

## Reconstrucción de tumores sólidos pulmonares en sistemas tridimensionales

### Reconstruction of Solid Lung Tumors in Three-dimensional Systems

María Teresa de la Cruz Padilla<sup>1</sup> \*  
Jorge Alejandro Jiménez Garí<sup>1</sup>

[0009-0004-5931-8504](https://doi.org/10.1016/j.rim.2024.05.004)

[0000-0001-9586-5354](https://doi.org/10.1016/j.rim.2024.05.004)

<sup>1</sup>Universidad de las Ciencias Informáticas. La Habana, Cuba.

\*Autor para la correspondencia: [mteresadlcp@uci.cu](mailto:mteresadlcp@uci.cu)

#### RESUMEN

En el campo de la radiología, se emplean diversas técnicas de imagen para el diagnóstico de enfermedades y la asistencia en intervenciones quirúrgicas, especialmente para determinar la ubicación y dimensiones exactas de los tumores sólidos de pulmón. La Tomografía Axial Computarizada es una técnica comúnmente utilizada para evaluar la naturaleza maligna o benigna de los tumores sólidos de pulmón y estudiar las estructuras pulmonares con imágenes de alta resolución. En este sentido, se desarrolló un algoritmo basado en técnicas de representación tridimensional utilizando Marching Cubes; este detecta contornos para crear representaciones 3D de tumores sólidos, utiliza un umbral para determinar qué partes incluir en la representación final y genera vértices y triángulos en la interfaz entre el interior y el exterior del tumor, formando así la representación 3D completa. Esta información es valiosa para evaluar la progresión del tumor a lo largo del tiempo, monitorizar la respuesta al tratamiento y realizar comparaciones entre diferentes pacientes o grupos de estudio.

**Palabras clave:** cáncer; tumor sólido; reconstrucción 3D.

#### ABSTRACT

In the field of radiology, various imaging techniques are used for disease diagnosis and surgical interventions, especially to determine the exact location and dimensions of solid lung tumors. Computed Tomography is commonly used to assess the benign or malignant nature of solid lung tumors and study lung structures with high-resolution images. In this context, an algorithm based on 3D representation techniques using Marching Cubes has been developed. This algorithm detects contours to create 3D representations of solid tumors, uses a threshold to determine which parts to include in the final representation, and generates vertices and triangles at the interface between the tumor's interior and exterior, thus forming the complete 3D representation. This information is valuable for evaluating tumor progression over time,



monitoring treatment response, and making comparisons between different patients or study groups.

**Keywords:** cancer; solid tumor; 3D rendering.

**Recibido:** 20/06/2024

**Aprobado:** 16/07/2024

## Introducción

El cáncer es un problema de salud con alta incidencia y mortalidad. Es provocado por la proliferación y crecimiento descontrolado de un grupo de células, que poseen la capacidad de invadir localmente y a distancia otros tejidos. Un tumor sólido pulmonar es un crecimiento anormal de células que se origina en los tejidos del pulmón y que forma una masa sólida. <sup>(1)</sup> Los tumores sólidos pulmonares pueden ser benignos o malignos, y se pueden clasificar en carcinoma de células no pequeñas y carcinoma de células pequeñas. El diagnóstico de un tumor sólido pulmonar generalmente se realiza mediante una combinación de pruebas, como radiografías, resonancia magnética (IRM) y tomografías computarizadas (TAC). <sup>(2)</sup>

El cáncer de pulmón en Cuba ha tenido un comportamiento similar al resto de los países. En el 2019 las cifras de defunción por cáncer en tráquea, bronquios y pulmón, fueron de 5 626, con una tasa de mortalidad de 50,1 por cada 100 000 habitantes. <sup>(3)</sup> Es la primera causa de mortalidad por cáncer en el varón y la tercera, después del de colon y mama, en la mujer. Se calcula que alrededor de 90 % de los pacientes con cáncer de pulmón mueren a causa de esta enfermedad. <sup>(4)</sup> La alta exposición de la población a los factores de riesgo de esta neoplasia, el incremento de las defunciones por esta causa, así como la mayor incidencia en las poblaciones jóvenes convierten a esta enfermedad en un problema de salud de alta preocupación. <sup>(5)</sup>

Para el diagnóstico del cáncer de pulmón se emplean técnicas de obtención de imágenes como la TAC, utilizada para crear imágenes detalladas de los órganos internos, los huesos, los tejidos blandos y los vasos sanguíneos. <sup>(6)</sup> Con el fin de ayudar a los radiólogos y oncólogos en la planificación fiable del diagnóstico, son necesarios nuevos métodos y herramientas precisas para fortalecer las existentes, como la representación tridimensional de tumores sólidos, ya que proporciona una comprensión más completa de la estructura y la extensión del tumor. Wake y colaboradores mostraron la experiencia de su centro con modelos 3D para planificación quirúrgica en otros tipos de cáncer. <sup>(7)</sup> Destacaron que los modelos 3D servían para tener un mejor conocimiento de la patología y de las relaciones anatómicas entre el tumor y estructuras importantes como vasos sanguíneos. En otro de sus artículos afirmaban que los modelos 3D habían modificado en un 30-50% la aproximación quirúrgica respecto a la planificación realizada con pruebas de imagen. <sup>(8)</sup>

A partir de estas consideraciones se realizó un estudio acerca de los métodos de representación 3D que permiten la visualización y segmentación del tumor en tres dimensiones, lo que puede



reducir el error humano en la medición, resaltando entre estos el algoritmo Marching Cubes, que es un método simple y bastante popular para extraer iso-superficies de funciones implícitas o información tridimensional discreta, este utiliza un enfoque basado en la detección de contornos. <sup>(9)</sup> Divide la ROI en una cuadrícula 3D y examina cada celda de la cuadrícula para determinar si atraviesa o no la superficie del tumor sólido. Esto se hace comparando los valores de intensidad de los píxeles dentro de la celda con un umbral predefinido que permite determinar qué partes de la estructura 3D se incluirán en la representación final, este se basa en la intensidad de los píxeles en la imagen, los píxeles con una intensidad superior al umbral se consideran parte de la estructura y se incluyen en la representación 3D. <sup>(10)</sup> Es importante tener en cuenta que la elección del umbral es sensible a cambios y debe ajustarse a las características del tumor para cada caso de prueba.

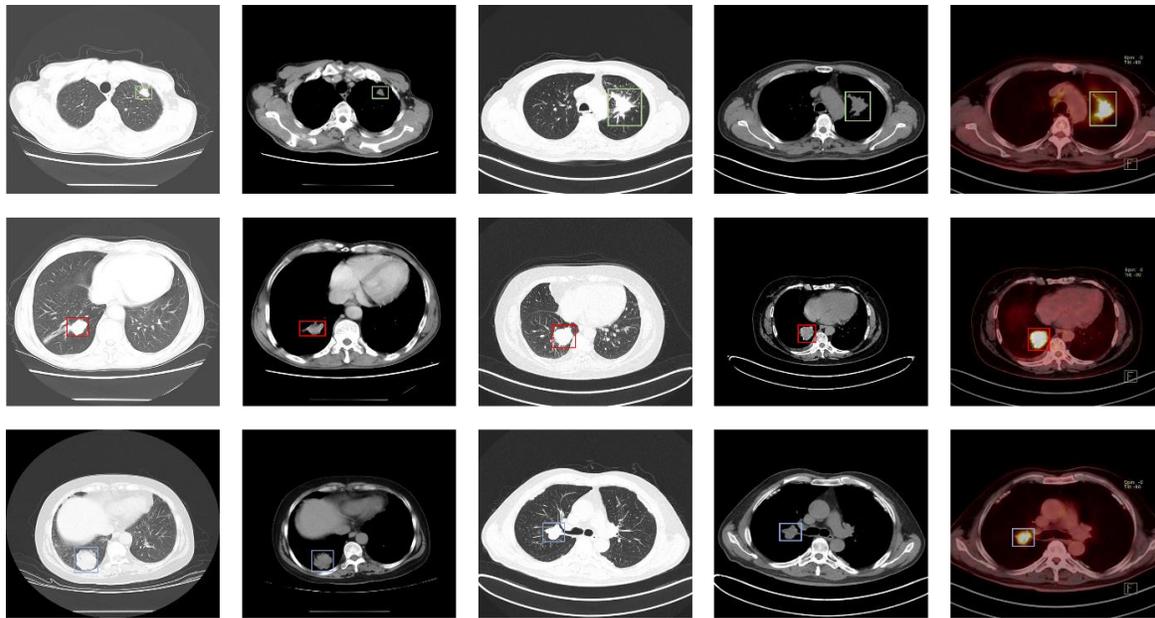
La versatilidad de estos modelos anatómicos ha dado lugar a diferentes aplicaciones en distintos ámbitos y especialidades de la medicina, debido a que esta representación permite a los médicos planificar y llevar a cabo tratamientos más precisos, como la radioterapia o la cirugía, al proporcionar una visión detallada de la ubicación y la forma del tumor. Teniendo en cuenta estos aspectos se pretende desarrollar un algoritmo para la reconstrucción tridimensional de tumores sólidos pulmonares.

## Materiales y Métodos

El Instituto Nacional de Oncología y Radiobiología de Cuba ha proporcionado una serie de estudios de varios pacientes, creando una valiosa base de datos de imágenes, compuesta por las imágenes DICOM obtenidas a través de la TAC de 14 sujetos que han sido atendidos por el hospital, la distancia entre los cortes de las imágenes es de 3 mm de espesor, lo que permite que el tumor sólido pueda aparecer en varias imágenes y realizar su representación de manera precisa. Por otro lado The Cancer Imaging Archive es una base de datos de acceso abierto que contiene imágenes médicas para la investigación del cáncer. Los datos se organizan como “Colecciones”, generalmente pacientes relacionados por una enfermedad común (por ejemplo, cáncer de pulmón), modalidad de imagen (RM, TAC, etc.) o enfoque de investigación. <sup>(11)</sup>

En esta base de datos se seleccionó un estudio que agrupa un conjunto de imágenes de sujetos con cáncer de pulmón y los archivos de anotaciones que indican la ubicación del tumor con cuadros delimitadores (Fig. 1). La distancia entre los cortes de las imágenes es de 2 mm de espesor. La ubicación de cada tumor fue anotada por cinco radiólogos torácicos académicos, con experiencia en cáncer de pulmón, para hacer de este conjunto de datos una herramienta y un recurso útil para desarrollar algoritmos para el diagnóstico médico. <sup>(12)</sup> La combinación de estas dos fuentes proporciona una rica selección de datos para los investigadores, lo que permite un análisis más profundo y preciso en el campo de la oncología.





**Fig. 1-** Ejemplos de imágenes con anotaciones presentes en el estudio de TCIA.

El proceso de reconstrucción comienza a partir de la segmentación de la región de interés (ROI) mediante polígonos que contiene el tumor sólido en la imagen. <sup>(13)</sup> Luego, se crea una malla 3D a partir de la ROI utilizando Marching Cubes, que implícitamente segmenta la imagen, esto requiere que el especialista marque los puntos del polígono en el exterior del tumor. La malla se compone de pequeños polígonos (triángulos) que se unen entre sí para formar una representación aproximada de la superficie del tumor sólido. <sup>(14)</sup>

Por tanto, se ha definido una metodología para establecer un umbral generalizado. Este umbral sustituye el rango de intensidades de píxeles por un valor más interpretable y con un rango menor, en este caso del 1 al 100. El valor del umbral se define de la siguiente manera: de las intensidades de los píxeles de la región segmentada por polígonos, se toma el percentil representado por dicho umbral en cada corte y luego, el umbral destinado para Marching Cubes se define como el mínimo de las intensidades de píxeles calculado por dicho percentil. Cuando una celda se encuentra en la interfaz entre el interior y el exterior del tumor sólido, se genera un conjunto de vértices en los puntos en los que los segmentos de contorno atraviesan las aristas de la celda. Estos vértices se utilizan para construir los triángulos que formarán la malla 3D. A medida que se examinan todas las celdas de la cuadrícula, se generan los vértices y los triángulos correspondientes para cada celda que atraviese la superficie del tumor sólido. <sup>(15)</sup> Estos triángulos se fusionan para formar la malla 3D completa que representa la superficie del tumor.



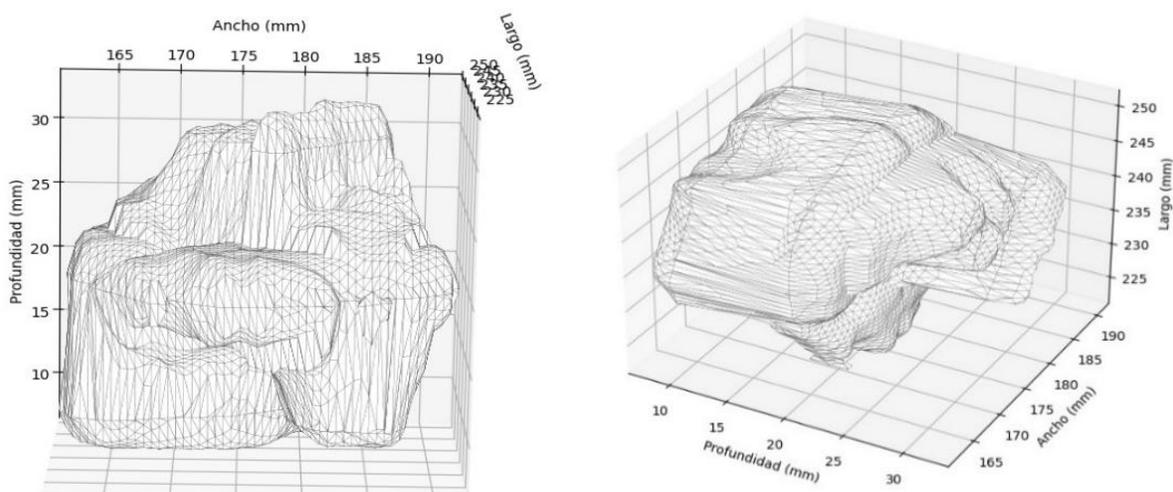
Como parte de revisiones de prueba se utilizaron datos curados provenientes de las bases de datos anteriormente mencionadas. Dichos conjuntos de datos se muestran en la Tabla 1. Se pusieron a prueba varios umbrales como variables independientes que manipulan al sistema.

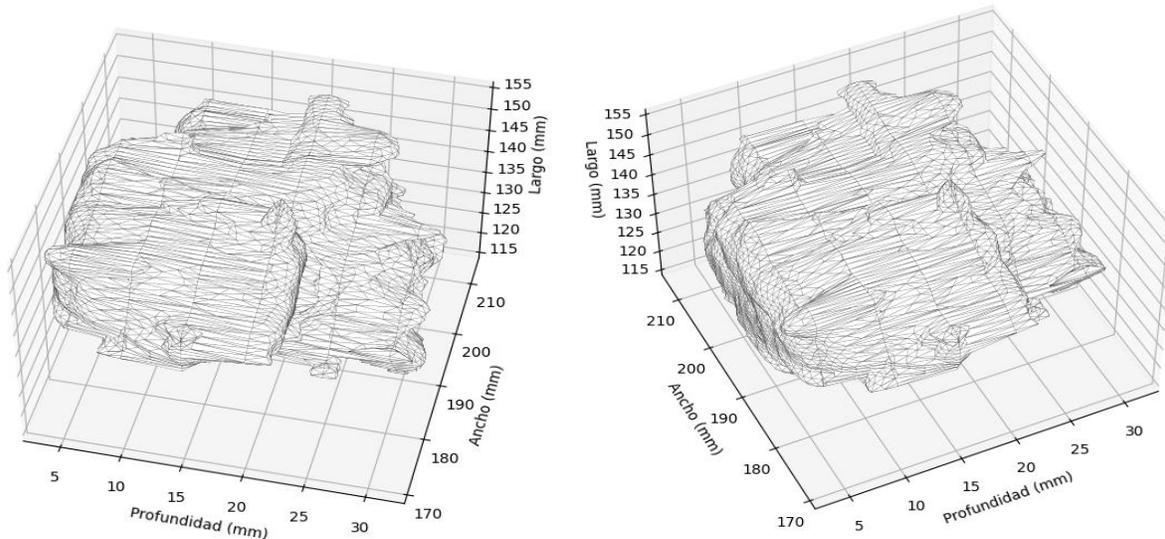
**Tabla 1-** Descripción de los datasets empleados para la realización de las pruebas.

Datasets	ID Paciente	Resolución	Cortes	Ram
Lung-PET-CT-Dx	Lung_Dx-A0003	512x512	64	32.2 MB
Lung-PET-CT-Dx	Lung_Dx-A0001	512x512	30	15.1 MB
INOR	CTS2022004496	512x512	450	230 MB

### Resultados y Discusión

Utilizando la metodología expuesta en la sección anterior se crearon modelos 3d de los datasets de pruebas. Para los casos de prueba *Lung\_Dx-A0003*, *Lung\_Dx-A0001* y *CTS2022004496*, los modelos se constituyen de 279737, 897639 y 567894 triángulos respectivamente, lo que representa un tiempo de cómputo de 1, 3.5 y 2 segundos. En las representaciones 3D de tumores sólidos, se utiliza un umbral para determinar qué partes de la estructura se incluirán en la representación. La cantidad de triángulos generados indica la complejidad de la representación y el tiempo que demora en representar mide el rendimiento del algoritmo.

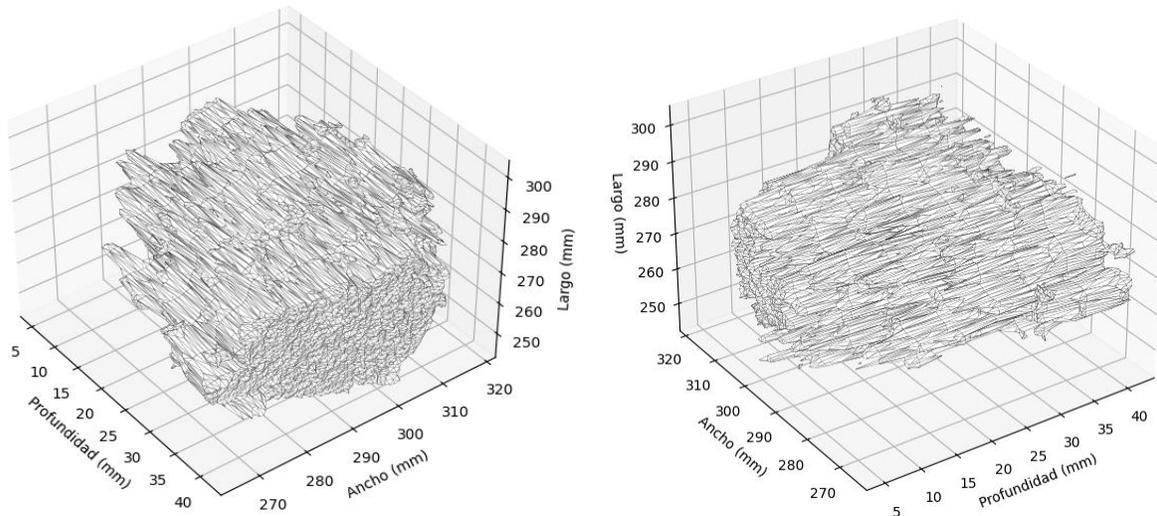




**Fig. 2-** Reconstrucción del tumor usando Marching Cubes en el dataset *Lung\_Dx-A0003* y *CTS2022004496*.

En la figura anterior se muestran resultados favorables de la representación 3D en los modelos *Lung\_Dx-A0003* y *CTS2022004496* con un umbral del 75%, haciendo énfasis en la relación operación-tiempo (triángulos por segundos), evidenciando la optimización del algoritmo enfocado en su rendimiento en procesos dependientes de alta participación de la CPU. De los 64 y 30 cortes respectivamente, que tienen los datasets, solo se utilizaron 3 y 5 cortes para la reconstrucción. Estos cortes son los únicos con presencia del tumor y, por tanto, los que contienen información relevante para la reconstrucción de la rejilla tridimensional. Puede notarse que, bajo las consideraciones del algoritmo utilizado, la reconstrucción muestra características suaves y delimitantes del sistema tumoral. Sin embargo, uno de los aspectos importantes en la parametrización del algoritmo es una buena selección de la variable que gobierna el comportamiento del umbral de intensidad. En la Figura 3 se muestra el dataset *Lung\_Dx-A0001* con un comportamiento no esperado.





**Fig. 3-** Reconstrucción del tumor usando Marching Cubes en el dataset Lung\_Dx-A0001.

En la figura 3 se muestra una representación con bordes poco definidos debido a que se trata de un tumor rodeado por mucosa que no está completamente definido. La rejilla muestra secciones irregulares y alto contenido de varianza en vértices cercanos. Por consiguiente, una rejilla con poca suavidad y secciones pobremente reconstruidas.

En este caso, un umbral del 75% no fue el adecuado para este tipo de tumores. Bajo una observación un poco simplista del autor y en coordinación con especialistas en el campo el dataset fue analizado para encontrar trazas en el comportamiento anterior del algoritmo. En este caso la representación tumoral en los cortes se muestra en forma de nube (regiones de pixeles con alta variabilidad dentro de la marcación tumoral). Esto indica, bajo las consideraciones de los especialistas, que el tumor presenta características no sólidas, lo cual sale del alcance de la presente investigación. De cualquier manera, la variable independiente fue manipulada para investigar el impacto de las intensidades en tumores no sólidos. En la Tabla 4 se muestra el resultado de aplicar un umbral del 50%.



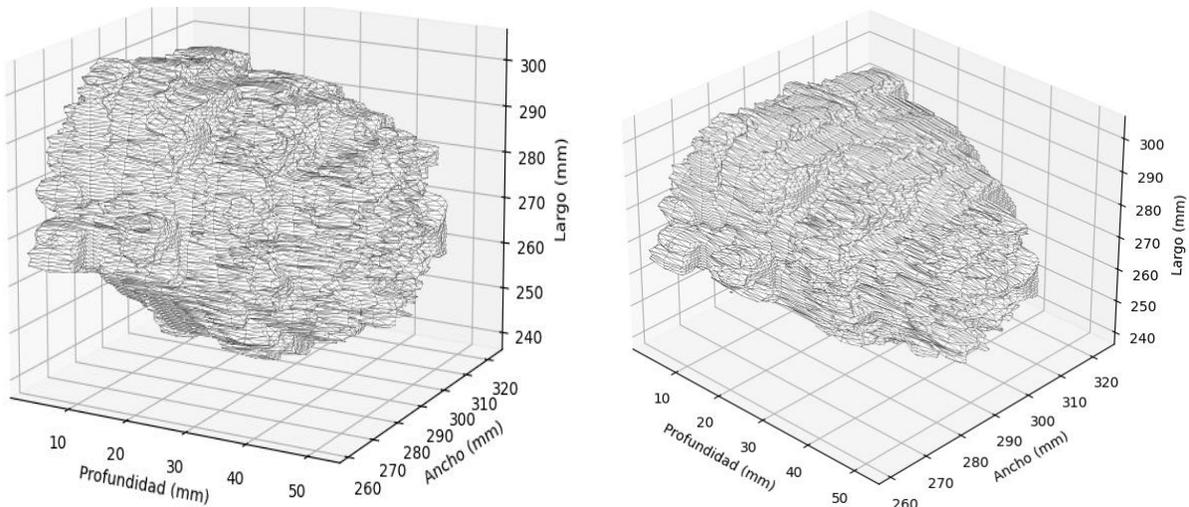


Fig. 4- Reconstrucción del tumor usando Marching Cubes en el dataset Lung\_Dx-A0001 con un umbral del 50%.

Los resultados en la figura 4 mostraron un mejor rendimiento en cuanto a la generación de la rejilla. Si bien la rejilla presenta ruido en la varianza de la superficie, dicho ruido es menor que aquellos resultados obtenidos con una umbralización mayor. Este comportamiento demuestra que, si bien de manera general la metodología es aplicable para tumores fuera del objetivo de la investigación, es importante la optimización de la variable independiente del parámetro de umbralización.

## Conclusiones

Los resultados obtenidos son altamente prometedores y tienen implicaciones significativas en el campo de la Oncología y la atención médica, la metodología presentada basada en el algoritmo de Marching Cubes, genera una representación 3D detallada que se adapta a la variación de las características estructurales de los tumores mediante un umbral predefinido. Esto no solo facilita la visualización de la estructura tumoral desde múltiples ángulos, sino que también facilita el cálculo del volumen del tumor a través de métodos matemáticos que se ajusten a la malla generada por el algoritmo, lo que a su vez proporciona información valiosa para la investigación médica y la toma de decisiones clínicas. Los datos obtenidos a través de este, pueden utilizarse en estudios clínicos para analizar la eficacia de diferentes tratamientos en pacientes con tumores de pulmón sólidos.

## Recomendaciones

- Realizar una investigación más detallada acerca del parámetro de umbralización.
- Revisar metodologías de exploración del espacio continuo para la corrección de ruidos provenientes de tumores no sólidos.



- Investigar las variables que gobiernan el comportamiento de heterogeindad en tejidos de tumor sólido mediante investigaciones que contengan aproximaciones in-silico y experimentales en el campo de la radiología.

## Referencias

1. Godbole RH, Saggarr R, Kamangar N. Pulmonary tumor thrombotic microangiopathy: a systematic review. *Pulmonary circulation*. 2019 May;9(2):2045894019851000.
2. McWilliams A, Tammemagi MC, Mayo JR, Roberts H, Liu G, Soghrati K, Yasufuku K, Martel S, et al. Probability of cancer in pulmonary nodules detected on first screening CT. *New England Journal of Medicine*. 2013 Sep 5;369(10):910-9.
3. Domínguez Alonso E, Seuc Jo A, Galán Y. Años de vida saludable perdidos por cáncer de pulmón en Cuba en años seleccionados. *Revista Cubana de Salud Pública*. 2011 Dec;37(4):428-41.
4. Rivero-Castro A, Rivera-Suárez Y, Borges-González Y, Naranjo-Gorrín Y. Algoritmo para la identificación de nódulos pulmonares solitarios en imágenes de TOMOGRAFÍA de TÓRAX. *Revista Cubana de Informática Médica [Internet]*. 2015 [Citado 12 Feb 2024]; 7 (1). Disponible en: <https://revinformatica.sld.cu/index.php/rcim/article/view/61>
5. Schwartz LH, Litière S, De Vries E, Ford R, Gwyther S, Mandrekar S, Shankar L, Bogaerts J, et al. RECIST 1.1—Update and clarification: From the RECIST committee. *European journal of cancer*. 2016 Jul 1;62:132-7.
6. García Cartaya P. Principios técnicos de la tomografía axial computarizada. En su: Principios técnicos de la tomografía axial computarizada. La Habana: Editorial Ciencias Médicas; 2012. pp. 158.
7. Wake N, Chandarana H, Huang W, Taneja S, Rosenkrantz A. Application of anatomically accurate, patientspecific 3D printed models from MRI data in urological oncology. *Clin Radiol*. 2016; 71(6): 610-4.
8. Wake N, Rude T, Kang S, Stifelman M, Borin J, Sodickson D, et al. 3D printed renal cancer models derived from MRI data: application in pre-surgical planning. *Abdominal Radiology*. 2017; 42(5): 1501-9.
9. Lorensen WE. History of the marching cubes algorithm. *IEEE computer graphics and applications*. 2020 Mar 2;40(2):8-15.
10. Romero JR. Visualización Indirecta de Volumen mediante la técnica de Planar Rendering [Tesis Doctorado]. La Habana: Universidad de las Ciencias Informáticas; 2012.
11. Clark K, Vendt B, Smith K, Freymann J, Kirby J, Koppel P, et al. The Cancer Imaging Archive (TCIA): maintaining and operating a public information repository. *Journal of digital imaging*. 2013 Dec;26:1045-57.
12. Li P, Wang S, Li T, Lu J, HuangFu Y, Wang D. A large-scale CT and PET/CT dataset for lung cancer diagnosis (Lung-PET-CT-Dx). *Cancer Imaging Arch*. 2020;19.



13. Pereira Bárzaga O. Reconstrucción Tridimensional de Modelos Anatómicos a partir de Imágenes Médicas Digitales [Tesis Maestría]. La Habana: Universidad de las Ciencias Informáticas; 2010.
14. Bagley B, Sastry SP, Whitaker RT. A marching-tetrahedra algorithm for feature-preserving meshing of piecewise-smooth implicit surfaces. *Procedia engineering*. 2016 Jan 1;163:162-74.
15. Congote J, Moreno A, Barandiaran I, Barandiaran J, Ruiz O. Extending marching cubes with adaptative methods to obtain more accurate iso-surfaces. In *International Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics*; 2009 Feb 5. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. p. 35-44.

#### Conflicto de interés

Los autores declaran que no presentan conflictos de intereses.

#### Declaración de autoría

**Conceptualización:** María Teresa de la Cruz Padilla, Jorge Alejandro Jiménez Garí.

**Análisis formal:** María Teresa de la Cruz Padilla.

**Investigación:** María Teresa de la Cruz Padilla, Jorge Alejandro Jiménez Garí.

**Metodología:** Jorge Alejandro Jiménez Garí.

**Administración del proyecto:** María Teresa de la Cruz Padilla, Jorge Alejandro Jiménez Garí.

**Software:** María Teresa de la Cruz Padilla, Jorge Alejandro Jiménez Garí.

**Supervisión:** Jorge Alejandro Jiménez Garí.

**Visualización:** Jorge Alejandro Jiménez Garí, María Teresa de la Cruz Padilla.

**Redacción–borrador original:** María Teresa de la Cruz Padilla.

**Redacción–revisión y edición:** Jorge Alejandro Jiménez Garí.

