, captura de la estructura ósea desde múltiples ángulos; registro, alineación de las capturas parciales para formar una vista global coherente de la estructura ósea real; extracción de planos, identificación y eliminación de valores atípicos en la nube de puntos de la estructura ósea; filtrado, limpieza de la nube de puntos para mejorar la precisión; modelado 3D, aplicación de tres métodos de modelado para crear modelos tridimensionales: Greedy, Poisson y Grid Projection.

Este artículo se enfoca en comparar modelos digitales tridimensionales de una estructura ósea real, preservando sus dimensiones reales para permitir su adaptación, modificación y reconstrucción. Para lograr este objetivo, se aplicaron técnicas de reconocimiento de patrones, garantizando una mayor precisión y propiedades mejoradas. La digitalización simplificada reducirá los tiempos y costos asociados al diseño. Es fundamental que los métodos utilizados sean escalables, permitiendo modelar no solo estructuras óseas generales, sino también objetos específicos. En esta etapa inicial, se busca mejorar y validar los métodos aplicados.

La sinergia entre el reconocimiento de patrones y la inteligencia artificial promete revolucionar la manera en que creamos y transformamos nuestro entorno construido. En este sentido, el escaneo de la estructura ósea se realizará con el sensor Kinect V2.0; generando una nube de puntos, junto con el método de filtrado SGOR y los métodos de modelados 3D: Greedy, Poisson y Grid Projection, basados en el estado del arte, como se ha demostrado en los artículos de los autores Kang [4], Juszczuk [3] y Enguo [1]. Se destaca el método de filtrado SGOR [6] y los métodos de modelado Greedy [5], Poisson [2] y Grid Projection [13], que proporcionan una base sólida para el desarrollo de nuestra metodología.

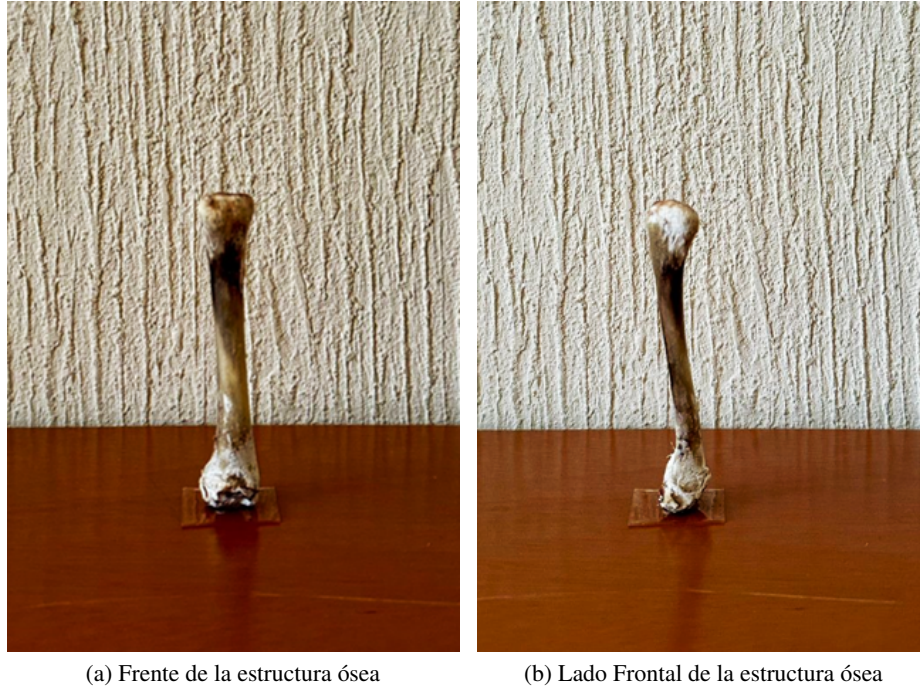


Fig. 2. Estructura Ósea Real; en (a) se observa la estructura ósea con sus dimensiones de frente, mientras que en (b) se muestra la estructura ósea con sus dimensiones del lado frontal. Esta estructura ósea fue seleccionada con el fin de analizar sus dimensiones físicas en las diferentes etapas de la metodología propuesta.

Este artículo, se centra en los trabajos realizados por Syed [12] y Mahmood [9], presentan métodos de modelado similares a los que se proponen, permitiendo evaluar la eficacia y las ventajas de nuestra metodología en términos de precisión y fidelidad en la representación de la estructura ósea digital. La principal contribución de este artículo es identificar el mejor modelo tridimensional de los diferentes métodos de modelado 3D: Greedy, Poisson y Grid Projection. Para esto fue necesario implementar y optimizar los algoritmos que se describen en la sección 2. El escrito se divide en cuatro secciones metodológica 2, resultados 3, conclusiones 4 y trabajo a futuro 5.

2. Metodología

El planteamiento del problema esta enfocado en obtener un modelo 3D a partir de una estructura ósea escaneada con el sensor Kinect V2.0, utilizando tres métodos de modelado 3D: Greedy, Poisson y Grid Projection. La metodología propuesta en este artículo, se divide en cinco etapas principales: escaneo, registro, extracción de planos, filtrado y modelado 3D. En la primera etapa, se escanea la estructura ósea desde múltiples ángulos utilizando una platina giratoria para obtener una visión completa de 360° de la estructura ósea, lo que agiliza la adquisición de datos y reduce la necesidad de mano de obra especializada.

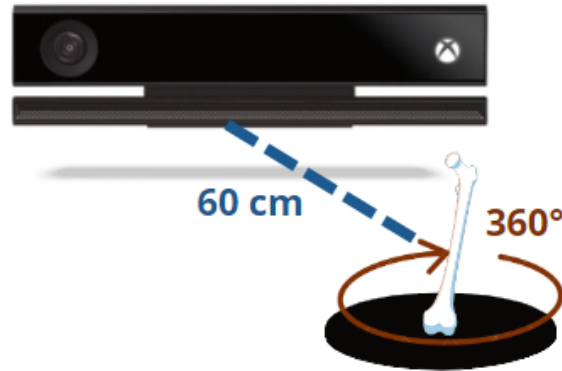


Fig. 3. Entorno de escaneo para la adquisición de la estructura ósea.

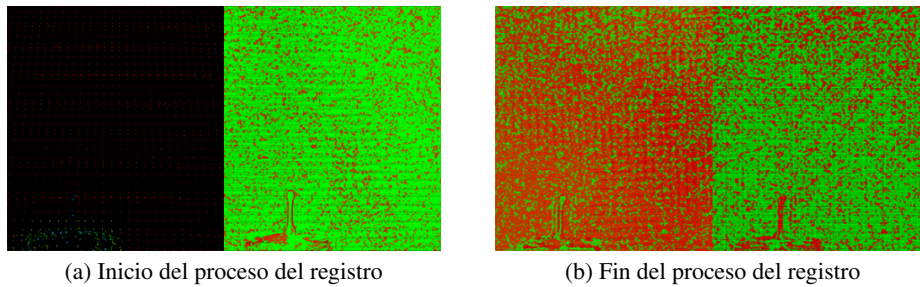


Fig. 4. Proceso de registro de los 16 escaneos en intervalos de 22.5° de las nubes de puntos de la estructura ósea, para obtener una sola nube de puntos de la estructura ósea en conjunto de todas sus vistas.

En la segunda etapa, se utiliza la técnica de registro punto más cercano iterativo (ICP, por sus siglas en inglés) [8], para alinear y fusionar las múltiples capturas parciales en una vista global coherente de la estructura ósea. Posteriormente, en la tercera etapa, se emplea el método de consenso de muestra aleatoria (RANSAC, por sus siglas en inglés) [7], para identificar y eliminar valores atípicos, mejorando así la eficiencia de las siguientes etapas. En la cuarta etapa, se aplica el filtro de eliminación estadística bruta de valores atípicos (SGOR, por sus siglas en inglés) para limpiar la nube de puntos de la estructura ósea de datos no deseados o ruidosos, asegurando la precisión del modelado 3D.

Finalmente, en la quinta etapa, se utilizan tres métodos de modelado 3D: Greedy, Poisson y Grid Projection. Greedy opera de manera iterativa para construir una malla 3D eficiente, mientras que Poisson utiliza campos de gradientes para una reconstrucción suave y precisa. Por otro lado, Grid Projection divide el espacio en una cuadrícula tridimensional para generar triángulos que representan la superficie de la estructura ósea, siendo una opción robusta para datos de baja resolución. Estos métodos ofrecen diferentes enfoques para crear modelos 3D cercanos a las dimensiones de la estructura ósea escaneada. La Fig. 1 proporciona una guía visual para comprender la metodología propuesta.

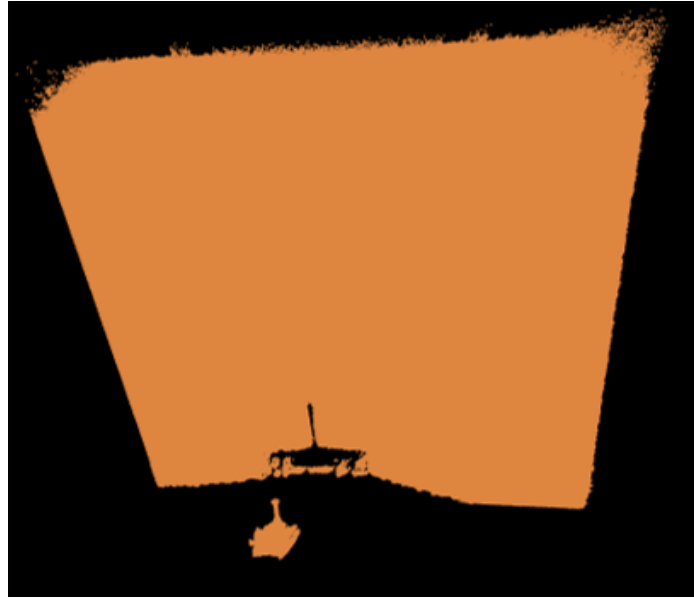


Fig. 5. Nube de puntos final de la estructura ósea obtenida en la etapa de registro ICP se alinea con los 16 escaneos en intervalos de 22.5° , mostrando una sola nube de puntos que engloba a los múltiples escaneo.

3. Resultados

En esta sección, se presentan los resultados obtenidos después de aplicar las técnicas y los métodos descritos en la metodología de la sección 2. Se muestran las imágenes del registro, la extracción de planos y el resultado del filtrado. Finalmente, se muestran los resultados obtenidos de los tres métodos de modelado 3D: Greedy, Poisson y Grid Projection.

3.1. Escaneo de estructura ósea

Para el escaneo se utilizó una estructura ósea correspondiente al fémur de un pollo; en la Fig. 2 se muestran las dimensiones de la estructura ósea real. En la Fig. 2a se observa la estructura ósea con sus dimensiones de frente, mientras que en la Fig. 2b se muestra la estructura ósea con sus dimensiones del lado frontal. Esta estructura ósea fue seleccionada con el fin de analizar sus dimensiones físicas en las diferentes etapas de la metodología. Posteriormente se utilizó el sensor Kinect V2.0 en conjunto con la platina giratoria. El sensor Kinect V2.0 captura 16 vistas en intervalos de 22.5° para obtener la información completa de los 360° de la estructura ósea. Esta información se presenta en forma de nubes de puntos, cada una correspondiente a una de las 16 vistas capturadas con el sensor Kinect V2.0. La platina giratoria está equipada con un motor a pasos para controlar sus movimientos, lo que permite obtener información de los 360° de la estructura ósea y facilita la adquisición de múltiples vistas parciales.

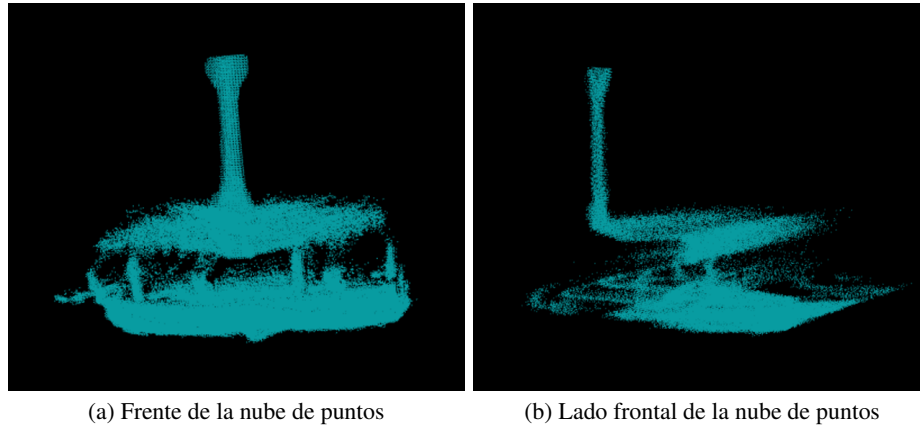


Fig. 6. Resultado de la extracción centrándose principalmente en el plano pared de la nube de puntos de la Fig. 5. En a), se observa la estructura ósea con el plano extraído de frente, mientras que en b), se muestra la estructura ósea con el plano extraído del lado frontal.

Para llevar a cabo el escaneo, la estructura ósea se coloca sobre la platina giratoria, cuyo centro se encuentra a 60 centímetros del sensor Kinect V2.0, como se muestra en la Fig. 3. Este parámetro permite obtener la mayor cantidad de dimensiones de la estructura ósea, así como disminuir el ruido durante el escaneo. El proceso de escaneo se analizó de esta manera para garantizar la obtención de escaneos completos y detallados de la estructura ósea, lo que es fundamental para su posterior análisis y pre-procesamiento.

3.2. Registro

Una vez que se han escaneado los 360° de la estructura ósea, se aplica la técnica de registro. Para ello, se configuró la librería de nubes de puntos (PCL, por sus siglas en inglés) [10], y se implementó la técnica ICP. El proceso consiste en combinar los diferentes ángulos de visión de los escaneos obtenidos en la etapa anterior, superponiendo las dimensiones correspondientes de las distintas nubes de puntos.

El proceso de registro se puede observar en la Fig. 4; esto permite visualizar todas las nubes de puntos como un conjunto global que posee el modelo con todas sus vistas. En la Fig. 4a se muestra el inicio del proceso de registro de la estructura ósea, donde del lado derecho se aprecian las nubes de puntos obtenidas desde diferentes ángulos de escaneo, mientras que del lado izquierdo se muestra una representación visual del proceso de registro.

Este último puede incluir líneas de conexión entre puntos coincidentes en las diferentes vistas, que van desapareciendo a medida que avanza el proceso. Por otro lado, la Fig. 4b ilustra el fin del proceso de registro de la estructura ósea, donde del lado derecho se observa la fusión completa de todas las nubes de puntos en una sola representación tridimensional, mientras que del lado izquierdo se pueden mostrar métricas de calidad del registro, como la cantidad de puntos coincidentes o la distancia entre las nubes de puntos registradas.

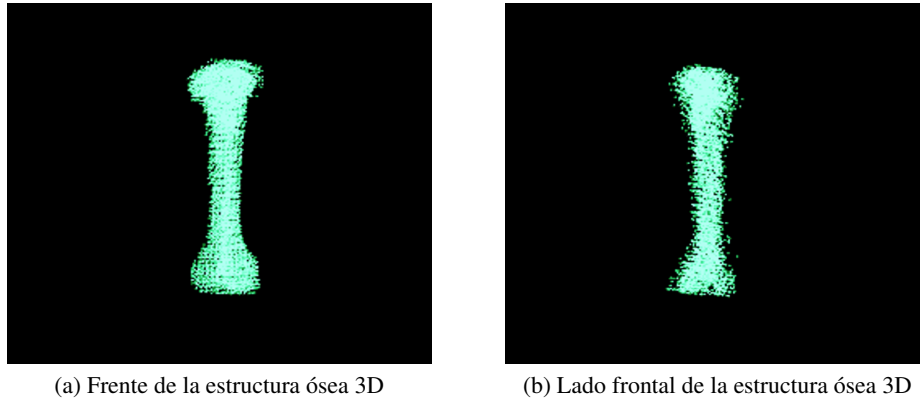


Fig. 7. Resultado de la extracción del plano centrándose principalmente en la platina giratoria de la nube de puntos de la Fig. 6. En a), se observa la estructura ósea 3D con sus dimensiones de frente luego de extraer la platina, mientras que en b), se muestra la estructura ósea con sus dimensiones del lado frontal después de extraer la platina.

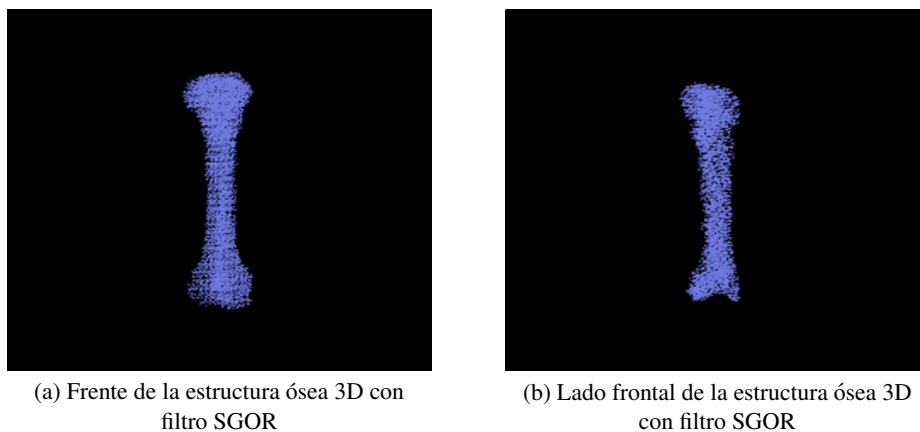


Fig. 8. Resultado al aplicar el filtro SGOR en la Fig. 7. En a), se observa la estructura ósea 3D con sus dimensiones de frente luego de aplicar el filtro SGOR, mientras que en b), se muestra la estructura ósea con sus dimensiones del lado frontal después de aplicar el filtro SGOR.

Como resultado del proceso de registro de las nubes de puntos, se obtiene una sola nube de puntos que representa la forma y geometría de la estructura ósea; en la Fig. 5 se muestra el resultado final del registro, donde se puede apreciar la estructura ósea completa y alineada en una sola nube de puntos.

3.3. Extracción de planos

Después de obtener el registro de las nubes de puntos de la estructura ósea, es necesario extraer o eliminar la información irrelevante. Se utilizó el método RANSAC para identificar y extraer la información irrelevante generada durante los escaneos, con el fin de extraer el plano y la platina giratoria de la Fig. 5.

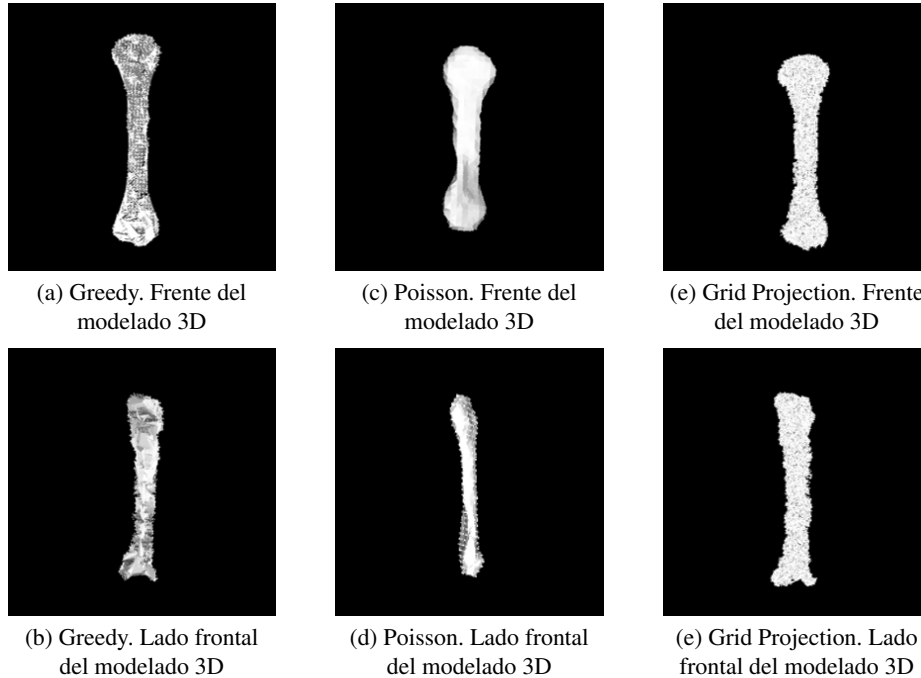


Fig. 9. Resultado cualitativo al aplicar los tres métodos de modelado 3D: Greedy, Poisson y grid projection. En a) y b), se muestra el resultado del modelado 3D de la estructura ósea con Greedy. En c) y d) se observa el resultado de la técnica de Poisson. Finalmente, en e) y f) se muestra el resultado de la técnica de grid projection.

En la Fig. 6 se observa el resultado de extracción de un plano, centrándose principalmente en el plano de la pared; en la Fig. 6a, se observa la estructura ósea con el plano extraído de frente, mientras que en la Fig. 6b, se muestra la estructura ósea con el plano extraído del lado frontal. Una vez extraído el plano, el método identificó los puntos que mejor se ajustan al plano de la platina, excluyendo aquellos que no forman parte de esta estructura ósea. Esto garantiza que se conserven únicamente los puntos relevantes para el análisis y la reconstrucción de la estructura ósea, evitando la inclusión de ruido o puntos que no forman parte de la superficie de interés. Finalmente en la Fig. 7 se observa la estructura ósea 3D, después de extraer la platina giratoria; en la Fig. 7a, se observa la estructura ósea 3D con sus dimensiones de frente luego de extraer la platina, mientras que en la Fig. 7b, se muestra la estructura ósea con sus dimensiones del lado frontal después de extraer la platina.

3.4. Filtrado

En esta etapa, se busca eliminar los datos atípicos de la estructura ósea 3D. Se empleó el filtro estadístico SGOR para determinar los puntos que debían ser eliminados; este tipo de filtro es especialmente útil, ya que los dispositivos que capturan este tipo de estructuras tienden a generar nubes de puntos muy ruidosas que dificultan la distinción de ciertas dimensiones del modelo.

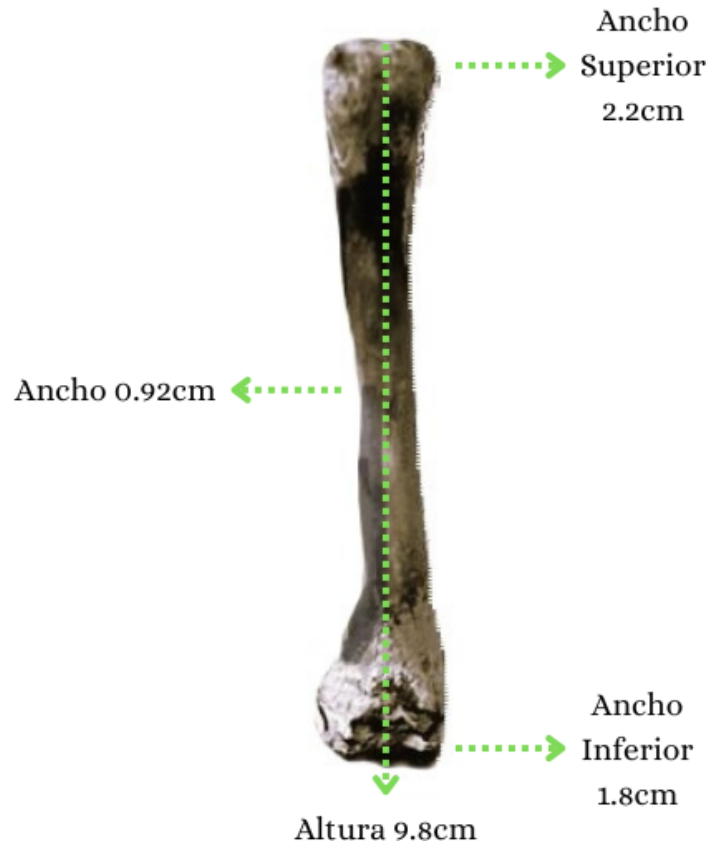


Fig. 10. Dimensiones reales de la estructura ósea.

Para verificar la efectividad del método, se utilizó la nube de puntos de la estructura ósea 3D mostrada en la Fig. 7. En la Fig. 8, se muestra el resultado obtenido al aplicar el filtro SGOR sobre la nube de puntos de la estructura ósea 3D de la Fig. 7. En esta imagen, se pueden apreciar con mayor claridad las dimensiones de la estructura ósea real, como se muestra en la Fig. 2. Se observa la notable eliminación de puntos atípicos y ruido presentes en la nube de puntos, generados por el sensor Kinect V2.0.

3.5. Modelado 3D

El proceso de mallado o modelado de la nube de puntos desempeña un papel crucial al permitir la reproducción digital de las dimensiones de la estructura ósea escaneada. En esta etapa, se presentan los resultados obtenidos de la aplicación de los métodos de modelado 3D: Greedy, Poisson y Grid Projection. Cada uno de estos métodos emplea enfoques distintos para generar superficies tridimensionales a partir de la nube de puntos filtrada de la estructura ósea. Los resultados de estos métodos proporcionan una representación visual de las dimensiones precisas de la estructura ósea escaneada, lo que facilita su análisis y visualización en entornos digitales.

Tabla 1. Análisis de las medidas utilizando el software MeshLab, con el fin de evaluar la eficacia de los tres métodos de modelado 3D: Greedy, Poisson y grid projection.

| Dimensiones de la estructura ósea | Medidas reales de la estructura ósea | Medidas del modelado 3D Greedy | Medidas del modelado 3D Poisson | Medidas del modelado 3D grid |
|-----------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|------------------------------|
| Altura | 9.8 cm | 9.6 cm | 10 cm | 9.4 cm |
| Ancho | 0.92 cm | 0.9 cm | 1.3 cm | 0.95 cm |
| Ancho Superior | 2.2 cm | 2.2 cm | 2.8 cm | 2.3 cm |
| Ancho Inferior | 1.8 cm | 2.0 cm | 2.5 cm | 2.2 cm |

Tabla 2. Errores Absolutos para los métodos de modelado 3D: Greedy, Poisson y grid projection.

| Dimensiones de la estructura ósea | Error absoluto modelado 3D Greedy | Error absoluto modelado 3D Poisson | Error absoluto modelado 3D grid |
|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| Altura | 0.2 cm | 0.2 cm | 0.4 cm |
| Ancho | 0.02 cm | 0.38 cm | 0.03 cm |
| Ancho Superior | 0 cm | 0.6 cm | 0.1 cm |
| Ancho Inferior | 0.2 cm | 0.7 cm | 0.4 cm |

En la Fig. 2 se presenta la imagen de la estructura ósea real, la cual fue seleccionada con el propósito de analizar sus dimensiones físicas, como se mencionó en la sección 3.1. Posteriormente, en la Fig. 9, se muestran los resultados cualitativos del modelado 3D de la estructura ósea tras aplicar los métodos de Greedy, Poisson y Grid Projection. En la Fig. 9a y 9b se puede apreciar el resultado del modelado 3D de la estructura ósea utilizando el método Greedy. En este caso, la superficie original se conserva, permitiendo una modelación adecuada de la forma compleja de la estructura ósea en 3D. En la Fig. 9c y 9d se observa el resultado del método Poisson.

Aunque esta técnica puede producir un modelo suave, tiende a perder información de la superficie original debido a la simplificación excesiva de los detalles. Finalmente, en la Fig. 9e y 9f se muestra el resultado del método Grid Projection. Esta técnica permite obtener la superficie original de manera efectiva, brindando una representación visual detallada de la estructura ósea en 3D. Posteriormente, se realizó un análisis utilizando el software MeshLab para evaluar la eficacia de los tres métodos de modelado 3D: Greedy, Poisson y Grid Projection. Se enfocó en comparar las dimensiones reales de la estructura ósea escaneada, centrándose en su altura y ancho incluyendo las medidas superior e inferior.

La Fig. 10 muestra las dimensiones reales de la estructura ósea. Los resultados de la Tabla 1 indican diferencias significativas en las medidas obtenidas mediante los tres métodos de modelado 3D: Greedy, Poisson y Grid Projection. En el análisis, se destaca que el método Greedy puede ofrecer una mayor aproximación en relación con las dimensiones reales de la estructura ósea. Para confirmar esta observación, se llevó a cabo un análisis cuantitativo que incluyó el cálculo del error absoluto (EA) y relativo (ER); estos errores se calcularon utilizando las ecuaciones 1 y 2.

Tabla 3. Errores relativos para los métodos de modelado 3D: Greedy, Poisson y grid projection.

| Dimensiones de la estructura ósea | Error relativo modelado 3D Greedy | Error relativo modelado 3D Poisson | Error relativo modelado 3D Grid |
|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| Altura | 2.04 % | 2.04 % | 4.08 % |
| Ancho | 2.17 % | 41.30 % | 3.26 % |
| Ancho Superior | 0 % | 27.27 % | 4.54 % |
| Ancho Inferior | 11.11 % | 38.88 % | 22.22 % |

El error absoluto proporcionó una medida directa de la variación entre las medidas obtenidas y las dimensiones reales, mientras que el error relativo permitió comparar la aproximación de los métodos independientemente de la escala de las dimensiones:

$$EA = |V_{\text{real}} - V_{\text{med}}|, \quad (1)$$

$$ER(\%) = \left\| \frac{EA}{V_{\text{real}}} \right\| \times 100, \quad (2)$$

donde:

- V_{real} , es la medida real de las dimensiones de la estructura ósea.
- V_{med} , es la medida modelada de las dimensiones de los métodos de modelado 3D: Greedy, Poisson y Grid Projection.

Al analizar los resultados, se observa que los errores proporcionan una medida directa de la variación entre las medidas calculadas y las dimensiones reales en unidades de centímetros (ver Tabla 2). Se mostró que el método de modelado 3D Greedy tiene una menor variación en todas las dimensiones de la estructura ósea en comparación con las dimensiones reales. En la Tabla 3 los errores relativos expresan la variación porcentual entre las medidas calculadas y las dimensiones reales, proporcionando una comparación de la aproximación relativa de cada método de modelado 3D. Estos resultados comprobaron que el método Greedy proporciona una representación más aproximada de las dimensiones reales de la estructura ósea escaneada en comparación con los métodos Poisson y Grid Projection, además de tener un procesamiento más rápido.

4. Conclusiones

Se llevó a cabo un estudio de optimización de los métodos de modelado de datos 3D obtenidos a partir de la estructura ósea escaneada utilizando el sensor Kinect V2.0; este estudio ha demostrado que el sensor Kinect V2.0 proporciona buena calidad de información durante el escaneo de la estructura ósea, que junto con las técnicas de pre-procesamiento de datos propuestas, permite obtener modelos 3D precisos y detallados. Se logró obtener los resultados esperados de la técnica de registro ICP y de la extracción de planos con RANSAC en la nube de puntos de la estructura ósea.

Además, la técnica de filtrado SGOR demostró ser altamente efectiva, proporcionando una mejora significativa en la calidad de la estructura ósea 3D; por la eliminación de los puntos atípicos y el ruido presente en la nube de puntos, derivado del escaneo con el sensor Kinect V2.0. Se observó que el proceso de eliminación de datos atípicos puede repetirse varias veces para lograr un mejor filtrado, optimizando así los datos obtenidos por el sensor Kinect V2.0. Durante la etapa de modelado, se aplicaron los métodos Greedy, Poisson y Grid Projection. Los resultados obtenidos se compararon según las dimensiones de la estructura ósea real. Se observó que Greedy sobresale por su capacidad para preservar detalles finos y la geometría original de la superficie, especialmente en estructuras complejas. Aunque Grid Projection puede ser más eficiente computacionalmente y adecuado para superficies más simples, Greedy ofrece una mejor fidelidad en la reproducción de la forma original, lo que lo convierte en la elección adecuada cuando se prioriza la precisión y el detalle del modelado tridimensional.

5. Trabajo a futuro

Como trabajo a futuro, se realizarán pruebas adicionales utilizando el método de modelado 3D Greedy en la impresión 3D. Se contemplará una variedad de estructuras óseas y objetos de instrumentación médica. Se espera que esta metodología tenga un impacto significativo en dos áreas clave: la educación médica, al mejorar la enseñanza de anatomía, y la manufactura aditiva, al facilitar la creación de implantes personalizados y prótesis utilizando materiales biocompatibles.

Referencias

1. Enguo, W., Mengxiang, C., Chengzhi, S., Xiaochen, Z.: Research on point cloud fine registration method combined with colored grid projection. In: Proceedings of the 12th International Conference on CYBER Technology in Automation, Control, and Intelligent Systems, pp. 394–399 (2022) doi: 10.1109/cyber55403.2022.9907649
2. Hoppe, H., DeRose, T., Duchamp, T., McDonald, J., Stuetzle, W.: Surface reconstruction from unorganized points. In: Proceedings of the 19th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pp. 71–78 (1992) doi: 10.1145/133994.134011
3. Juszczak, J. M., Wijata, A., Czajkowska, J., Krecichwost, M., Rudzki, M., Biesok, M., Pycinski, B., Majewski, J., Kostecki, J., Pietka, E.: Wound 3D geometrical feature estimation using poisson reconstruction. *IEEE Access*, vol. 9, pp. 7894–7907 (2021) doi: 10.1109/access.2020.3035125
4. Kang, J., Lee, S.: A greedy pursuit approach for fitting 3D facial expression models. *IEEE Access*, vol. 8, pp. 192682–192692 (2020) doi: 10.1109/access.2020.3029065
5. PCL: Greedy projection tutorial. PCL Documentation (2021) pcl.readthedocs.io/projects/tutorials/en/latest/greedyprojection.html
6. PCL: Statistical outlier removal tutorial. PCL Documentation (2021) pcl.readthedocs.io/projects/tutorials/en/latest/statisticaloutlier.html
7. Qian, X., Ye, C.: NCC-RANSAC: A fast plane extraction method for 3-D range data segmentation. *IEEE Transactions on Cybernetics*, vol. 44, no. 12, pp. 2771–2783 (2014) doi: 10.1109/tcyb.2014.2316282

8. Qin, L., Chen, X., Gong, X.: An improved 3D reconstruction method for weak texture objects combined with calibration and ICP registration. In: IEEE 6th International Conference on Industrial Cyber-Physical Systems, vol. 31, pp. 1–5 (2023) doi: 10.1109/icps58381.2023.10128042
9. Riedle, H., Seitz, V., Schraudolf, L., Franke, J.: Generation of 3D silicone models of anatomic soft tissue structures - A comparison of direct 3D printing and molding techniques. In: IEEE-EMBS Conference on Biomedical Engineering and Sciences, vol. 37, pp. 539–543 (2018) doi: 10.1109/iecbes.2018.8626687
10. Rusu, R. B., Cousins, S.: 3D is here: Point cloud library. In: IEEE International Conference on Robotics and Automation (2011) doi: 10.1109/icra.2011.5980567
11. Sabbella, D. S., Singh, A., Maheswari G. U.: Conferencia Internacional sobre Tendencias Emergentes en Tecnología e Ingeniería de la Información. Inteligencia Artificial en Modelado CAD 3D, pp. 1–5 (2020)
12. Syed, H. H., Mahmood, M. H.: 3D human reconstruction with corresponding 3D texture model: A comparison of salient approaches. In: International Conference on Emerging Technologies in Electronics, Computing and Communication, vol. 33, pp. 1–6 (2022) doi: 10.1109/icetec56662.2022.10068940
13. Wang, W., Yan, C., Huang, Y., Wang, S.: Enhancement of viscous grid projection algorithm and application. In: 7th International Conference on Mechanical and Aerospace Engineering, vol. 38, pp. 578–581 (2016) doi: 10.1109/icmae.2016.7549606