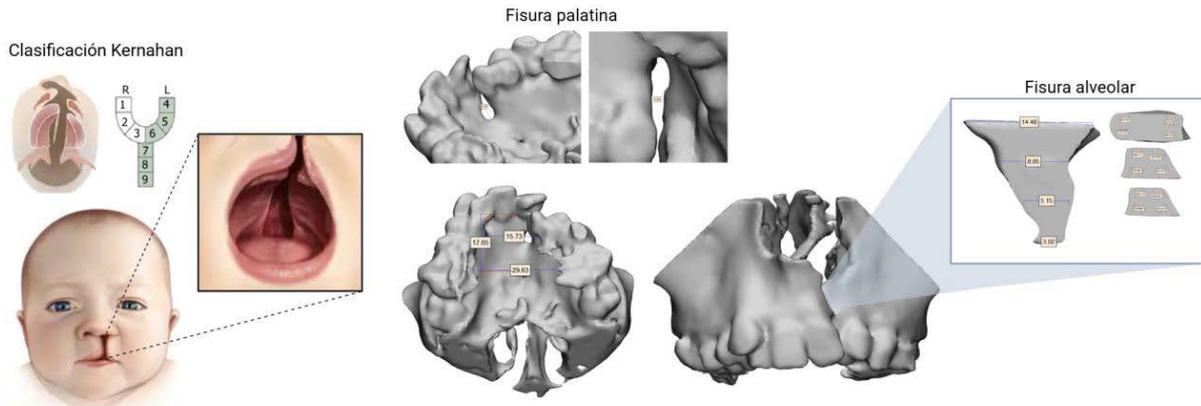




Biotecnología
aplicada a la salud



BIOMOD

El injerto óseo autólogo es una técnica común en la cirugía reconstructiva de la fisura labio palatina (CLP), que utiliza el propio tejido óseo del paciente para restaurar la anatomía maxilofacial y mejorar la funcionalidad. Aunque esta técnica tiene una alta tasa de éxito en términos de osteointegración, en algunos casos la integración del injerto no es óptima, lo que puede causar complicaciones y requerir intervenciones adicionales. La interacción mecánica entre el injerto y el hueso circundante es fundamental para la osteointegración, ya que las fuerzas biomecánicas afectan directamente la actividad celular y la remodelación ósea. Si las tensiones son demasiado bajas, no se consigue el contacto adecuado entre el injerto y el hueso, lo que dificulta la integración. Por el contrario, si las tensiones son excesivas, se genera un estrés celular que puede interferir con la remodelación ósea, afectando la estabilidad y la funcionalidad del injerto a largo plazo. Comprender estos factores biomecánicos es esencial para optimizar la curación y reducir el riesgo de complicaciones. En este proyecto se ha realizado un modelo biomecánico de CLP a partir de casos clínicos combinando un modelo físico con modelos virtuales a partir del método de elementos finitos. A partir de TACs de diversos pacientes, se generaron modelos tridimensionales del maxilar, aplicando un protocolo que incluyó la segmentación de imágenes, discretización, mallado, asignación de propiedades materiales y la definición de condiciones de contorno. Con estos modelos, se realizaron simulaciones biomecánicas para estudiar cómo la geometría y el posicionamiento del injerto afectan la distribución de tensiones en la zona de la fisura evaluando diferentes escenarios y considerando variaciones en la colocación del injerto, como su impacto y alineación con la posición planificada. Los resultados incluyen la obtención de un modelo avanzado y preciso como herramienta para estudiar la CLP, así como para personalizar el posicionamiento óptimo del injerto en cada paciente, mejorando así la planificación quirúrgica.



Biotecnología
aplicada a la salud

En este estudio, se ha desarrollado un modelo biomecánico avanzado basado en el método de elementos finitos para representar de manera precisa las propiedades mecánicas del tejido óseo. Este modelo ha sido validado mediante correlación con un modelo físico, garantizando su capacidad para recrear las características del tejido y las sensaciones experimentadas por los cirujanos durante procedimientos quirúrgicos. Esto no solo asegura una mejor comprensión del comportamiento biomecánico del maxilar, sino que también proporciona una herramienta útil para planificar intervenciones quirúrgicas con mayor eficacia.

Con el objetivo de optimizar el rendimiento computacional, el modelo fue simplificado al maxilar, asegurando que dicha simplificación no comprometiera la validez ni la precisión del análisis de resultados posteriores. Se generó una malla homogénea con una longitud de triángulo de 1 mm, empleando el software Mimics Materialise. La calidad de la malla fue evaluada en términos de la uniformidad de los elementos y su capacidad para representar adecuadamente la geometría del maxilar, garantizando una distribución de tensiones precisa. La malla generada presentó una alta calidad, con elementos bien definidos que aseguraron una correcta resolución en el análisis sin comprometer el rendimiento computacional. Posteriormente, se prepararon diferentes simulaciones con el software ANSA para analizar la distribución de tensiones de Von Mises y desplazamientos en el maxilar antes de la cirugía (0M) y seis meses después (6M).

Se desarrolló una simulación que replicó el proceso de masticación completa, en la que se incorporaron las restricciones pertinentes para asegurar que el dominio utilizado reflejara adecuadamente la anatomía del cráneo. Asimismo, se aplicaron fuerzas de masticación en la zona oclusal, la cual fue subdividida en tres regiones: anterior, premolar y molar. Este enfoque permitió analizar de manera detallada la distribución de tensiones en las distintas áreas de la cavidad bucal durante la masticación.

Los cálculos realizados mediante ANSYS y analizados con el software Meta permitieron observar visualmente y cuantificar la distribución de tensiones de Von Mises. En los casos con osteointegración correcta, el modelo postoperatorio mostró una ligera descarga en la región del paladar, acompañada de una distribución más homogénea y simétrica de las tensiones en comparación con el modelo prequirúrgico. Este hallazgo sugiere que la cirugía logra optimizar la distribución de cargas, reduciendo puntos de tensión crítica que podrían comprometer el éxito del procedimiento.



Biología aplicada a la salud

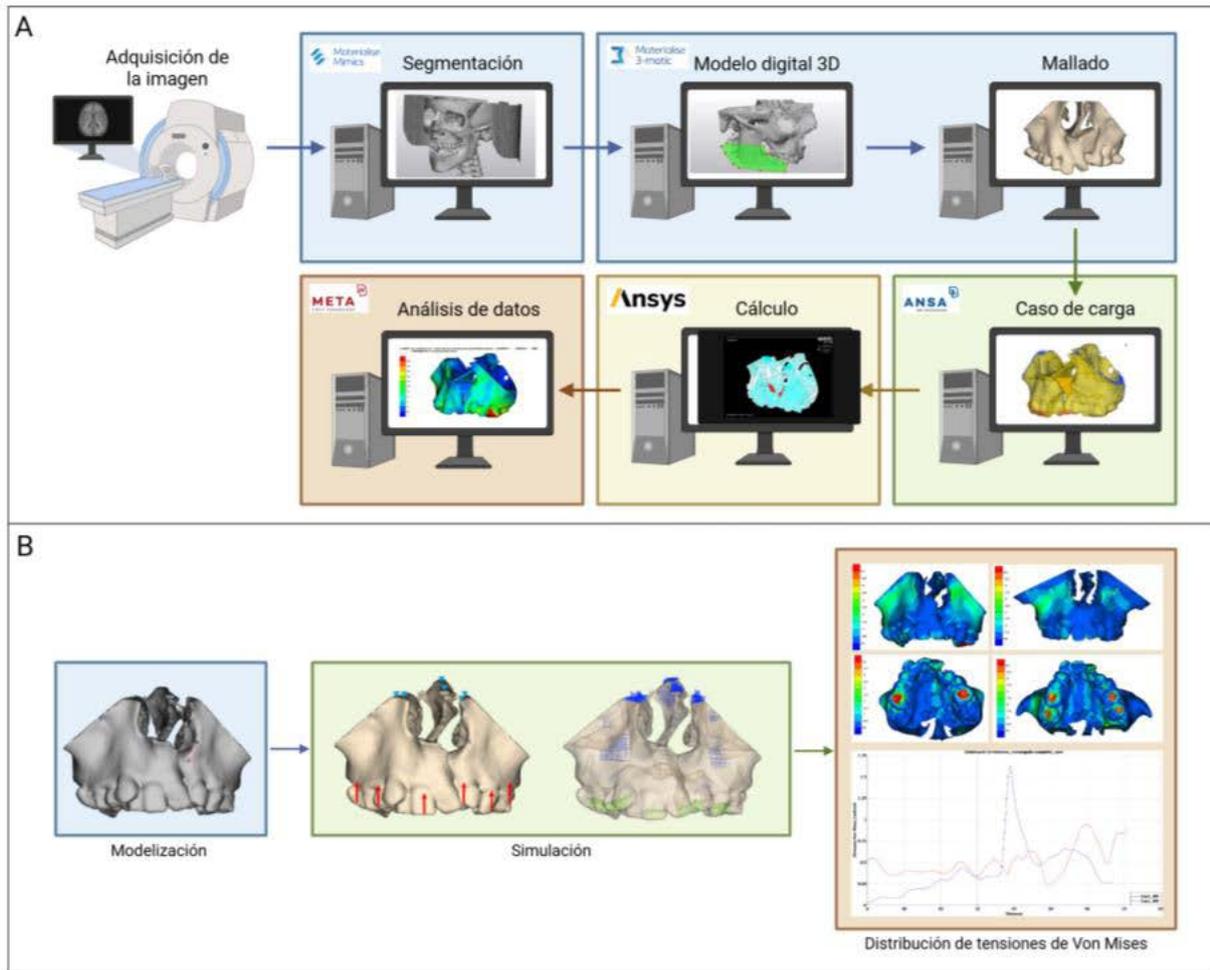


Figura 1. Etapas del procedimiento: discretización del modelo, preparación del caso de carga y análisis de resultados.

El modelo también se utilizó para realizar simulaciones que analizaron la distribución de tensiones en distintos escenarios de colocación del implante vestibular. Se evaluaron cinco casos: la posición planificada, una colocación con 1 mm más de impacto, otra con 1 mm menos de impacto, y dos escenarios adicionales con 1/3 y 2/3 del implante vestibular. Este análisis permitió identificar la colocación óptima del implante para lograr una distribución de tensiones más equilibrada y simétrica, comparable a los casos exitosos de osteointegración. Estos hallazgos destacan la importancia de ajustar con precisión la posición del implante durante la planificación quirúrgica, con el objetivo de mejorar los resultados funcionales a largo plazo.

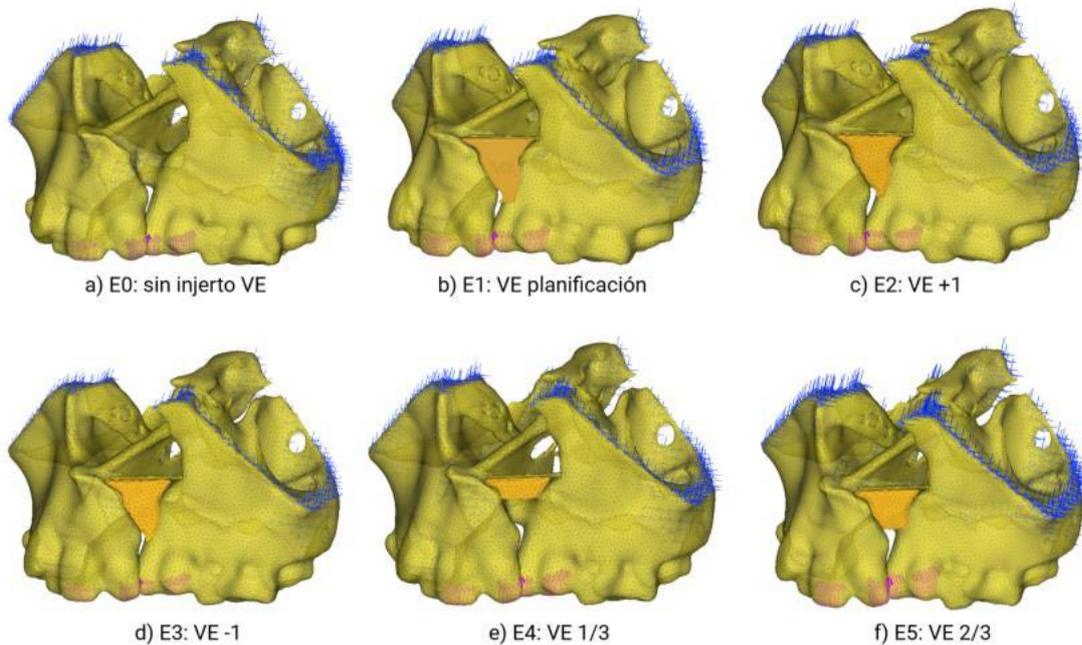


Figura 2. Preparación de simulaciones para distintos escenarios de colocación del implante vestibular.

Finalmente, los casos estudiados, que corresponden a fisuras unilaterales, han sido clasificados de acuerdo con la clasificación de Kernahan, variando entre los tipos 7, 8 y 9. Además, se han analizado las características de las fisuras palatinas y alveolares en pacientes osteointegrados y no osteointegrados. Este análisis resulta crucial para comprender el impacto de estas condiciones en el comportamiento del maxilar, así como su influencia en la distribución de tensiones mecánicas, lo que a su vez afecta el éxito de la cirugía.

La información obtenida en este estudio se presenta como una herramienta clave para optimizar la planificación quirúrgica y mejorar las tasas de éxito en los tratamientos de fisura labio palatina. Además, esta base de datos será utilizada para alimentar una red neuronal en desarrollo, con el objetivo de predecir el éxito o fracaso de un caso quirúrgico y determinar qué parámetros deben ser considerados para garantizar mejores resultados en los tratamientos.

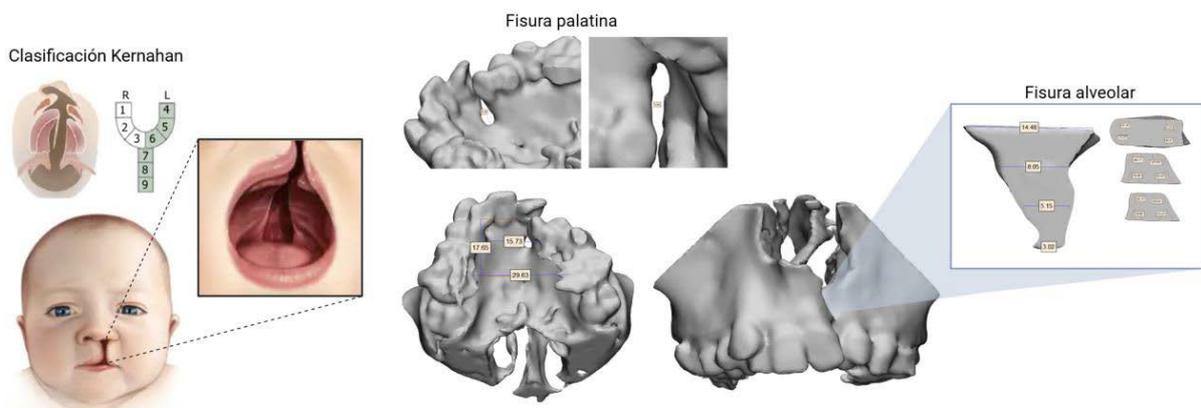


Figura 3. Caracterización de la fisura labio palatina y paladar hendido.