

Estructura de la órbita chilena para impresión 3D

Christian A. Pedemonte-Trewhela¹, Araceli P. Chamorro-Vega¹, Ramsés B. Palma-Suarez¹, Camilo I. Barrientos-Morales¹, Ilich J. Vargas-Farren¹, Luis E. Gonzalez-Mora¹

Structure of the Chilean Orbit for 3D Printing

Objective: To develop a printable 3D model of chilean orbit. **Methods:** Observational, retrospective, and cross-sectional study conducted at the Hospital Clínico Mutual de Seguridad between 2018 and 2024, based on a defined sample of adult Chilean patients with normal orbital anatomy. Computed tomography scans of the facial skeleton with no evidence of fractures or orbital abnormalities were analyzed. The volume of each orbit was calculated through individual segmentation using Brainlab® software. Subsequently, the 3D model was refined and edited using Mimics Medical®, based on DICOM files, to generate a representative STL file. Statistical analyses were performed to evaluate bilateral symmetry and sex-based differences. **Results:** A total of 100 patients were included. The average volume was 27.05 cm³ for the right orbit and 27.31 cm³ for the left orbit, with a combined mean of 27.18 cm³. The mean difference between both sides (0.81 cm³) was statistically significant but clinically negligible. Patients, 88.6% were male. A three-dimensional average model of the Chilean orbit was generated and is available in STL format for printing. **Discussion:** The volumetric values obtained are consistent with the ranges reported in the international literature, being slightly higher than those observed in some Asian populations and comparable to those described for Caucasian populations. The mild orbital asymmetry found, although statistically significant, is unlikely to have clinical relevance, supporting its use as a population-based model for surgical planning. **Conclusion:** This study provides updated reference values for orbital volume in the adult Chilean population. The 3D model developed represents a useful tool for surgical planning and the pre-contouring of reconstruction plates.

Keywords: orbital volume; orbit; computed tomography; three-dimensional model; Brainlab; Mimics.

¹Hospital Clínico Mutual de Seguridad. Santiago, Chile.

Recibido el 2025-08-01 y aceptado para publicación el 2025-09-01

Correspondencia a:
Dr. Christian Pedemonte T.
capedemonte@gmail.com

E-ISSN 2452-4549



Resumen

Objetivo: Desarrollar un modelo 3D imprimible de la órbita chilena. **Métodos:** Se realizó un estudio observacional, retrospectivo y transversal en el Hospital Clínico Mutual de Seguridad. Se analizaron tomografías computarizadas del esqueleto facial sin evidencia de fracturas ni alteraciones orbitarias. El volumen de cada órbita fue calculado mediante segmentación individual utilizando el *software Brainlab®*. Posteriormente, el modelo 3D fue refinado y editado con *Mimics Medical®*, a partir de archivos DICOM, para generar un archivo STL representativo. Se realizaron análisis estadísticos para evaluar la simetría bilateral y las diferencias según sexo. **Resultados:** Se incluyeron un total de 100 pacientes. El volumen promedio fue de 27,05 cm³ para la órbita derecha y 27,31 cm³ para la órbita izquierda, con una media combinada de 27,18 cm³. La diferencia media entre ambos lados (0,81 cm³) fue estadísticamente significativa, pero clínicamente irrelevante. El 88,6% de los pacientes eran hombres. Se generó un modelo tridimensional promedio de la órbita chilena, disponible en formato STL para su impresión. **Discusión:** Los valores volumétricos obtenidos son consistentes con los rangos reportados en la literatura internacional, siendo ligeramente superiores a los informados en algunas poblaciones asiáticas y cercanos a los descritos para población caucásica. La leve asimetría orbital encontrada, aunque significativa, no tendría impacto clínico relevante, respaldando su uso como modelo poblacional en planificación quirúrgica. **Conclusión:** Este estudio proporciona valores de referencia actualizados del volumen orbital en la población adulta chilena. El modelo 3D desarrollado representa una herramienta útil para la planificación quirúrgica y el precontorneo de placas de reconstrucción.

Palabras clave: volumen orbital, órbita; tomografía computarizada; modelo tridimensional; *Brainlab*; *Mimics*.

Introducción

La anatomía de la órbita es fundamental en diversas especialidades médicas, incluyendo la traumatología maxilofacial. La forma y tamaño de la cavidad orbitaria varían entre individuos y difieren según el sexo y la etnia, lo que tiene implicancias directas en el diagnóstico, tratamiento y prevención de complicaciones postraumáticas asociadas a fracturas craneofaciales^{1,2}.

En casos de trauma orbital, la reconstrucción anatómica es esencial para restaurar el volumen correcto y prevenir secuelas a largo plazo como asimetría, diplopía o deformidades estéticas³⁻⁵. El uso de reconstrucción anatómica 3D personalizada o adaptada a la población mejora la precisión quirúrgica, facilita la adaptación preoperatoria de materiales de osteosíntesis y ayuda a restaurar la simetría orbital, reduciendo complicaciones postoperatorias y mejorando resultados^{3,4}.

Los avances en las tecnologías de imagen –como la tomografía computarizada (TC), la resonancia magnética (RM) y el *cone-beam CT*– han permitido obtener información detallada sobre la anatomía orbital y evaluar con precisión fracturas que alteran sus dimensiones⁶.

El objetivo de este estudio es medir el volumen orbital en población chilena y desarrollar un modelo tridimensional imprimible en 3D que sirva como base para la planificación quirúrgica y el contorneo de materiales de osteosíntesis. Al proporcionar esta herramienta práctica, se busca optimizar la preparación preoperatoria y mejorar los procedimientos intraoperatorios en el sistema de salud chileno.

Material y Método

Este fue un estudio observacional, retrospectivo y transversal realizado en el Hospital Clínico Mutual de Seguridad entre 2018 y 2024, utilizando una muestra representativa de pacientes adultos chilenos.

Se incluyeron pacientes que se realizaron TC facial durante ese período, sin evidencia de fracturas orbitarias ni alteraciones anatómicas adyacentes que pudieran modificar el volumen normal de la órbita. Se excluyeron pacientes con alteraciones traumáticas o patologías que distorsionaran la morfología orbital, y aquellos con estudios de imagen que no correspondieran a TC.

Las mediciones volumétricas se realizaron con el software *Brainlab*® (*Brainlab AG*, Munich, Alemania). Para cada paciente, se segmentaron individual-

mente las órbitas derecha e izquierda, delimitando los contornos óseos desde el reborde orbital anterior hasta el vértice posterior. Se calculó el volumen tridimensional (cm³) de cada órbita y se determinó el promedio por lado, con el objetivo de establecer parámetros representativos del volumen orbital chileno (Tabla 1).

Los resultados fueron analizados mediante estadística descriptiva, incluyendo medidas de tendencia central, dispersión y percentiles. Para evaluar la distribución de las diferencias de volumen entre las órbitas derecha e izquierda se aplicó el *test* de normalidad de Shapiro-Wilk. Además, se utilizó el *test* de Wilcoxon para muestras pareadas a fin de determinar diferencias estadísticamente significativas entre ambos lados.

Para respaldar la adecuación del tamaño muestral se realizó un análisis de potencia estadística post hoc utilizando el *software G*Power* (versión 3.1.9.7; *Universität Düsseldorf*, Alemania).

Finalmente, con los datos promedio de volumen y forma orbital, se generó un modelo tridimensional a partir del archivo DICOM. Este modelo fue segmentado y editado con el software *Mimics*®, y luego exportado en formato STL. El archivo STL de la órbita chilena promedio está disponible en Zenodo: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15825274>

Resultados

El volumen orbital promedio fue de 27,05 cm³ (DE = 2,85) para la órbita derecha y 27,31 cm³ (DE = 2,91) para la órbita izquierda (Tabla 1). El volumen mínimo registrado fue de 19,4 cm³ en el lado derecho y 20 cm³ en el izquierdo (paciente sexo masculino, 26 años), mientras que los valores máximos fueron de 34,9 cm³ y 35,8 cm³ (paciente sexo masculino, 30 años), respectivamente (Tabla 2). El volumen orbital promedio global, entre ambos lados, fue de 27,18 cm³ (Tabla 1).

Además de la tabla, se elaboró un *boxplot* comparativo con Python (Figura 1) para visualizar gráficamente la distribución, mediana y variabilidad del volumen orbital por lado. Este permite observar de forma clara la ligera asimetría entre ambos lados.

En cuanto al análisis de potencia estadística, considerando una diferencia media observada de 0,81 cm³ (DE = 0,91 cm³) (Tabla 1), se obtuvo un tamaño del efecto de $d = 0,89$. Con una muestra de 100 pacientes y un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$, la potencia estadística alcanzada fue de 1,0, lo que indica que el estudio tuvo un poder suficiente para detectar la diferencia observada. Según los criterios

Tabla 1. Mediciones volumétricas (cm³) de ambas órbitas: media y desviación estándar

	Promedio Órbita Izquierda	Promedio Órbita Derecha	Promedio entre ambas órbitas	Media Δ (D-I)	SD Δ (D-I)
Volumen cm ³	27,31	27,05	27,18	0,81	0,91

Nota: Δ se refiere a la diferencia entre los volúmenes orbitarios derecho e izquierdo.

Tabla 2. Estadística descriptiva (media, desviación estándar y percentiles) de los volúmenes orbitarios derecho e izquierdo (cm³)

Lado	N	Media (cm ³)	SD (cm ³)	Min	25th%	Mediana	75th%	Max
Derecho	100	27,051	2,845	19,4	25,1	27,4	28,5	34,9
Izquierdo	100	27,312	2,919	20	25,4	27,3	28,7	35,8

Nota: Estos datos se utilizaron como base para el análisis comparativo y la generación del *Boxplot* (Figura 1).

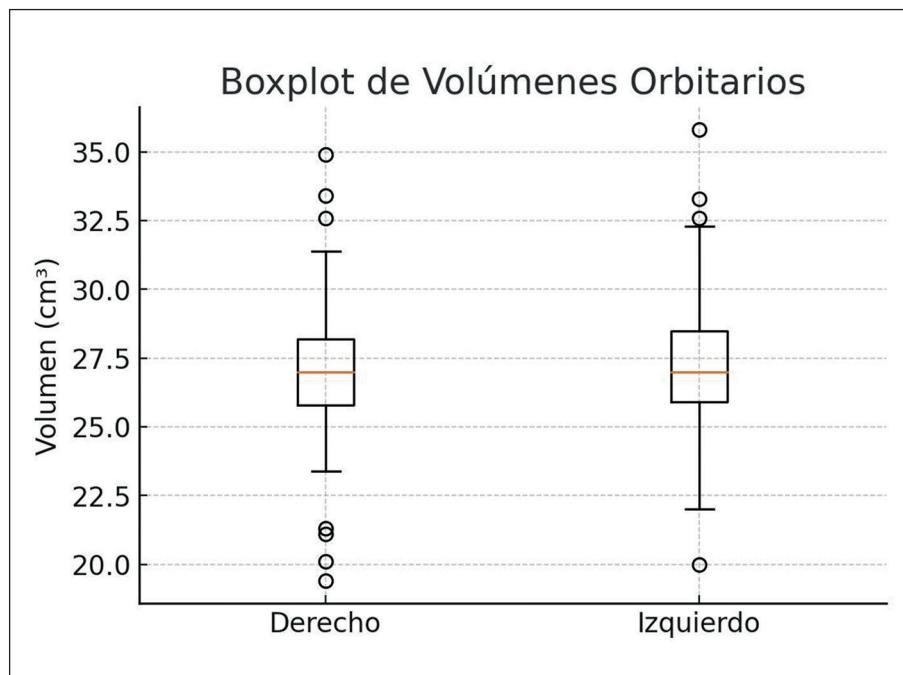


Figura 1. Boxplot comparativo de los volúmenes orbitarios derecho e izquierdo. Se observa una leve diferencia en la mediana y la variabilidad, consistente con los hallazgos estadísticos.

Tabla 3. Muestra del estudio estratificada por sexo

Sexo	Volumen órbita derecha (cm ³)	Volumen órbita izquierda (cm ³)	Promedio (cm ³)
Femenino	25,28	25,93	25,6
Masculino	27,29	27,5	27,39

de Cohen, este valor corresponde a un tamaño del efecto grande, lo que refuerza la relevancia clínica de los hallazgos.

En relación al volumen orbital según el sexo, en la población femenina la órbita derecha presentó un valor promedio de 25,28 cm³, mientras que la órbita izquierda tuvo un promedio de 25,93 cm³, con un valor medio general de 25,6 cm³ para ambas órbitas (Tabla 3).

En cuanto al sexo masculino, el volumen promedio de la órbita derecha fue de 27,29 cm³ y el de la órbita izquierda de 27,5 cm³, resultando en un promedio conjunto de 27,39 cm³ (Tabla 3).

También se realizó un análisis de potencia post hoc para la comparación por sexo. La potencia estadística obtenida para detectar diferencias entre hombres y mujeres fue de 0,53, valor inferior al umbral recomendado de 0,80.

Análisis de Simetría

Para evaluar la simetría bilateral, se calculó la diferencia entre los volúmenes derecho e izquierdo ($\Delta D-I$). La media de dicha diferencia fue de 0,81 cm³ (DE = 0,92), lo que indica que, en promedio, la órbita izquierda presentó un volumen ligeramente mayor que la derecha (Tabla 2).

Se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk sobre las diferencias de volumen (D-I), obteniéndose un valor $W = 0,939$ con $p < 0,001$, lo que indica que la distribución no es normal. Por ello, se utilizó la prueba de Wilcoxon para muestras pareadas, la cual arrojó un resultado estadísticamente significativo ($W = 495$, $p < 0,001$), confirmando la existencia de diferencias volumétricas entre ambos lados.

Interpretación clínica

A pesar de que las diferencias entre el volumen orbital derecho e izquierdo fueron estadísticamente significativas, su magnitud promedio fue menor a 1 cm³. Desde el punto de vista clínico, esta diferencia es considerada irrelevante, ya que no representa una variación que altere la evaluación anatómica ni la planificación quirúrgica habitual.

Discusión

Los resultados obtenidos en este estudio cumplen con el objetivo propuesto de crear una estructura 3D del volumen orbital chileno (VO) en una muestra de pacientes adultos utilizando tomografía computarizada y análisis volumétrico con el software *Bra-inlab®*. Se determinó un volumen promedio combinado de 27,18 cm³, valor que se encuentra dentro

del rango reportado en la literatura internacional y proporciona datos de referencia específicos para la población chilena. A modo comparativo, estudios como el de Kallaverja et al.⁴ (Italia), reportaron un volumen orbital medio de 24,51 cm³ (DE: 2,30; rango: 20,26–28,67) en órbitas sanas, valores menores a los encontrados en nuestra cohorte chilena. En cambio, Sigrón et al.⁵ (Suiza), basados en 372 TC, reportaron un volumen total medio de 29 cm³ utilizando ventanas óseas.

Respecto a la distribución por sexo, la muestra estuvo compuesta mayoritariamente por hombres (88,6%), lo que es consistente con la casuística de un centro de trauma, donde las lesiones maxilofaciales son más frecuentes en varones. Los valores obtenidos fueron 27,39 cm³ en hombres y 25,6 cm³ en mujeres. Estos son ligeramente superiores a los reportados por Andrade et al.⁷ para la población chilena, (24,9 ± 3,03 cm³ para hombres y 23,9 ± 3,08 cm³ para mujeres). Comparado con la población caucásica estudiada por Regensburg et al.¹ (28,9 cm³ en hombres y 24,9 cm³ en mujeres), el promedio femenino de este estudio es algo mayor, mientras que el masculino es ligeramente menor. Por otro lado, nuestros resultados son considerablemente más bajos que los de Sigrón et al.⁵, quienes documentaron un promedio de 31 cm³ en hombres.

Estas cifras muestran una coherencia general con los valores obtenidos en esta muestra chilena, aunque es importante reconocer la importancia de la metodología de segmentación, reflejada en la necesidad de realizar un consenso en la forma cómo se definen los límites de la órbita para los distintos software utilizados. Otros factores asociados a la muestra son la etnia² y la edad⁵.

Un hallazgo importante fue la asimetría leve entre ambas órbitas, con un volumen promedio de 27,05 cm³ para la derecha y 27,31 cm³ para la izquierda, resultando en una diferencia media de 0,81 cm³. Aunque esta diferencia fue estadísticamente significativa (prueba de Wilcoxon, $p < 0,001$), su magnitud es clínicamente irrelevante, pues no alcanza niveles que condicionan alteraciones funcionales o estéticas. Esta leve asimetría sin significancia clínica respalda la fuerte correlación bilateral descrita en la literatura. Por ejemplo, Walker et al.⁸ y Singh et al.⁹, no hallaron diferencias significativas entre ambas órbitas en población sana; Tandon et al.¹⁰, calcularon 0,8 sin significancia estadística ($p = 0,283$); Kallaverja et al.⁴, en su grupo control (no lesionados) demostraron que el promedio de las diferencias volumétricas de las órbitas sanas fue de ± 0,635. Estos resultados destacan el uso de biomodelos en espejos para realizar reconstrucciones orbitarias

complejas, ya que los volúmenes reportados entre órbitas derecha e izquierda en población sana no tienen diferencias clínicamente significativas⁵.

El análisis de potencia realizado posterior a la recolección de datos reveló un poder estadístico de 1,0 para la comparación entre el volumen orbital derecho e izquierdo, confirmando que la muestra utilizada fue adecuada para detectar diferencias clínicamente relevantes. Por otro lado, si bien se observaron diferencias promedio de volumen entre hombres y mujeres, el análisis de potencia estadística reveló que la comparación por sexo tuvo una potencia de solo 0,53. Este valor está por debajo del umbral recomendado (0,80), lo que sugiere que la muestra femenina fue insuficiente para detectar diferencias con robustez estadística. Futuros estudios con una mayor representación femenina podrían permitir una mejor evaluación de esta variable.

En relación con la edad, estudios como el de Ugradar y Lambros¹¹, demostraron mediante tomografía computarizada de alta resolución que el volumen óseo orbital tiende a aumentar progresivamente, observándose un incremento significativo en mujeres mayores en comparación con mujeres jóvenes, mientras que en hombres el cambio no fue significativo. De forma complementaria, investigaciones recientes reportaron una tendencia similar de aumento en el volumen, longitud y área de la órbita con la edad, aunque no siempre alcanzó significancia estadística, manteniéndose consistente en ambos sexos⁵. En este estudio, no se realizó estratificación por edad ni correlación con otros parámetros craneofaciales, lo que constituye una línea de investigación pendiente para futuros análisis.

Desde el punto de vista metodológico, el uso de *Brainlab* permite una segmentación detallada y semiautomatizada, pero con limitaciones. La delimitación automática de la anatomía ósea no siempre es precisa, requiriendo correcciones manuales. Además, la herramienta de corte rectangular para excluir tejidos blandos puede introducir sesgos si no se ajusta de forma individualizada. Estas consideraciones son relevantes dado que, como destaca Sentucq et al.¹², no existe consenso sobre el método óptimo de medición volumétrica orbital y los resultados pueden variar según el software y los reparos anatómicos utilizados.

A pesar de estas limitaciones, este estudio representa un avance hacia el establecimiento de un marco de referencia nacional para la anatomía orbital, útil para definir umbrales volumétricos que

orienten la intervención quirúrgica, especialmente en fracturas del piso o pared medial. Además, los datos obtenidos permitieron construir un modelo 3D promedio de la órbita chilena, imprimible y útil para precontornear mallas de reconstrucción y planificar cirugías. Este modelo ha sido puesto a disposición pública, y puede descargarse en formato STL desde Zenodo: <https://doi.org/10.5281/zenodo.15825274>.

Aprobación ética y consentimiento para participar

Este estudio se realizó conforme a las directrices institucionales. No se requirió aprobación ética, ya que se trató de un análisis retrospectivo de datos clínicos anonimizados, sin intervención ni riesgo para los pacientes.

Todos los pacientes habían firmado previamente formularios de consentimiento informado autorizando el uso de sus imágenes y datos clínicos con fines académicos y de investigación.

Consentimiento para publicación: Todos los datos fueron anonimizados y no se incluye en esta publicación información personal identificable.

Financiamiento: Esta investigación no recibió ninguna subvención específica de organismos financieros del sector público, comercial o sin fines de lucro.

Conflicto de intereses: Los autores declaran no tener conflictos de interés.

Contribución de los Autores

	Colaboración Académica													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Christian Pedemonte T.	x		x	x		x		x			x	x		
Araceli Chamorro V.	x			x	x	x	x		x	x		x	x	
Camilo Barrientos M.					x	x								
Ramses Palma S.		x		x	x	x								
Illich Vargas F.	x	x	x		x					x	x			
Luis Gonzalez M.	x	x	x				x		x	x	x			

1. Administración del proyecto; 2. Adquisición de fondos; 3. Análisis formal, 4. Conceptualización, 5. Curaduría de datos; 6. Escritura - revisión y edición, 7. Investigación; 8. Metodología; 9. Recursos, 10. Redacción - borrador original; 11. Software; 12. Supervisión; 13. Validación; 14. Visualización

Bibliografía

- Regensburg NI, Wiersinga WM, Van Velthoven MEJ, Berendschot TTJM, Zonneveld FW, Baldeschi L, et al. Age and Gender-Specific Reference Values of Orbital Fat and Muscle Volumes in Caucasians. *Br J Ophthalmol*. 2011;95(12):1660-3. <https://doi.org/10.1136/bjo.2009.161372>
- Amin D, Jeong J, Manhan AJ, Bouloux GF, Abramowicz S. Do Racial Differences in Orbital Volume Influence the Reconstruction of Orbital Trauma. *J Oral Maxillofac Surg*. 2022;80:121-6. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2021.07.030>
- González ME, Pedemonte TC, Vargas FI, Verdugo-Avello F. Evaluación clínica de la reconstrucción orbitaria post traumática mediante mallas de titanio. *Rev Chil Cir*. 2015;67(3):252-8. <https://doi.org/10.4067/S0718-40262015000300003>
- Kallaverja E, Barca I, Ferragina F, Cristofaro MG. Classical Orbital Floor Post-Traumatic Reconstruction vs. Customized Reconstruction with the Support of “In-House” 3D-Printed Models: A Retrospective Study with an Analysis of Volumetric Measurement. *Diagnostics*. 2024;14(12):1248. <https://doi.org/10.3390/diagnostics14121248>
- Sigron GR, Britschgi CL, Gahl B, Thieringer FM. Insights into orbital symmetry: a comprehensive retrospective study of 372 computed tomography scans. *J Clin Med*. 2024;13(4):1041. <https://doi.org/10.3390/jcm13041041>
- Bontzos G, Papadaki E, Mazonakis M, Maris GT, Kapsala Z, Blazaki S, et al. Quantification of effective orbital volume and its association with axial length of the eye. A 3D-MRI study. *Romanian J Ophthalmol*. 2019;63(4):360-6. <https://doi.org/10.22336/RJO.2019.56>
- Andrades P, Cuevas P, Hernández R, Danilla S, Villalobos R. Characterization of the orbital volume in normal population. *J Cranio-Maxillofac Surg*. 2018;46(4):594-9. <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2018.02.003>
- Walker ET, Lightfoot E, Walshaw EG, Taylor R, Douglas J, Carter LM, Parmar JD. Quantitative Assessment of Bony Orbital Volume Symmetry: CT Analysis in the Uninjured Caucasian Population. *Br J Oral Maxillofac Surg*. 2022;60(7):945-50. <https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2022.02.002>
- Singh J, Rahman RA, Rajion ZA, Abdullah J, Mohamad I. Orbital Morphometry: A Computed Tomography Analysis. *J Craniofac Surg*. 2017;28(1):e64-e70. <https://doi.org/10.1097/SCS.0000000000003218>
- Tandon R, Aljadeff L, Ji S, Finn RA. Anatomic Variability of the Human Orbit. *J Oral Maxillofac Surg*. 2020;78:782-96. <https://doi.org/10.1016/j.joms.2019.11.032>
- Ugradar S, Lambros V. Orbital volume increases with age: a computed tomography-based volumetric study. *Ophthalmic Plast Reconstr Surg*. 2019;35(5):434-7.
- Sentucq C, Schlund M, Bouet B, Girms M, Ferri J, Jacques T, et al. Overview of tools for the measurement of the orbital volume and their applications to orbital surgery. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2021 Mar;74(3):581-91. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2020.08.101>