

# Elaboración de modelo de oído 3D para entrenamiento anatómico quirúrgico

## Research article: development of 3D ear model for surgical anatomical training

Pamela Mena G.<sup>1,2</sup>, Carolina Chávez G.<sup>3</sup>, Cristián Navarro B.<sup>3</sup>,  
Diego Cortés C.<sup>3</sup>, Daniel Páez M.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Unidad Otorrinolaringología,  
Hospital San Camilo, San  
Felipe, Chile.

<sup>2</sup>Cátedra Otorrinolaringología,  
Universidad de Valparaíso,  
Campus San Felipe, Chile.

<sup>3</sup>Plan 3D, Valparaíso, Chile.

Los autores declaran no tener  
conflictos de interés.

El proyecto tuvo un objetivo  
docente para la Cátedra de  
Otorrinolaringología de la  
Universidad de Valparaíso, y  
fue financiado por dicha casa  
de estudios.

Recibido el 17 de diciembre  
de 2023. Aceptado el 11 de  
agosto de 2024.

Correspondencia:  
Pamela Mena G.  
Av. Miraflores 2085, San  
Felipe, Chile.  
Email: pamela.mena@uv.cl

### Resumen

**Introducción:** Los modelos de simulación han cobrado importancia en el entrenamiento quirúrgico. **Objetivo:** Elaborar un modelo 3D de oído, que permita el estudio de la anatomía y algunas técnicas quirúrgicas. **Material y Métodos:** Mediante un software especializado en segmentación 3D, se diseñó un hueso temporal digital derecho, modelo adquirido de una tomografía computarizada (TC) de oídos de un paciente sano. Se imprimieron en resina cuatro versiones, utilizando una máquina de estereolitografía. **Resultados:** Se logró confeccionar un modelo 3D fiable de la anatomía quirúrgica de oído, con la colaboración de Diseñadores Industriales, Otorrinolaringólogos y Neurorradiólogos. **Conclusión:** El modelo de oído 3D tiene ventajas reconocidas dentro de las etapas de desarrollo de un programa de entrenamiento quirúrgico. **Palabras clave:** simulación, modelo 3D, anatomía oído, residentes.

### Abstract

**Introduction:** Simulation models have gained importance in surgical training. **Objective:** To elaborate a 3D ear model, which allows the study of the anatomy and some surgical techniques. **Material and Methods:** Using specialized 3D segmentation software, a right digital temporal bone was designed, a model acquired from a computed tomography (CT) of the ears of a healthy patient. Four versions were printed on resin, using a stereolithography machine. **Results:** A reliable 3D model of the surgical anatomy of the ear was successfully created, with collaboration from Industrial Designers, Otorhinolaryngologists, and Neuroradiologists. **Conclusion:** The 3D ear model has recognized advantages within the development stages of a surgical training program. **Keywords:** simulation, 3D model, ear anatomy, residents.

### Introducción

Los modelos de simulación han cobrado importancia en el entrenamiento quirúrgico de los residentes de diferentes especialidades, en gran parte por la creciente dificultad para adquirir material cadavérico, lo que se exacerbó después de 2019 debido a la pandemia SARS-Cov-2<sup>1</sup>. Incluso durante ese período disminuyeron las posibilidades de docencia clínica con pacientes reales<sup>2</sup>.

En Otorrinolaringología, los modelos 3D se han utilizado para el entrenamiento de cirujanos y residentes en diversas áreas: oído, vía aérea, rinosinusal, base de cráneo y cabeza y cuello<sup>3</sup>.

Respecto de la cirugía de oído, en una revisión de 2022<sup>4</sup> se describen diversos modelos de hueso temporal que han sido diseñados para docencia en diferentes países, destacando los impresos con material de resina estándar, utilizando una impresora de estereolitografía, pues

tuvieron mejor evaluación en comparación a otros modelos<sup>5</sup>.

En nuestro país se han publicado 2 modelos de entrenamiento en cirugía de oído:

- Cohen y cols (2005) confeccionaron 2 prototipos artificiales de hueso temporal, uno derecho de adulto y uno izquierdo de niño, modelos que tomaron como base TC de oídos.
- Sepúlveda y cols (2022) crearon y validaron un modelo de simulación para entrenamiento de miringotomía e instalación de tubos de ventilación<sup>6,7</sup>.

En mayo de 2022, frente a la dificultad de contar con instancias de entrenamiento en anatomía quirúrgica de oído en huesos temporales humanos para residentes de Otorrinolaringología de la Universidad de Valparaíso, surgió la necesidad de elaborar un modelo de simulación de oído, que permitiera alcanzar un conocimiento similar a la anatomía del hueso temporal humano, y que también ofreciera la oportunidad de practicar ciertos tiempos quirúrgicos de cirugías de oído.

## Objetivo

Elaborar un modelo a escala real de un hueso temporal, que incluyera partes blandas superficiales, para el estudio de la anatomía y entrenamiento quirúrgico de residentes de Otorrinolaringología de la Universidad de Valparaíso, específicamente para la práctica de: miringotomía con instalación de tubos de ventilación, incisión retroauricular y endopreauricular, mastoidectomía, cirugía radical a demanda y timpanotomía posterior.

## Metodología

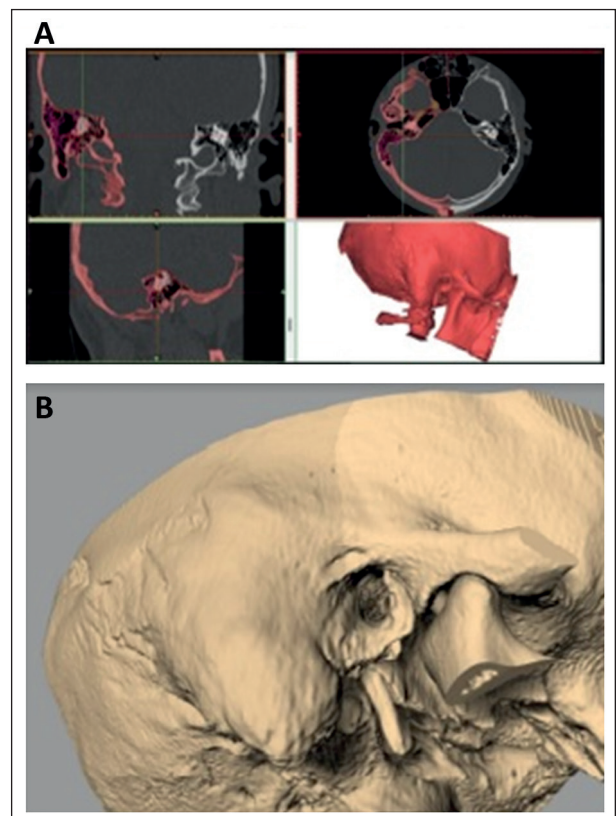
Se tomó como modelo la TC de oídos de un paciente masculino de 35 años, sin patologías conocidas, previo consentimiento informado. La TC se realizó con un Equipo GE de 16 canales, técnica con 120 kV y 16mAs, adquisición con cortes submilimétricos (0.63 mm).

Mediante un software especializado en segmentación 3D (*3DSlicer*, [www.slicer.org](http://www.slicer.org), Estados Unidos) se aisló la anatomía de tejido

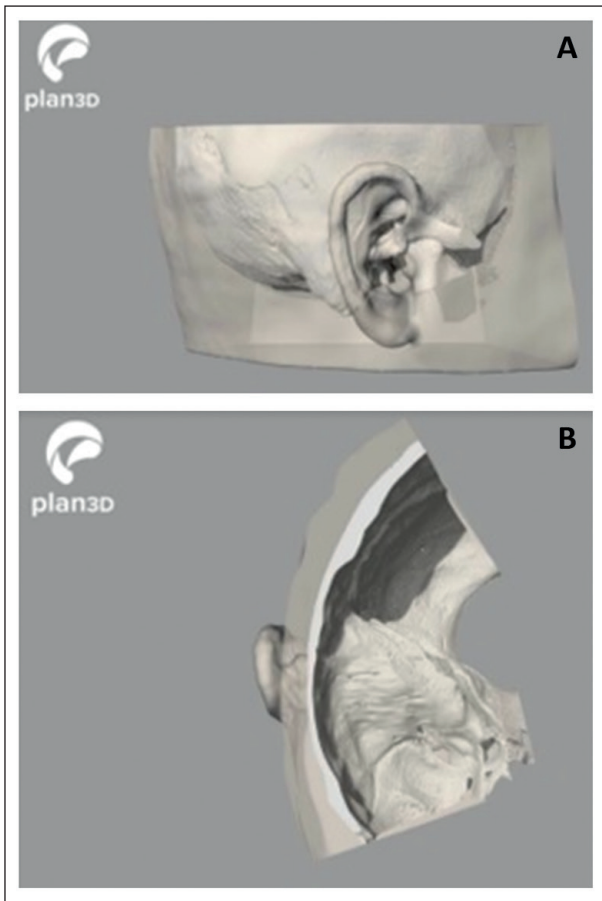
óseo del hueso temporal derecho, considerando en especial las siguientes estructuras: espina de Henle, área cribosa, raíz del cigoma, cresta digástrica, apófisis mastoidea, apófisis estiloides, agujero estilomastoideo, promontorio, ventana redonda, martillo, yunque, estribo, laberinto óseo con lumen, canal del nervio facial, canal carotídeo, canal y fosa yugular y surco del seno sigmoideo (**Figura 1**).

Se realizaron reuniones por vía telemática de manera periódica en conjunto (equipo de Plan3D y Otorrinolaringología) para la identificación de tales estructuras, complementado con textos guías de cirugía otológica<sup>8,9</sup> y con la colaboración de dos Neurorradiólogos.

Posterior a esto, se editó el biomodelo digital para hacer coincidir tejidos óseos y blandos, con el fin de obtener una anatomía estándar. Se incluyeron las siguientes partes blandas: membrana timpánica (MT), pabellón auricular y piel circundante y también del conducto auditivo externo (CAE) (**Figura 2**).



**Figura 1. A)** Software de segmentación 3D. **B)** Modelo digital 3D de hueso temporal derecho.



**Figura 2.** Diseño 3D hueso temporal derecho, con partes blandas: **A)** vista lateral y **B)** vista superior.

Además, se editaron sutilmente algunas áreas, como los huesecillos y nervio facial, para suavizarlos y posicionarlos de manera estandarizada (**Figura 3**).

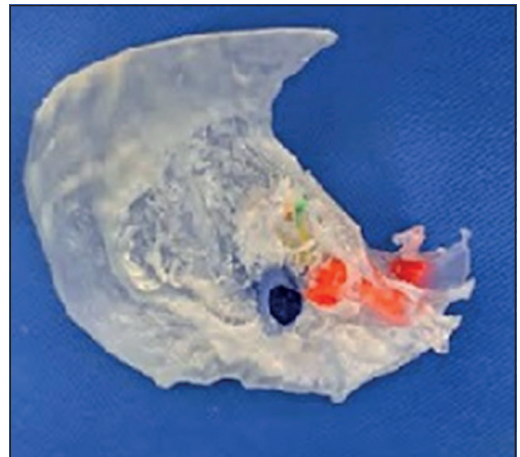
Una vez terminado el modelo digital de las piezas, el tejido óseo se imprimió en 3D utilizando máquinas de tecnología SLA (estereolitografía, *Modelo Form 2, Formlabs, Estados Unidos*) con material de resina. Dicho modelo siguió varias versiones hasta lograr el mejor resultado.

Primera versión: se imprimió una parte en resina transparente, para visualizar y analizar las estructuras del oído medio. Luego, se colorearon de forma manual: canal carotídeo, surco del seno sigmoideo, fosa yugular y huesecillos (**Figura 4**).

Este modelo se intervino bajo microscopio, realizando mastoidectomía. Se utilizó



**Figura 3.** Edición de huesecillos.



**Figura 4.** Impresión en resina transparente de porción medial de hueso temporal, con estructuras coloreadas.

una prensa Dremel® para fijar el modelo, y para fresar se adquirió un Motor y pieza de mano diseñadas para manicure, usando fresas quirúrgicas. Para este paso participaron dos especialistas y un residente (**Figura 5**).

Segunda versión: se imprimió un modelo 3D en resina blanca, al que se le agregó tejido blando superficial, que se fabricó mediante tecnología de impresión 3D y utilizando polímeros flexibles (**Figura 6**).

En esta versión se logró sumar la práctica de abordaje retroauricular y endopreauricular, participando dos especialistas.

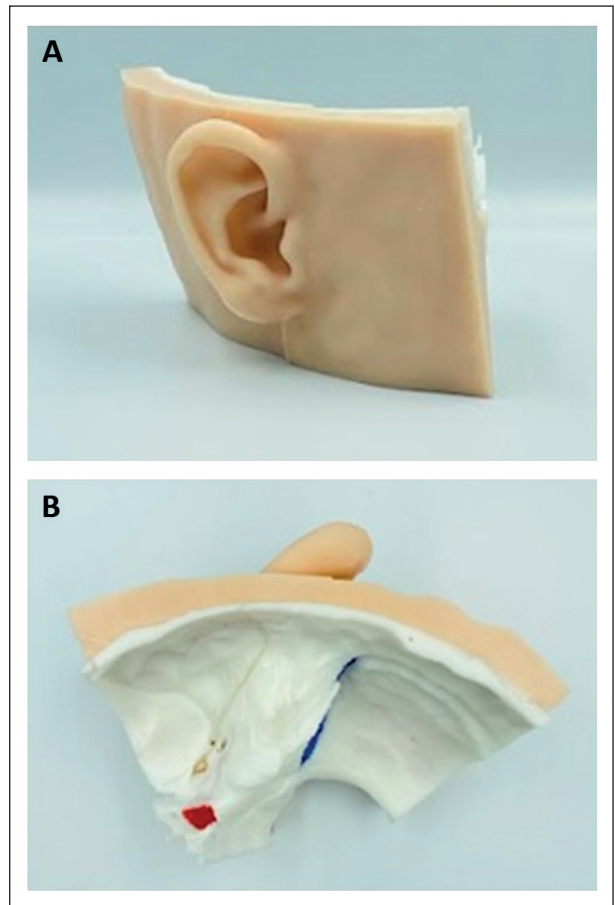
Debido a que el CAE del paciente modelo poseía curvas muy pronunciadas que dificultaban la visualización de la MT, y con ello la práctica de miringotomía, se decidió utilizar una TC de otro paciente para construir el oído



**Figura 5.** A) Montaje de modelo 3D hueso temporal en prensa Dremel®. B) Residente fresando modelo 3D bajo visión microscópica.

externo (CAE y pabellón auricular) y realizar la impresión de la siguiente versión (**Figura 7**).

En esta versión, y en la anterior, existía una división artificial del hueso temporal para facilitar el coloreado de algunas estructuras y la instalación futura de la MT. Al fresar este modelo, se observó que la unión de los dos segmentos generaba una importante alteración en la anatomía de la cavidad mastoidea y, por lo tanto, podía afectar la identificación del canal del nervio facial en su tercera porción, por lo que se decidió cambiar de ubicación esta partición ficticia (**Figura 8**).

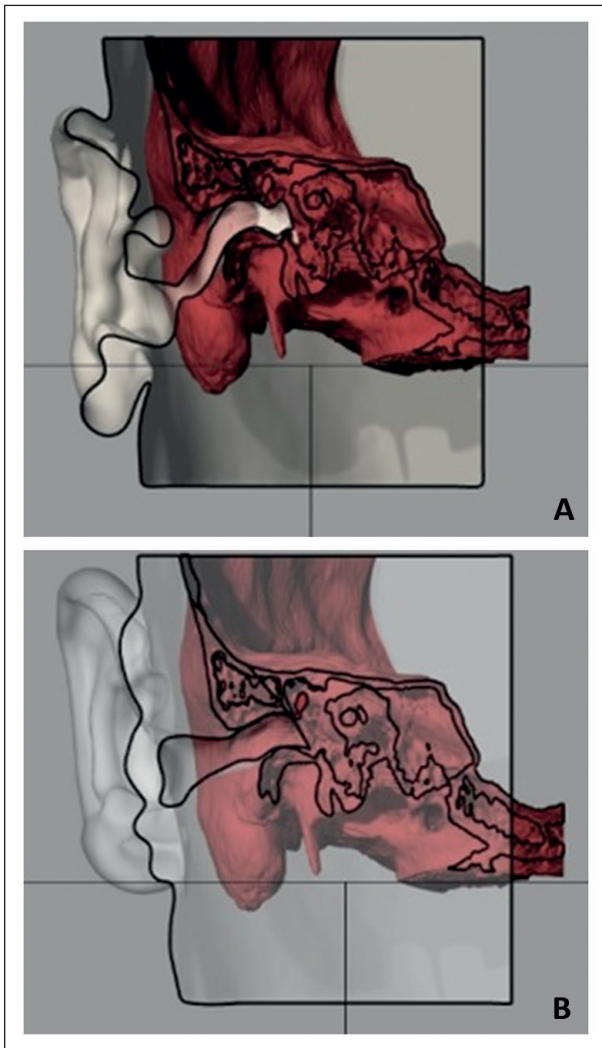


**Figura 6.** Modelo 3D hueso temporal derecho con partes blandas: A) vista lateral y B) vista superior.

Tercera versión: en este modelo se incorporó además la representación del nervio facial, correspondiente a un tubo fino de 1 mm diámetro, de color amarillo, que recorría el canal respectivo, y que fue posicionado de forma manual (**Figura 9**). Esta versión también se inspeccionó y fresó bajo microscopio, realizando: abordaje retroauricular, abordaje endopreauricular, mastoidectomía, timpanotomía posterior y laberintectomía, participando en ello un residente y dos especialistas.

Cuarta versión: finalmente, se diseñó e incorporó una lámina de tejido blando en representación de la MT, utilizando distintas fibras y plásticos. Para ello se probaron 4 prototipos de distinta materialidad, resistencia y elasticidad, considerando para su elección la opinión de cuatro especialistas, con diferentes

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN



**Figura 7.** A) CAE original de paciente, corte coronal. B) Edición de forma del CAE, para facilitar ejercicios de miringotomía.

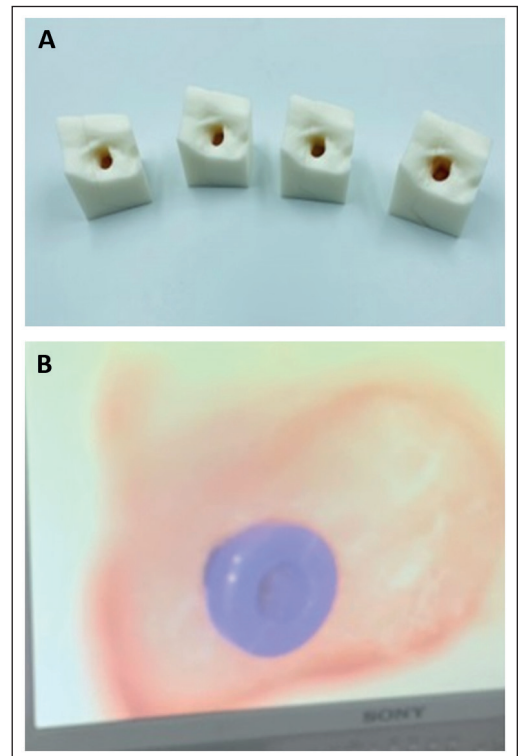


**Figura 8.** Muestra el recorrido de la unión artificial de 2 segmentos del hueso temporal.

años de experiencia en cirugía otológica. En esta versión se logró practicar miringotomía con instalación de tubos de ventilación (collera y tubo T), además de las prácticas quirúrgicas antes mencionadas (Figura 10).



**Figura 9.** Huesecillos parcialmente coloreados: estribo de azul, mango martillo naranja y apófisis larga de yunque verde. En amarillo visualización de parte de la 3ª porción del nervio facial (entre estrellas).



**Figura 10.** A) Diferentes tipos de modelo de MT; B) Collera instalada en versión de MT elegida.

## Resultados

Luego de un año y medio de trabajo colaborativo entre diseño, otorrinolaringología, radiología y docencia, se consiguió desarrollar un modelo 3D de simulación de oído que incluyera las estructuras anatómicas más importantes de identificar en cirugía, de una forma fidedigna y a escala real, que permitirá a los residentes de Otorrinolaringología de la Universidad de Valparaíso profundizar su conocimiento de la anatomía del hueso temporal, y alcanzar además el entrenamiento básico necesario para dar solución a pacientes con patología otológica que requirieran una conducta quirúrgica.

A continuación, se detalla cada una de las estructuras anatómicas reconocibles en el modelo 3D analizado:

- **Tejido blando y pabellón auricular:** posee el pabellón auricular y tejido blando circundante, con material suave y flexible, que simula piel y subcutáneo. Se puede realizar incisión retroauricular e incisión endopreauricular.
- **Conducto auditivo externo:** porción ósea cubierta de material blando de distinto grosor, que simula la porción cartilaginosa y la piel.
- **Membrana timpánica:** lámina semi-flexible con elasticidad y resistencia similares al tímpano real, que permite realizar una miringotomía con instalación de tubos de ventilación.
- **Hueso temporal:** tejido óseo posible de ser fresado. Tiene estructuras anatómicas de superficie identificables, que sirven para orientación quirúrgica: espina de Henle, área cribosa, raíz del cigoma, cresta digástrica.
- **Estructuras de oído medio:** promontorio, ventana redonda, huesecillos (martillo, yunque, estribo), eminencia piramidal, apófisis cocleariforme.
- **Nervio facial:** posee la segunda y tercera porción del nervio facial en color amarillo, dentro de su canal óseo.
- **Arteria Carótida y Vena Yugular:** el lumen del conducto carotídeo está coloreado de rojo, y la fosa yugular está coloreada de azul.
- **Seno Sigmoideo:** surco del seno sigmoideo en el hueso temporal está coloreado de azul.
- **Canales semicirculares:** laberinto óseo con lumen.

## Discusión

La utilización de impresiones 3D para docencia tiene reconocidas ventajas, y su utilidad en entrenamiento quirúrgico se ha demostrado en diversas publicaciones<sup>3</sup>.

La elaboración de un programa de entrenamiento basado en simulación es un proceso complejo, constituido por ciertas etapas esenciales que se deben seguir de forma rigurosa<sup>10</sup>, dentro de las cuáles se encuentra la elaboración de un modelo que permita el desarrollo de las habilidades identificadas como falentes.

Si bien en nuestro proyecto logramos conseguir el objetivo propuesto, confeccionar un modelo 3D que fuera lo suficientemente fidedigno para permitir el estudio de la anatomía quirúrgica de los residentes de la especialidad, aún queda trabajo para conseguir su validación como modelo de simulación de cirugía de oído. Para ello es necesario evaluar al menos lo siguiente:

- a) Validez de apariencia: relacionada con el realismo del simulador, es decir, que el simulador represente lo que se supone debe representar.
- b) Validez de contenido: es un juicio sobre la idoneidad del simulador para enseñar lo que se desea, e implica una evaluación formal por parte de expertos en el tema del dispositivo de capacitación.
- c) Validez de criterio: compara los resultados de la evaluación del nuevo simulador con los de la evaluación de la técnica anterior, para ver el grado de correlación. Hay dos tipos de validez de criterio: validez concurrente (se refiere al grado en que el simulador, como herramienta de evaluación, se relaciona con el “estándar de oro”) y validez de predicción (es la demostración de que las puntuaciones de desempeño quirúrgico medidas en el simulador durante el entrenamiento, predicen el nivel de habilidad futuro del alumno cuando se transfiere al quirófano).

## ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

d) Validez de constructo: es una evaluación obligatoria y una de las más valiosas para la aceptación del simulador como un dispositivo de evaluación de competencias. Se define como el grado en el cual los procedimientos evaluativos son capaces de identificar las cualidades, habilidades o rasgos para los que fueron diseñados<sup>11,12</sup>.

A pesar de que hay varias publicaciones internacionales de modelos de simulación 3D en cirugía otológica, la mayoría de ellos solo cuenta con validez de apariencia<sup>4</sup>.

## Conclusión

La utilización de modelos de oído 3D en el aprendizaje de habilidades quirúrgicas tiene ventajas reconocidas, sin embargo, su confección solo constituye la etapa inicial del desarrollo de un programa de entrenamiento.

Cabe destacar que la materialización de un recurso docente como éste, fue un producto colaborativo permanente entre los diversos participantes del proyecto, tanto en su diseño, fabricación y revisión.

## Agradecimientos

Agradecemos la colaboración de los siguientes médicos neurorradiólogos: Dr. Carlos Robles y Dr. Jorge Varela; y médicos otorrinolaringólogos: Dr. Cristián Papuzinski, Dra. Daniela Vicencio, Dra. Carmen Meléndez, Dr. Mario Álvarez y Dra. Gabriela Machuca.

## Bibliografía

- Organización Mundial de la Salud. (2020). Prevención y control de infecciones para la gestión segura de cadáveres en el contexto de la COVID-19: orientaciones provisionales, 24 de marzo de 2020. Organización Mundial de la Salud. <https://iris.who.int/handle/10665/331671>. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO.
- Villarreal OG, Valdés PC, Tamblay NN, Cardemil MF. Práctica clínica de otorrinolaringólogos en Chile durante la pandemia COVID-19. *Rev Otorrinolaringol Cirugía Cabeza Cuello*. 2021;81(3):342-352. doi:10.4067/s0718-48162021000300342.
- Meszáros EN, Cortés FI, Zelada BÚ, Cardemil MF. Biomateriales y tecnologías de impresión 3D en entrenamiento quirúrgico en otorrinolaringología: una revisión. *Rev Otorrinolaringol Cirugía Cabeza Cuello*. 2023;83(1):92-99. doi:10.4067/s0718-48162023000100092.
- Viñuela MM, Sepúlveda CV, Rosenbaum FA, Lagos VA. Modelos de simulación para entrenamiento en cirugía de hueso temporal. *Rev Otorrinolaringol Cirugía Cabeza Cuello*. 2022;82(4):509-522. doi: 10.4067/s0718-48162022000400509.
- Mowry SE, Jabbour N, Rose AS, Wiet GJ, Svrakic M, Zopf DA, Vankoevering K, Powell A, Freiser ME, Hochman J, Smith R. Multi-institutional Comparison of Temporal Bone Models: A Collaboration of the AAO-HNSF 3D-Printed Temporal Bone Working Group. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2021 May;164(5):1077-1084. doi: 10.1177/0194599820960474.
- Cohen VM, Caro LJ, Callejas CC, García SP. Confección de prototipos artificiales de hueso temporal en Chile. *Rev Otorrinolaringol Cir Cabeza Cuello*. 2005;(65):9-14.
- Sepúlveda V, Nazal K, Rosenbaum A et al. Modelos de simulación para entrenamiento en miringotomía e instalación de tubos de ventilación. *Rev Latinoam Simulacion Clin*. 2022;4(1):11-17. doi: 10.35366/104950.
- Jackler RK. *Ear Surgery Illustrated: A Comprehensive Atlas of Otologic Microsurgical Techniques*. Thieme Medical Publishers, Incorporated; 2019.
- Sanna M, Russo A, Taibah A, Piras G, Tang W. *Temporal Bone: Anatomical Dissection and Surgical Approaches, Examination, Diagnosis, Treatment*. Thieme Verlag, George; 2018.
- Vela J, Contreras C, Jarry C, Varas J, Corvetto M. Recomendaciones generales para elaborar un programa de entrenamiento basado en simulación para desarrollar competencias en pregrado y postgrado. *Rev Latinoam Simulacion Clin*. 2020;2(1):26-38. doi:10.35366/92936.
- McDougall EM. Validation of Surgical Simulators. *J Endourol*. 2007;21(3):244-247. doi:10.1089/end.2007.9985.
- Gallagher AG, Ritter EM, Satava RM. Fundamental principles of validation, and reliability: rigorous science for the assessment of surgical education and training. *Surg Endosc*. 2003;17(10):1525-1529. doi: 10.1007/s00464-003-0035-4.