

TOPOLOGÍAS VIRTUALES EN ESTUDIOS DE DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL SOBRE MODELOS DEL ÁRBOL BRONQUIAL OBTENIDOS DE IMÁGENES MÉDICAS.

Marcos-Romero Alfonso Carlos^{1*}, Agujetas-Ortiz Rafael², Ferrera-Llera Conrado², Canito-Lobo José Luis¹, Blanco-Marigorta Eduardo³.

- 1) Departamento de Expresión Gráfica, Universidad de Extremadura, Avda. de Elvas s/n, 06006, Badajoz
- 2) Departamento de Ingeniería Mecánica, Energética y de los Materiales, Universidad de Extremadura, Avda. de Elvas s/n, 06006, Badajoz
- 3) Departamento de Energía, Universidad de Oviedo, C/ Gonzalo Gutiérrez Quirós s/n, 33600, Mieres, Asturias

*acmarcos@unex.es

RESUMEN

El estudio del flujo de aire en los pulmones nos permite estudiar la deposición de partículas en el mismo ya sea para estudiar diferentes enfermedades como las EPOC (Enfermedades Pulmonares Obstructivas Crónicas) o el asma, así como el suministro de medicamentos, siendo esta vía una de las principales entradas al cuerpo humano. Para entender mejor el desarrollo del flujo de aire en los pulmones se recurre a técnicas de dinámica de fluidos computacional sobre modelos 3D del árbol bronquial. Con el paso de los años se ha pasado de utilizar simplificaciones idealizadas del mismo a complejas representaciones reales. En este trabajo se estudia la generación de geometrías virtuales con el fin de simplificar las topologías de modelos de representación por contornos obtenidos por triangulación de una nube de puntos obtenida de imágenes de tomografía computarizada del tracto respiratorio. El fin del uso de este método es poder contar con un modelo más simple que permita un mejor mallado del modelo que reduzca los tiempos de edición de malla y de resolución numérica del flujo. Se obtienen de esta forma no sólo mallas de mejor calidad, sino también un modelo numérico que refleja la geometría real de una manera más eficiente.

PALABRAS CLAVE: Pulmón, Dinámica de Fluidos Computacional, Topología Virtual, Modelo de Representación por Contornos.

1. INTRODUCCIÓN

Las técnicas de dinámica de fluidos computacional, CFD (Computational Fluid Dynamics), tienen múltiples los campos de aplicación. Su uso supone una serie de ventajas como una reducción sustancial de tiempos y costes en los nuevos diseños o la posibilidad de analizar sistemas o condiciones muy difíciles de simular experimentalmente. Para su desarrollo se utilizan distintos programas, comerciales o no, bajo la misma filosofía de trabajo cuyos primeros pasos, modelado geométrico y mallado, están muy relacionados con la ingeniería gráfica. El resto de pasos están más relacionados con mecánica de fluidos y es por lo que en este tipo de grupos de investigación es importante disponer de personas especialistas en este campo.

La importancia de la ingeniería gráfica en los primeros pasos del proceso es determinante para el éxito del estudio fluidodinámico que se esté empleando y se centra en resolver los problemas que se presentan en la calidad del modelo 3D que representa el volumen fluido a estudiar, dónde los principales avances se están dando en la introducción del modelado paramétrico, y en nuevos métodos de mallado de las geometrías. Cada nueva aplicación representa un nuevo reto en el que un equipo multidisciplinar de investigadores formados en ingeniería gráfica, mecánica de fluidos y expertos en el campo de actuación del proceso (cardiólogos, neumólogos y oftalmólogos en nuestro caso) que deben trabajar juntos para lograr los mejores resultados.

2. RESULTADOS DE LA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

La aplicación de las técnicas CFD al cuerpo humano no es nueva, sin embargo aún están en desarrollo muchas líneas de investigación de aplicación de estas técnicas para entender diferentes procesos que se producen en el cuerpo humano como el desarrollo del flujo de aire en los pulmones, la circulación de la sangre, la dinámica del humor acuoso en los ojos, etc... Aunque las técnicas CFD lleven muchos años con nosotros en aplicaciones industriales, en el caso de aplicaciones biomédicas aún queda mucho por hacer.

El trabajo al que se refiere el título de este trabajo está relacionado con el estudio del flujo de aire en los pulmones. La correcta definición geométrica del problema condiciona el éxito de todo el proceso, pero en el caso de la representación de las vías aéreas, este es un problema especialmente complejo debido en gran parte a su forma fractal.

Por lo general se ha recurrido a representaciones ideales de la geometría con más o menos complejidad, y recientemente se tiende a obtener modelos paramétricos del mismo.

El principal problema a la hora de utilizar la geometría real de las vías aéreas obtenida de un CT se encuentra en la complejidad de las superficies obtenidas. Por un lado debido a la propia complejidad del pulmón. La geometría de las vías aéreas, al igual que otras geometrías del cuerpo

humano como las del sistema circulatorio, presenta una superficie irregular con características propias que dependen de cada individuo que la hacen difícil de modelar para ser estudiada mediante técnicas de dinámica de fluidos computacional (CFD). En el caso del pulmón humano, nos enfrentamos además a una geometría especialmente complicada por su carácter fractal, debido a la propia función del pulmón como intercambiador de gases, que hace que afrontemos diferentes escalas en un mismo modelo lo que dificulta en gran medida la obtención de la malla final para el estudio CFD.

Además, el propio proceso de obtención del modelo 3D, a partir de las imágenes CT, resulta en una nube de puntos que unidos forman una superficie facetada en miles de triángulos de mayor o menor tamaño en función de la resolución elegida para su representación. La malla del modelo numérico (la discretización del modelo para su resolución numérica) debe adaptarse a esta malla poligonal que conforma la geometría del modelo lo que restringe excesivamente la posición de las celdas. Si se elige un tamaño de celda grandes estas tenderán a deformarse para respetar las aristas encontradas en la geometría del modelo CT dando lugar a errores en el posterior proceso de cálculo por lo que para mantener una calidad de mallado aceptable es necesario recurrir a mallados con un gran número de celdas, de tamaño más pequeño que puedan adaptarse mejor a la malla poligonal y que va a resultar en unos tiempos de computación mucho mayores.

La primera opción para obtener una geometría más limpia pasa por modificar la geometría uniendo o eliminando las superficies que puedan dar problemas en el mallado. El problema de estas técnicas es que puede perderse información geométrica relevante del modelo original. Por este motivo, se ha sugerido el uso de topologías virtuales para ajustar la malla en la mejor medida posible a la geometría de partida y así simular lo más fielmente posible la geometría de partida.

En el artículo que da nombre a esta comunicación se estudia la influencia del modelo obtenido a partir de las imágenes CT en la calidad del mallado proponiendo las mejores técnicas de modelado, determinando una resolución óptima del modelo CT para su posterior mallado y del propio proceso de mallado, con el uso de algoritmos de mallados comerciales y topologías virtuales para obtener una malla de calidad que dé el mejor resultado del estudio numérico del flujo de aire en los pulmones.

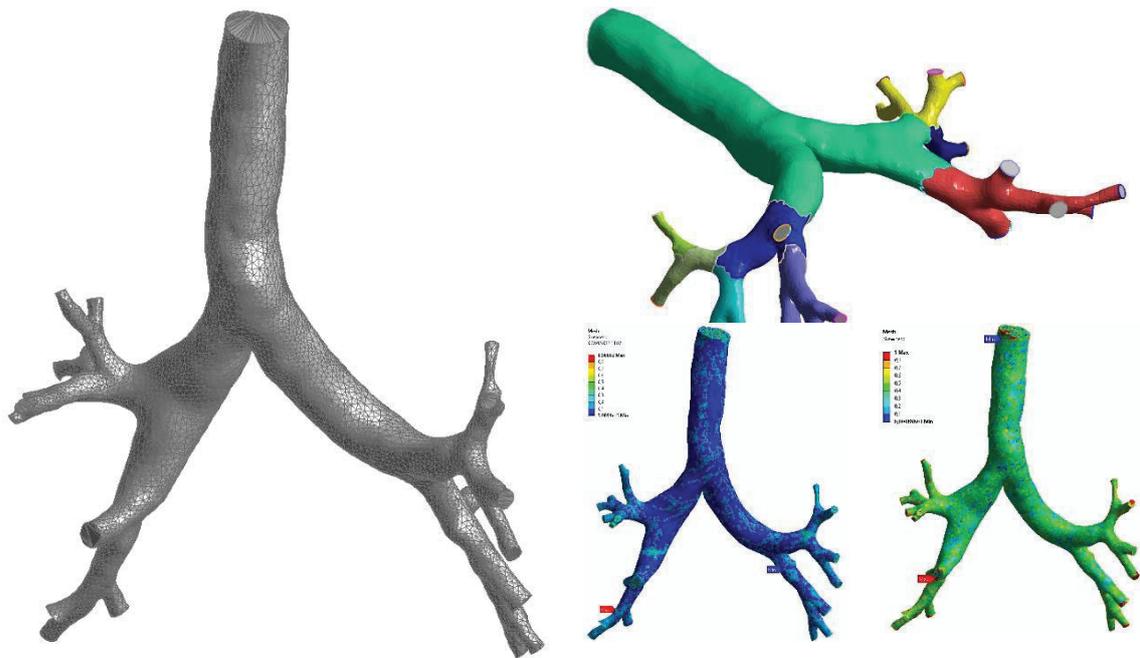


Figura 1. Generación Manual de Modelos

En esta misma línea de investigación se ha trabajado con modelos ideales y geometrías paramétricas que permiten estudiar la influencia de los parámetros geométricos de las vías aéreas en el flujo de aire y estudiar la deposición de partículas. Esto último es de gran importancia dado que el aparato respiratorio es la principal vía de entrada de medicamentos en el cuerpo humano.



Figura 2. Modelos paramétricos de vías aéreas humanas

Estas técnicas de obtención de imágenes médicas que permiten ser utilizadas en el proceso de trabajo CFD, unidas a la edición y parametrización de la geometría obtenida permite trabajar de igual forma con el sistema circulatorio y en el estudio de la dinámica del humor acuoso con el fin de estudiar la implantación de lentes intraoculares y el glaucoma, casos en los que se está ampliando esta línea de investigación.

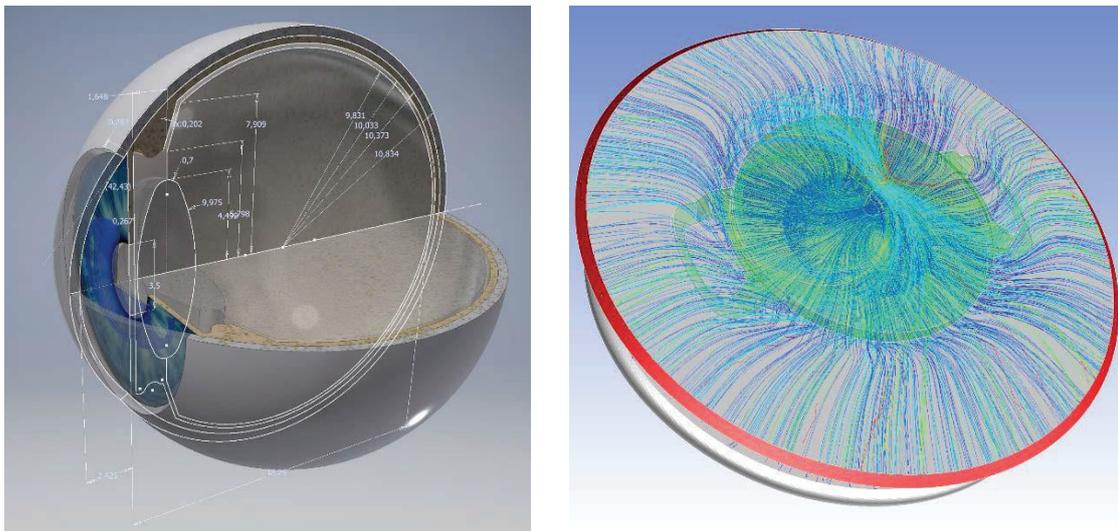


Figura 3. Flujo del humor acuoso en modelos paramétricos

2.1 ARTÍCULOS Y PONENCIAS

Alfonso Carlos Marcos, Alberto Marcos, Ana F. Tena, Pere Casan, Raúl Barrio. **Nueva metodología para la generación de la geometría de la zona conductiva inferior de las vías respiratorias del pulmón.** XVI Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. 2012. Valencia

Ana Fernández Tena, A. Marcos, A. I. Enríquez, R. Guzmán, H. Jiménez, L. Vigil, P. Casan. **Modelo tridimensional de la vía aérea para la simulación del depósito de partículas inhaladas.** Archivos de Bronconeumología, Junio 2012, Núm. Esp. Congreso - Vol. 48 (1 - 296). Impact Factor 1,372

A. F. Tena, P. Casan, J. Fernández, C. Ferrera, A. Marcos. **Characterization of particle deposition in a lung model using an individual path.** EPJ Web of Conferences, 45 01079 (2013), DOI:10.1051/epjconf/34501079

Ana F. Tena, Pere Casan, Alfonso Marcos, Raúl Barrio, Jorge Parrondo. **A methodology for geometry generation of the lower conductive zone of the lung airways and simulation by intermediate boundary conditions.** Proceedings of Fluids Engineering Summer Meeting, FEDSM2012-72419, pp. 847-854; 8 pages DOI:10.1115/ FEDSM2012- 72419

R. Agujetas; C. Ferrera¹; A. C. Marcos; J. P. Alejo; J. M. Montanero. **Numerical and experimental analysis of the transitional flow across a real stenosis.** *Biomech Model Mechanobiol*, 2017. DOI: 10.1007/s10237-017-0898-2.

3. EQUIPO INVESTIGADOR

Datos de los miembros del equipo de investigación.

Nombre: José Luis Canito Lobo
Centro: Universidad de Extremadura
Departamento: Departamento de Expresión Gráfica
Categoría: Titular de Universidad

Nombre: Alfonso Carlos Marcos Romero
Centro: Universidad de Extremadura
Departamento: Departamento de Expresión Gráfica
Categoría: Ayudante

- Nombre:** Rafael Agujetas Ortíz
Centro: Universidad de Extremadura
Departamento: Departamento de Ingeniería Mecánica, Energética y de los Materiales
Categoría: Personal Investigador
- Nombre:** Conrado Ferrera Llera
Centro: Universidad de Extremadura
Departamento: Departamento de Ingeniería Mecánica, Energética y de los Materiales
Categoría: Contratado Doctor
- Nombre:** José María Montanero Fernández
Centro: Universidad de Extremadura
Departamento: Departamento de Ingeniería Mecánica, Energética y de los Materiales
Categoría: Catedrático de Universidad
- Nombre:** Joaquín Fernández Francos
Centro: Universidad de Oviedo
Departamento: Departamento de Energía
Categoría: Titular de Universidad
- Nombre:** Eduardo Blanco Marigorta
Centro: Universidad de Oviedo
Departamento: Departamento de Energía
Categoría: Titular de Universidad



Congreso INGEGRAF Gijón 26, 27 de junio de 2017

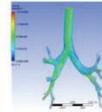
NUEVOS MODELOS DE INVESTIGACIÓN Y COLABORACIÓN EN INGENIERÍA GRÁFICA

TOPOLOGÍAS VIRTUALES EN ESTUDIOS DE DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL SOBRE MODELOS DEL ÁRBOL BRONQUIAL OBTENIDOS DE IMÁGENES MÉDICAS

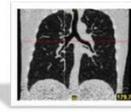
A.C. Marcos Romero acmarcos@unex.es	R. Agujetas Ortiz rao@unex.es	C. Ferrera Llera cfl@unex.es	J.L. Canito Lobo jlcanto@unex.es	E. Blanco-Marigorta emarigorta@uniovi.es
--	----------------------------------	---------------------------------	-------------------------------------	---

RESUMEN

El estudio del flujo de aire en los pulmones nos permite estudiar la deposición de partículas en el mismo ya sea para estudiar diferentes enfermedades como las EPOC (Enfermedades Pulmonares Obstructivas Crónicas) o el asma, así como el suministro de medicamentos, siendo esta vía una de las principales entradas al cuerpo humano. Para entender mejor el desarrollo del flujo de aire en los pulmones se recurre a técnicas de dinámica de fluidos computacional sobre modelos 3D del árbol bronquial. Con el paso de los años se ha pasado de utilizar simplificaciones idealizadas del mismo a complejas representaciones reales. En este trabajo se estudia la generación de geometrías virtuales con el fin de simplificar las topologías de modelos de representación por contornos obtenidos por triangulación de una nube de puntos obtenida de imágenes de tomografía computarizada del tracto respiratorio. El fin del uso de este método es poder contar con un modelo más simple que permita un mejor mallado del modelo que reduzca los tiempos de edición de malla y de resolución numérica del flujo. Se obtienen de esta forma no sólo mallas de mejor calidad, sino también un modelo numérico que refleja la geometría real de una manera más eficiente.

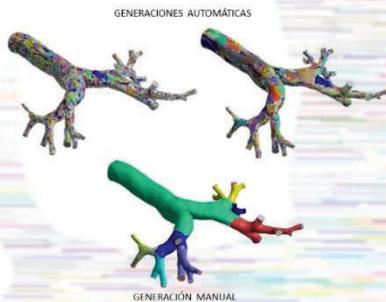


Simulación



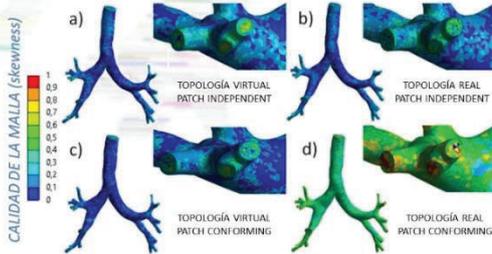
TC

GENERACIÓN DE TOPOLOGÍAS VIRTUALES



Para la generación de la topología virtual se ha utilizado ANSYS. Este paquete permite realizar uniones automáticas de las superficies en función del ángulo entre ellas pero el mejor resultado se logró operando manualmente sobre ellas.

RESULTADOS



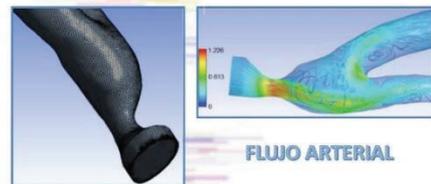
	Número de elementos	Tiempo de mallado (min)	Skewness medio	Aspect Ratio medio
a	544946	< 5	0.22444	4.9245
b	797180	120	0.24394	5.0007
c	978816	30	0.2359	5.1671
d	462279	< 5	0.3393	5.4669

OTROS TRABAJOS DE ESTA LÍNEA DE INVESTIGACIÓN

DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL

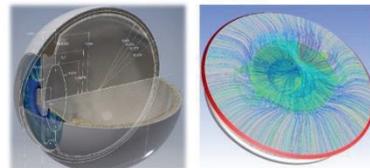


MODELOS PARAMÉTRICOS DE LAS VÍAS AÉREAS HUMANAS



FLUJO ARTERIAL

FLUJO DEL HUMOR ACUOSO EN OJOS PARAMÉTRICOS



Agradecimientos: Junta de Extremadura (Proyecto GR15050 - Grupo de investigación TIC008) cofinanciado por fondos Europeos (FEDER).

