

# Diseño guiado por computador para scaffolds de tejido óseo craneal - Resumen Ejecutivo

Deisy Valeria Ortiz Lambertino

Director: Ph.D. Carlos Alberto Narváez Tovar

Universidad Nacional de Colombia - Bogotá, Colombia - 2020

## Planteamiento del problema

La capacidad de regeneración del hueso humano es ineficaz para reparar defectos óseos segmentarios de gran tamaño [Fu et al., 2017]; los scaffolds son implantes artificiales que proporcionan un entorno tridimensional que imitan la matriz ósea natural para promover la adhesión celular, la proliferación, la suficiencia física y las propiedades mecánicas para la regeneración de nuevo tejido óseo [Qu, 2020]. A partir de los estudios existentes en animales y humanos evalúan la fabricación mediante manufactura aditiva como una solución en la regeneración ósea de la región craneofacial, donde resultaron exitosos casi todos los casos [Maroulakos et al., 2019]. La bioimpresión tridimensional emergente abre una era para la ingeniería de tejidos y las técnicas de modelado CAD altamente precisas, que garanticen los resultados estéticos de los implantes diseñados por CAD/CAM [Woon et al., 2020]. De acuerdo con la revisión bibliográfica los scaffolds craneales fabricados actualmente se diseñan con estructuras porosas basadas en patrones regulares y canales uniformes de igual tamaño.

El objetivo de este proyecto es el diseño macro y microestructural de un scaffold para la reparación de un caso de estudio real de un hombre de 33 años con defecto craneal en el hueso parietal izquierdo debido a un accidente de tránsito en Bogotá. Este diseño requiere cumplir con la geometría específica del defecto e incluir un sistema de fijación al cráneo. Para garantizar la funcionalidad del scaffold se tienen en cuenta requerimientos propios de implantes ortopédicos y los requerimientos para la unión y proliferación de las células. Además, se plantea diseñar la geometría interna del scaffold similar a la estructura del hueso craneal real, por ello se especifican requerimientos respecto a la estructura del hueso trabecular de la parte interna y el hueso cortical de la caras exteriores del cráneo.

## Metodología de diseño

La metodología propuesta para el diseño del scaffold inicia con la reconstrucción del cráneo empleando el software **3D Slicer** a partir de la tomografía computarizada axial TAC otorgada por el paciente. Este modelo se emplea como referencia para realizar el diseño macroestructural del scaffold de acuerdo con la geometría del defecto e incluyendo los soportes de fijación, proceso ejecutado en el software **Geomagic Sculpt**. Teniendo en cuenta los requerimientos estructurales y biológicos del diseño, se continua con el desarrollo del modelo microestructural para la sección interna del scaffold, empleando el software de modelado implícito **nTopology**. Finalmente, se realiza una simulación de la orientación y la creación de los soportes necesarios para la fabricación mediante manufactura aditiva en el software **Autodesk Netfabb**. El diagrama de flujo y ruta de la metodología se presentan en las figuras -1 y -2.

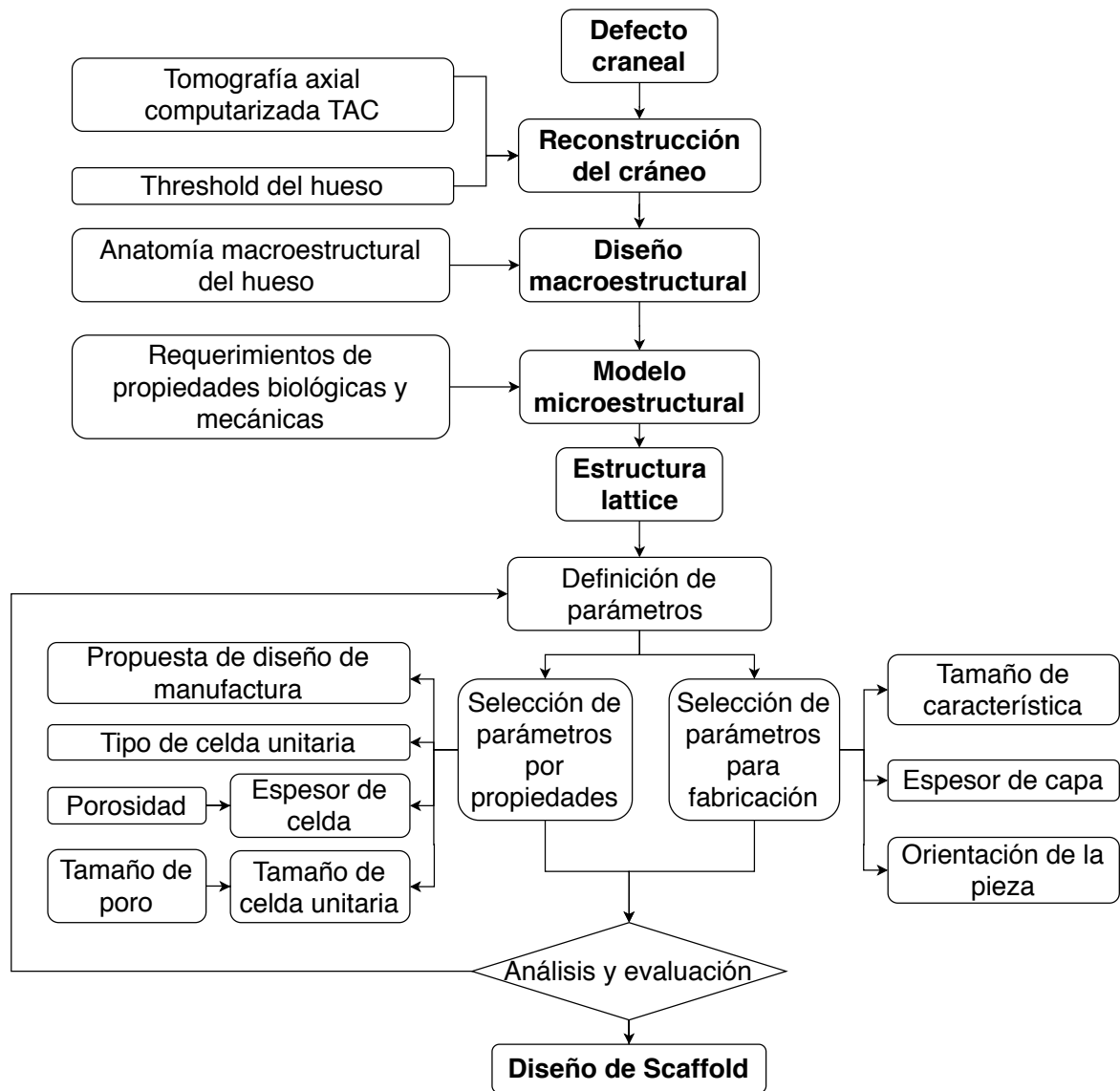


Figura -1: Metodología del diseño

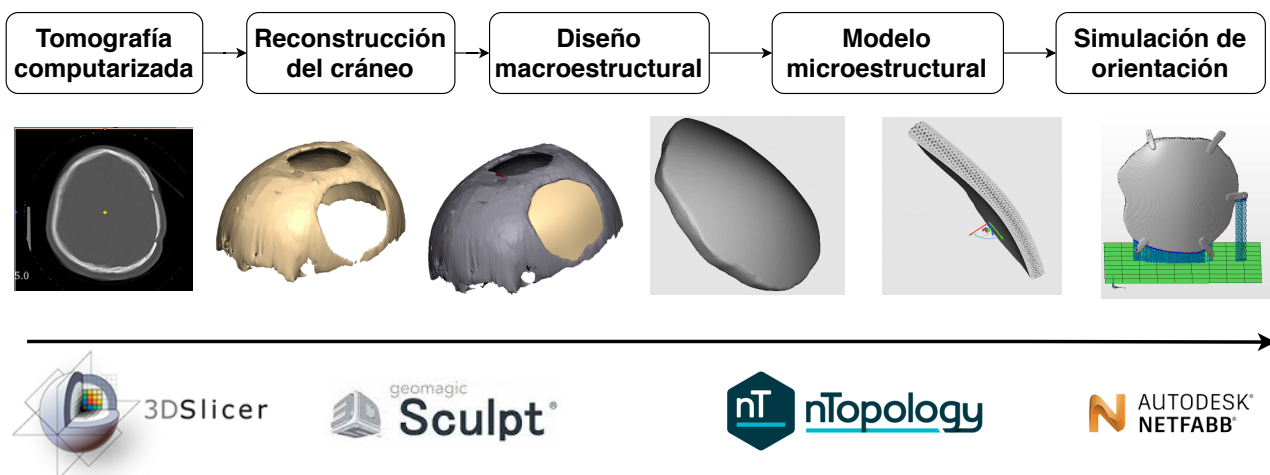


Figura -2: Ruta de diseño

## Resultados

El modelo 3D del cráneo se desarrolla a partir del procesamiento de imágenes médicas de los archivos de la Tomografía Computarizada Axial. La reconstrucción se realiza a partir de mapas con las secciones a modelar empleando la herramienta **ThresholdEffect**, la cual determina la selección de acuerdo con el rango de valores del tejido, en este caso del hueso craneal; además, se emplean algunas herramientas de edición para perfeccionar el modelo. El resultado es el modelo 3D del cráneo en formato *stl* (figura -3).

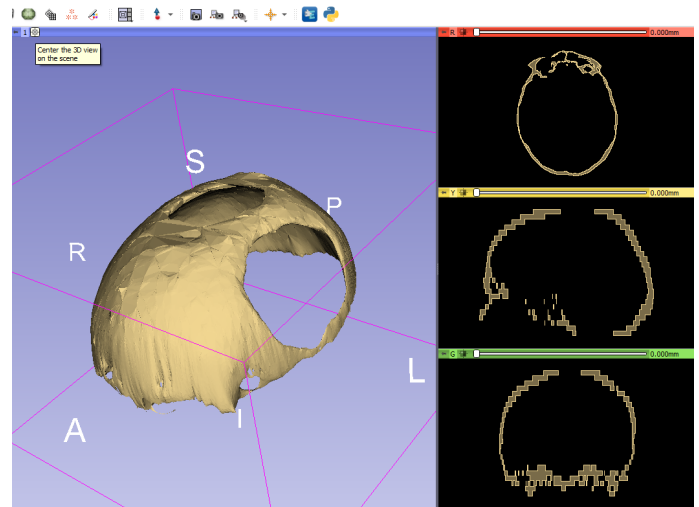


Figura -3: Reconstrucción del cráneo

El diseño macroestructural del scaffold para llenar el defecto se realiza a partir del concepto de esculpido de formas orgánicas permitido en el software Geomagic Sculpt. Inicia con la importación del modelo 3D del cráneo y el desarrollo del boceto guía de la geometría para la aplicación de la herramienta de modelado de superficie. El modelo del implante se convierte en formato tipo arcilla, el cual permite extruir, modificar, esculpir y remover el material necesario para obtener la forma volumétrica adecuada. Adicionalmente, siguiendo una metodología similar se modelan las placas de sujeción del scaffold, figura -4.

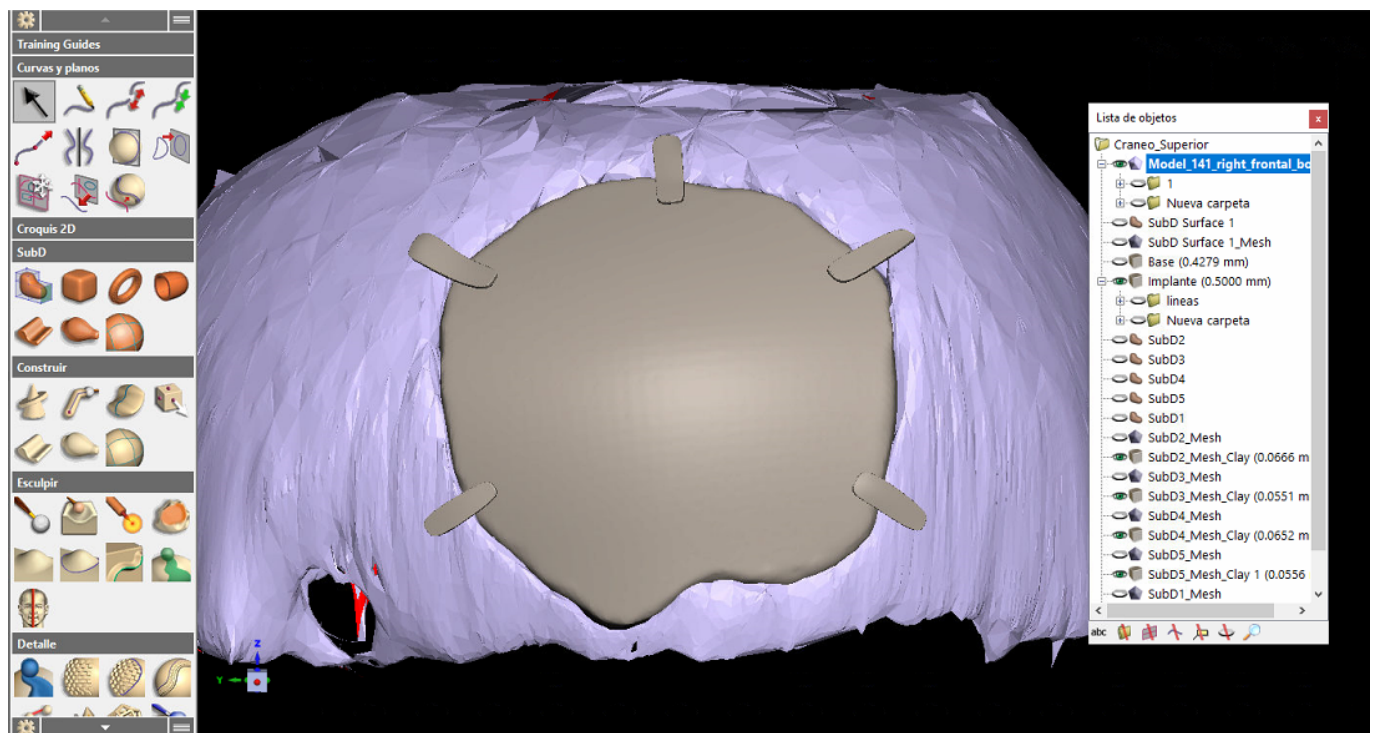


Figura -4: Diseño macroestructural

Para el diseño microestructural interno se determina emplear estructuras tipo *Triply Periodical Minimum Surface TPMS* debido a su conectividad, curvatura y propiedades de crecimiento óseo; los parámetros que definen esta celda son el tipo, el tamaño y el espesor; los cuales se determinan de acuerdo con los requerimientos de porosidad y tamaño de poro para garantizar la colonización de las células y la vascularización del tejido. Teniendo en cuenta que el objetivo es diseñar una estructura interna que varíe en función de la distribución de porosidad del hueso real, se establece modificar el parámetro de espesor de la celda desde el centro del espesor hacia el exterior. Como resultado se obtuvo una celda tipo Gyroid de 2mm de tamaño y 0.3mm de espesor en la sección crítica central (figura 5) que aumenta hasta 1.1mm hacia las caras exteriores del scaffold.

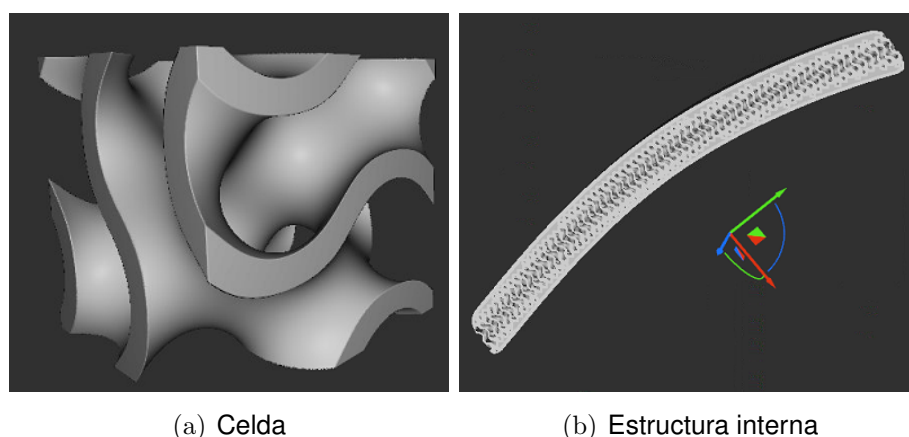


Figura -5: Diseño microestructural del scaffold

Se obtiene el diseño final del scaffold ensamblando los soportes de sujeción (figura -6). De acuerdo con la revisión bibliográfica el material de diseño seleccionado es la aleación de Titanio Ti6Al4V debido a sus propiedades mecánicas, de osteointegración y biocompatibilidad. Respecto a la fabricación por medio de manufactura aditiva se selecciona el método de Selective Laser Melting SLM y se realiza un análisis final donde se determinan los soportes y la orientación adecuada de la pieza para disminuir la cantidad de material de soporte.

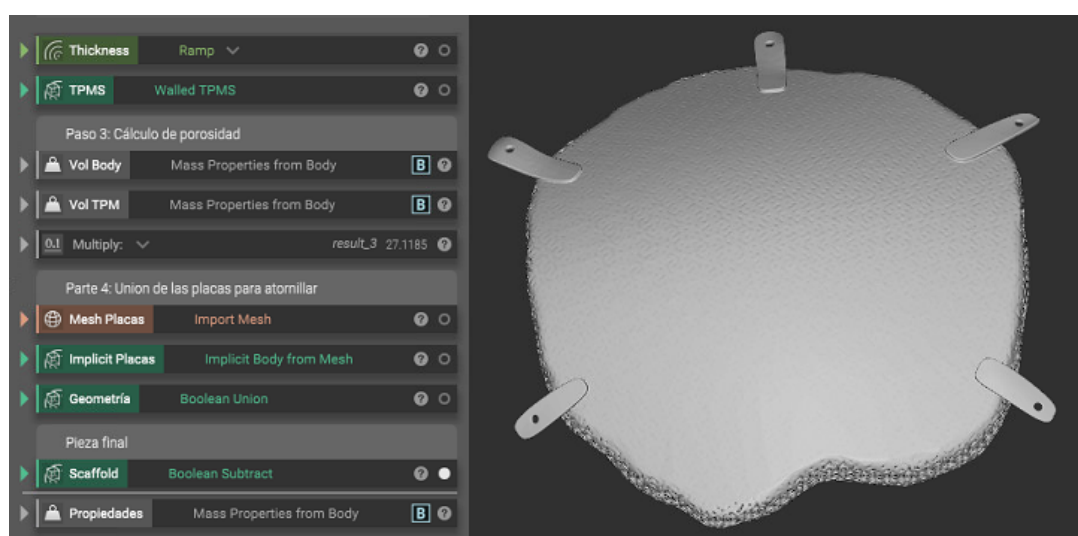


Figura -6: Diseño final del Scaffold

## Conclusiones

- Se desarrolló una metodología de diseño guiado por computador que permite diseñar un scaffold de tejido óseo craneal con base en el caso de estudio real de un paciente con un defecto en el parietal izquierdo. Como resultado se obtuvo el modelo de scaffold tridimensional cuya estructura interna posee una porosidad variable a través del espesor simulando la estructura del hueso craneal real y cumple los requerimientos geométricos, estructurales y biológicos establecidos.
- La metodología planteada integra 4 herramientas computacionales: 3DSlicer para realizar la reconstrucción tridimensional del cráneo a partir de la tomografía computarizada axial TAC del paciente, Geomagic Sculpt para generar el modelo macroestructural del scaffold con base en la reconstrucción craneal, nTopology para modelar la estructura porosa variable interna y Autodesk Netfabb para definir la orientación adecuada que disminuya la cantidad de material de soporte.
- El diseño microestructural del scaffold se generó a partir de estructuras lattice basadas en celdas TPMS las cuales permiten realizar un control de los parámetros respecto a requerimientos biológicos y de manufacturabilidad. Empleando el software nTopology de modelado implícito, se diseñó una estructura de porosidad variable análoga al hueso cortical en las superficies externas y al hueso trabecular en el interior del hueso craneal. La sección central crítica se determinó con una porosidad de 70 % y tamaño de poro de 650  $\mu\text{m}$  aplicando una celda unitaria tipo Gyroid de tamaño igual a 2mm y espesor de 0.3mm..
- La fabricación mediante manufactura aditiva permite desarrollar diseños de geometrías complejas que no es posible fabricar mediante métodos convencionales, lo cual significa un gran avance en el campo de la ingeniería de tejidos, como es específicamente el caso de la estructura interna del hueso craneal. De acuerdo con la revisión bibliográfica se propone la fabricación del scaffold en la aleación de Titanio Ti6Al4V mediante el método de Selective Laser Melting SLM teniendo en cuenta propiedades mecánicas, manufacturabilidad, osteointegración y biocompatibilidad.

## Referencias

- [Fu et al., 2017] Fu, S., Du, X., and Y., Z. (2017). 3d printing of ceramic-based scaffolds for bone tissue engineering: an overview. *J. Mater. Chem. B.*, 62:4397–4412.
- [Maroulakos et al., 2019] Maroulakos, M., Kamperos, G., Tayebi, L., Halazonetis, D., and Ren, Y. (2019). Applications of 3d printing on craniofacial bone repair: A systematic review. *Journal of Dentistry*, 80:1–14.
- [Qu, 2020] Qu, H. (2020). Additive manufacturing for bone tissue engineering scaffolds. *Materials Today Communications*, 24.
- [Woon et al., 2020] Woon, K., Shiang, T., and Muh, L. (2020). Three-dimensional cad in skull reconstruction: A narrative review with focus on cranioplasty and its potential relevance to brain sciences. *Applied sciences*.