

Se cree que la medicina in silico supondrá uno de los cambios más disruptivos en el futuro próximo. A lo largo de la última década se ha invertido un gran esfuerzo en el desarrollo de modelos computacionales predictivos para mejorar el poder de diagnóstico de los médicos y la efectividad de las terapias. Un punto clave de esta revolución, será la personalización, que conlleva en la mayoría de los casos, la creación de modelos computacionales específicos de paciente, también llamados gemelos digitales. Esta práctica está actualmente extendida en la investigación y existen en el mercado varias herramientas de software que permiten obtener modelos a partir de imágenes. A pesar de eso, para poderse usar en la práctica clínica, estos métodos se necesitan reducir drásticamente el tiempo y el trabajo humano necesarios para la creación de los modelos numéricos.

Esta tesis se centra en la propuesta de la versión basada en imágenes del *Cartesian Grid Finite Element Method (cgFEM)*, una técnica para obtener de forma automática modelos a partir de imágenes y llevar a cabo análisis estructurales lineales de huesos, implantes o materiales heterogéneos.

En la técnica propuesta, tras relacionar la escala de los datos de la imagen con valores de propiedades mecánicas, se usa toda la información contenida en los pixels para evaluar las matrices de rigidez de los elementos que homogenizan el comportamiento elástico de los grupos de píxeles contenidos en cada elemento. Se *h*-adapta una malla cartesiana inicialmente uniforme a las características de la imagen usando un procedimiento eficiente que tiene en cuenta las propiedades elásticas locales asociadas a los valores de los píxeles. Con eso, se evita un suavizado excesivo de las propiedades elásticas debido a la integración de los elementos en áreas altamente heterogéneas, pero, no obstante, se obtienen modelos finales con un número razonable de grados de libertad. El resultado de este proceso es una malla no conforme en la que se impone la continuidad C_0 de la solución mediante restricciones multi-punto en los *hanging nodes*.

Contrariamente a los procedimientos estándar para la creación de modelos de Elementos Finitos a partir de imágenes, que normalmente requieren la definición completa y *watertight* de la geometría y tratan el resultado como un CAD estándar, con *cgFEM* no es necesario definir ninguna entidad geométrica dado que el procedimiento propuesto conduce a una definición implícita de los contornos. Sin embargo, es inmediato incluirlas en el modelo en el caso de que sea necesario, como por ejemplo superficies suaves para imponer condiciones de contorno de forma más precisa o volúmenes CAD de dispositivos para la simulación de implantes. Como consecuencia de eso, la cantidad de trabajo humano para la creación de modelos se reduce drásticamente.

En esta tesis, se analiza en detalles el comportamiento del nuevo método en problemas 2D y 3D a partir de CT-scan y radiografías sintéticas y reales, centrándose en tres clases de problemas. Estos incluyen la simulación de huesos, la caracterización de materiales a partir de TACs, para lo cual se ha desarrollado la *cgFEM virtual characterisation technique*, y el análisis estructural de futuros implantes, aprovechando la capacidad del *cgFEM* de combinar fácilmente imágenes y modelos de CAD.