



Universidad De Guadalajara

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS EXACTAS E INGENIERÍAS

DETECCIÓN DEL CÁNCER DE TESTÍCULOS USANDO ULTRASONIDO

Autores:

Dávalos Zumaya José María
Santana Herrera José Emmanuel
Vital De la Torre Luis Fernando
Profesor: Francisco Javier Álvarez Padilla

3 de diciembre de 2022

Índice

Glosario	3
1. Contexto clínico	4
1.1. Descripción de la patología	4
1.2. Diagnóstico y seguimiento por Imagenología Médica	6
1.3. Estado del arte metodológico	7
2. Metodología	9
2.1. Reducción de ruido	11
2.2. Aplicación de operaciones morfológicas	12
2.3. Segmentación y detección del cáncer	13
3. Resultados	14
4. Discusión y conclusiones	20
Bibliografía	21

Índice de figuras

1.	Ecografía de un testículo	4
2.	Ecografía de un teratoma	5
3.	Microcalcificaciones en los testículos	6
4.	Tumor fundido	7
5.	Imágenes de fantomas reales tomadas como muestras para el algoritmo de segmentación por crecimiento de regiones.	8
6.	Imagen segmentada usando Thresholding	8
7.	Imagen segmentada usando mean-shif, un algoritmo de Clustering.	9
8.	Algoritmo segmentación.	10
9.	A) Imagen original en escala de grises. B) Ecualización C) Clahé. D) Gaussiano. E) Difusión anisotrópica.	11
10.	Apertura por reconstrucción. A) Apertura de imagen original es imagen marcado. B) Erosión de imagen original es imagen mascara. C) Imagen con apertura por reconstrucción.	12
11.	Cerradura por reconstrucción. A) Imagen con apertura por reconstrucción es imagen marcador. B) Dilatación de imagen original es imagen mascara. C) Imagen con cerradura por reconstrucción.	13
12.	Imagen en escala de grises.	14
13.	Histograma de la imagen en escala de grises.	14
14.	Histograma de la imagen ecualizada.	15
15.	Imagen ecualizada.	16
16.	Imagen convirtiendo a negro solo los 2 primeros tonos a partir del más frecuente.	16
17.	A) Restructuración de tonos. B) Filtro clahe. C) Gaussiano. D) Difusión anisotrópica	17
18.	Imagen reconstruida	17
19.	Imagen reconstruida con crecimiento de regiones	18
20.	Aplicando contornos activos	18
21.	Imagen reconstruida con contornos activos	19
22.	Interfaz gráfica final	19

Glosario

Albugínea Que es completamente blanco. Membrana fibrosa, blanca que envuelve al testículo. 5

Endocrinas De las secreciones internas del sistema endocrino o relacionado con ellas. Que produce hormonas o secreciones que van a parar directamente a la sangre. 4

Epidídimo Órgano situado en el borde posterior del testículo, donde maduran y se almacenan los espermatozoides. 5

Estirpe Ascendencia ilustre de una persona. Conjunto formado por las personas (ascendientes y descendientes) pertenecientes a una misma familia, especialmente si es de origen noble. 5

Estroma Tejido conjuntivo que constituye la matriz o sustancia fundamental de un órgano y sostiene los elementos celulares que lo conforman. 4

Hiperecogénicas Describe la apariencia del tejido en la ecografía. Es un término poco específico para indicar que durante la ecografía, el tejido reflejó gran cantidad de ecos, lo que es inusual. 5

Hipoecoico Que presenta ecos de bajo nivel. 5

Isoecoico Estas estructuras tienen un comportamiento que identificamos igual a la estructura con la que la comparamos. 6

Neoplasia El término neoplasia se utiliza en medicina para designar una masa anormal de tejido. Se produce porque las células que lo constituyen se multiplican a un ritmo superior a lo normal. 4

Parénquima Tejido esencial de determinados órganos, como los pulmones, el hígado o los riñones. 6

Seminomas Son tumores que no deben estar mezclados con otros tipos tumorales, son el 40 % de los tumores testiculares. 5

Teratomas Tipo de tumor que se componen a menudo de múltiples capas embrionarias y se clasifican en tumores maduros (quísticos o sólidos), que contienen tejidos bien diferenciados, o tumores inmaduros, cuando contienen estructuras inmaduras y embrionarias. 5

1. Contexto clínico

1.1. Descripción de la patología

El cáncer es el crecimiento anormal en células dañadas o viejas que no pudieron terminar su ciclo de vida, reproduciéndose en lugar de las células sanas. El cáncer testicular es la Neoplasia maligna más frecuente en hombres de 20 a 35 años y representa el 1 % de los tumores malignos en hombres, aunque cabe destacar que se ha reportado un incremento de su incidencia en los últimos años [1].

Una masa testicular indolora es la presentación clásica de un tumor testicular primario, llegando a ocurrir en pocos pacientes y pasando desapercibido bajo el diagnóstico de orqui-epididimitis o hidrocele.

Usualmente la presencia de algún tumor en el testículo hace que este pueda estar hinchado o sea más grande de lo normal [1].

Las neoplasias testiculares se caracterizan por sus múltiples variantes anatomo-patológicas, se dividen en 2 grandes grupos: tumores de células germinales y los no germinales, derivados del Estroma y de cordones sexuales. Además, alrededor del 95 % de esta patología es originada por las células germinales [7].

Tumores benignos

Los tumores de células no germinales son en su mayoría benignos. Estos constituyen el 5 % de todos los tumores testiculares, pero la ecografía no va a permitir hacer un diagnóstico con certeza si estos tumores no están acompañados por alteraciones Endocrinas, aún si típicamente aparecen como lesiones nodulares de baja densidad ecográfica con áreas líquidas internas [8].

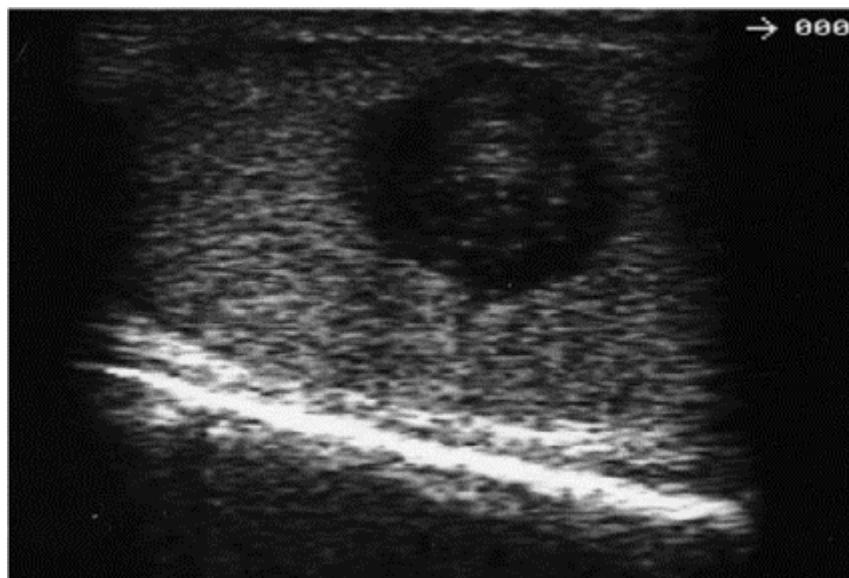


Figura 1: Ecografía de un testículo

También dentro de la categoría de tumores benignos se pueden encontrar los quistes epidermoides. Estos suponen el 1 % de los tumores testiculares apareciendo entre la cuarta y la quinta década. Su aspecto ecográfico depende de la compactación, contenido de queratina y grado de madurez. Existen dos imágenes características: en ojo de buey donde la lesión presenta un centro hipoeocoico rodeado de un anillo fibroso ocasionalmente calcificado y en capas de cebolla con diversas láminas concéntricas.

Tumores malignos

Los tumores malignos son las neoplasias sólidas más frecuentes en varones entre 20 y 34 años y los segundos en aquellos entre 35 y 40 años. En el 95 % de los casos corresponden a tumores germinales. La ecografía presenta una sensibilidad del 100 % en la detección de estos tumores y una especificidad del 99 %. Puede diferenciar el origen intra o extra testicular en el 98-100 % de los casos [8].

El aspecto general de los tumores malignos testiculares es Hipoeocoico aunque puede variar según la Estirpe. Los Seminomas son generalmente hipoeicos pero su contenido es homogéneo en el 60 % de los casos frente al 50 % de los tumores no seminomatosos y en el 80 % de los casos tiene unos límites bien definidos. Rara vez presentan áreas quísticas o Hiperecogénicas en su interior. Los carcinomas embrionarios son heterogéneos, tienen unos bordes imprecisos y por su mayor agresividad puede existir afectación de la Albugínea o del Epidídimo que están mal definidos. Los Teratomas son igualmente heterogéneos pero sus límites están mejor definidos y su tamaño no suele exceder los dos centímetros [8].

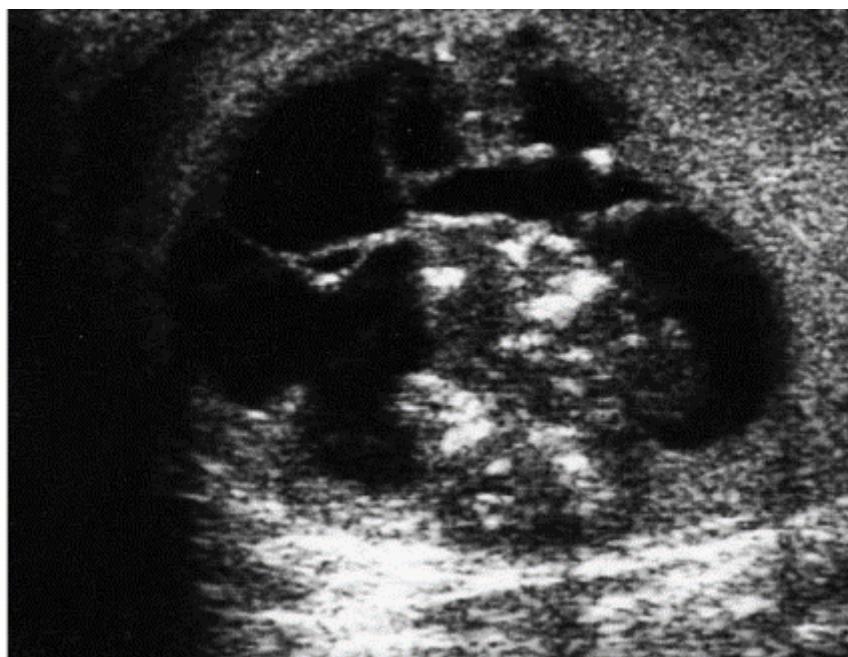


Figura 2: Ecografía de un teratoma

Otros padecimientos

Backus y cols. [2] observaron que el 29 % de los pacientes con MT desarrolla tumores testiculares, siendo los más frecuentes los seminomas, los teratomas y tumores mixtos de células germinales [4]. Hobarth y cols. [5] observaron que el 45 % de los pacientes con MT tenían un tumor testicular. Otite y cols. [6] afirman que el riesgo relativo de tener un tumor testicular, cuando existe una MT, es de 13,2. Raramente, sin embargo, la MT es diagnosticada antes del desarrollo de un cáncer testicular, siendo el tiempo medio hasta que aparece un tumor testicular clínicamente aparente de 48 meses [8].

Algunos otros padecimientos que pueden estar presentes dentro de los ultrasonidos es la microlitiasis. La microlitiasis testicular (MT), que se caracteriza por la existencia de microcalcificaciones dentro de los túbulos seminíferos, es poco frecuente y generalmente constituye un hallazgo incidental durante la realización de la ecografía escrotal. El significado clínico de la MT está en debate debido a las diferentes controversias halladas en la literatura sobre su asociación con el tumor testicular, así como los diferentes protocolos de tratamiento inicial y los intervalos adecuados para su vigilancia y seguimiento [8].

En condiciones normales ambos testículos se localizan en la bolsa escrotal, el izquierdo más bajo que el derecho. Su tamaño oscila entre 4 y 5 cm de eje mayor por 2-3 cm de ancho para un volumen normal de 30 c.c. Presentan un parénquima homogéneo de densidad intermedia rodeado de la túnica albugínea, habitualmente no distingible ecográficamente aunque puede visualizarse como un engrosamiento refringente sobre todo si existe algo de hidrocele circundante [8].

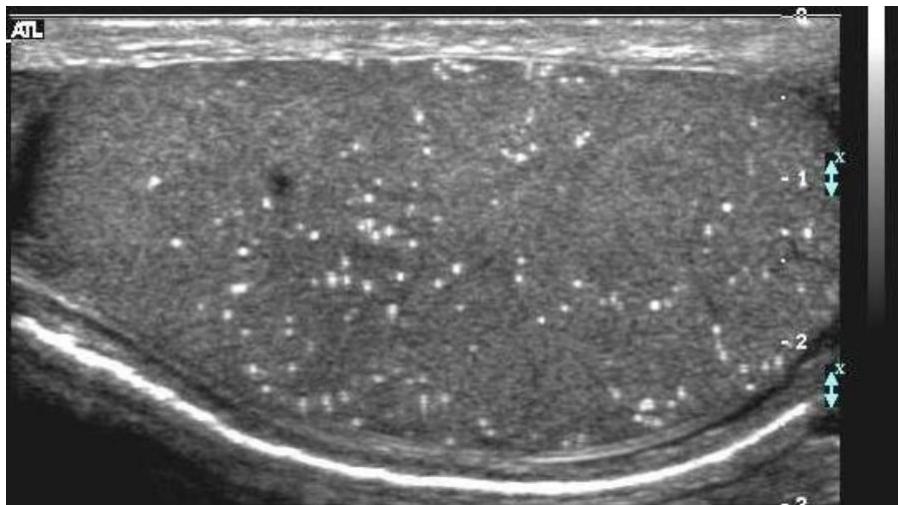


Figura 3: Microcalcificaciones en los testículos

1.2. Diagnóstico y seguimiento por Imagenología Médica

Para diagnosticar el cáncer testicular hay muchos métodos de mayor o menor complejidad o precisión, desde simplemente una revisión física con un urólogo hasta directamente intervención quirúrgica. El objeto de estudio de este proyecto abarca solo a los diagnósticos por el estudio de imágenes médicas, siendo más específicos el diagnóstico usando ultrasonidos. Pero en realidad hay muchos estudios de imágenes médicas que pueden ayudar a detectar este tipo de padecimiento. Entre estas imágenes médicas para el diagnóstico del cáncer testicular están las radiografías, las tomografías computarizadas, las imágenes por resonancia magnética, la tomografía por emisión de positrones, etc.

La ecografía es a menudo el primer estudio que se realiza si el doctor cree que usted podría tener cáncer testicular. Este estudio (también conocido como ultrasonido o sonografía) utiliza ondas sonoras para producir imágenes del interior de su cuerpo. Puede utilizarse para saber si un cambio es cierta afección benigna (como un hidrocele o varicocele) o un tumor sólido que podría ser un cáncer. Si la protuberancia o masa es sólida, es más probable que sea cáncer. En este caso, el médico podría recomendar otras pruebas o incluso cirugía para remover el testículo. Para la exploración ecográfica testicular se emplean habitualmente transductores lineales de alta resolución y frecuencia (entre 7,5 y 13 Mhz). Aunque con la escala de grises suele ser suficiente para el diagnóstico de la mayoría de la patología, el empleo del Doppler color puede ser de gran ayuda en casos seleccionados [8].

La localización de un “tumor fundido” puede sospecharse por la presencia de cicatrices hiperecogénicas ocasionalmente calcificadas alrededor de las cuales pueden existir zonas de Parénquima hiper o hipoeocoico [8]. El linfoma abarca el 1% de las neoplasias testiculares. Su aspecto ecográfico es Isoecoico y difuso lo que puede hacer difícil su visualización a pesar de que sea fácilmente palpable. Tiende a infiltrar epidídimo y cordón [8].

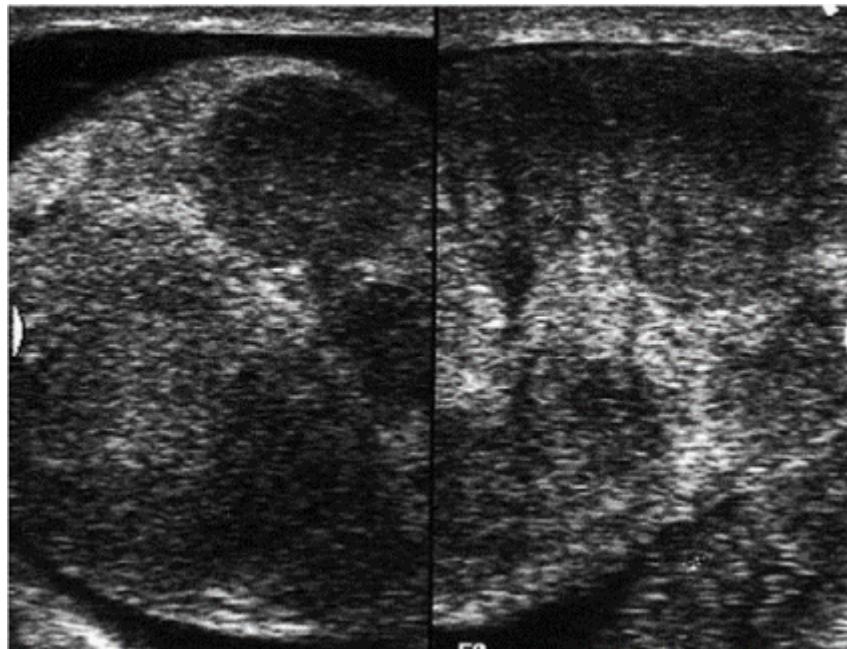


Figura 4: Tumor fundido

1.3. Estado del arte metodológico

En el estudio de la segmentación de ecografías para el diagnóstico de padecimientos ya ha habido diferentes trabajos de investigación que podemos usar como referente y punto de partida para poder contextualizar nuestro proyecto.

Yireh Castrillo ya abordó los métodos de segmentación de imágenes de ultrasonido. Yireh mostró que previo a la segmentación se realizó filtrado digital empleando el método de difusión anisotrópica. Los resultados muestran que el algoritmo usado para imágenes simuladas e imágenes reales converge en la mayoría de estas con precisión en la delimitación de la región deseada a segmentar. Este filtro logró reducir el ruido granular antes de segmentar la imagen. Este filtro permite suavizar el interior de las estructuras sin afectar los bordes y otros detalles. A continuación, en la figura 4, la fila superior obedece a las imágenes originales y la fila inferior obedece al resultado de cada imagen después de haber sido filtradas y posteriormente segmentadas a través del algoritmo de crecimiento de regiones [3].

Yireh concluye que con base en el análisis de resultados descritos en, se espera que el algoritmo en presencia de contrastes más altos experimenta un desempeño mejor que cuando el contraste es bajo. Además, de acuerdo con los cálculos de SNR realizados se demostró que un bajo nivel de ruido no es garantía de que la imagen se pueda segmentar [3].

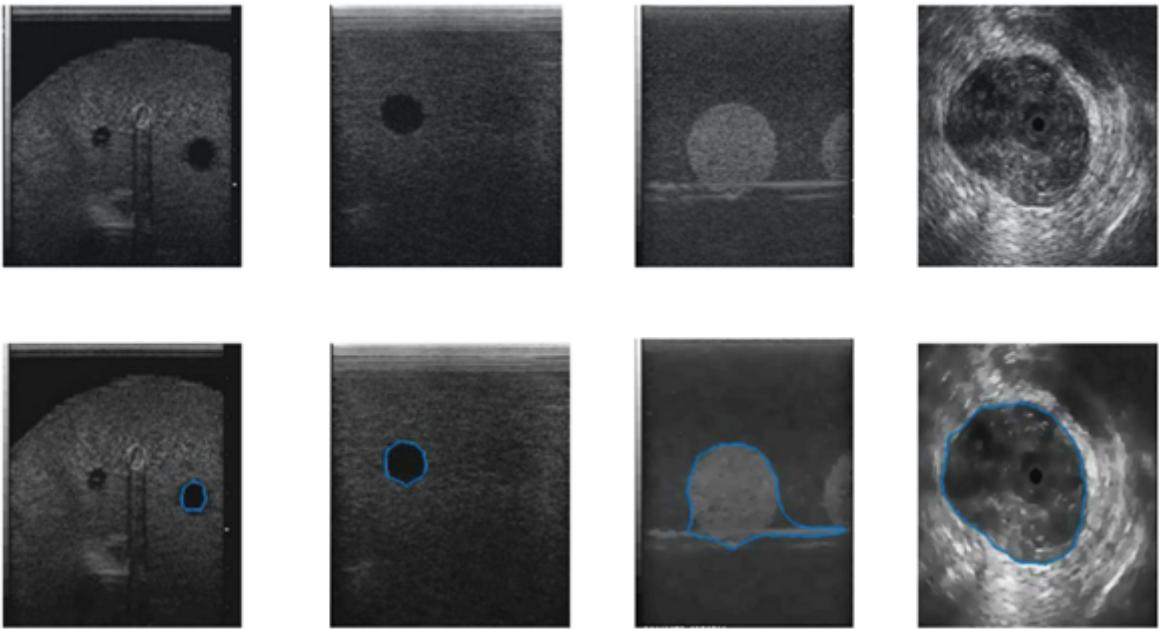


Figura 5: Imágenes de fantomas reales tomadas como muestras para el algoritmo de segmentación por crecimiento de regiones.

Al igual en otros trabajos de investigación ya se han contextualizado y desglosado diferentes técnicas de segmentación para radiografías comparándolas entre sí. Por ejemplo en el trabajo realizado por Holban Stefan en el año 2013 en el que en lista más de una técnica para la segmentación.

Thresholding es una de las técnicas de segmentación más sencillas. La desventaja de los métodos de thresholding es que se pueden aplicar a una imagen single-band, como una imagen en escala de grises o una sola banda de una imagen multi-band. Los métodos basados en regiones han demostrado ser técnicas de segmentación muy útiles y eficientes en el procesamiento de imágenes. Sin embargo, tienen tendencia a la sobre segmentación, requieren una inicialización manual y son sensibles al ruido [9].

La técnica Clustering se puede utilizar para imágenes multi-band, pero primero se debe establecer el número de grupos.

Los modelos deformables son menos sensibles al ruido que las otras técnicas presentadas en este capítulo, lo que los hace adecuados para problemas complejos de segmentación de imágenes médicas [9].

Los métodos basados en Atlas utilizan conocimientos previos para realizar la segmentación, pero consumen mucho tiempo. Para imágenes médicas complejas, que no pueden ser manejadas de manera robusta por métodos generales de segmentación, los modelos deformables y los métodos de segmentación basados en atlas son los más apropiados. Otra solución es combinar dos o más técnicas de segmentación [9].



Figura 6: Imagen segmentada usando Thresholding

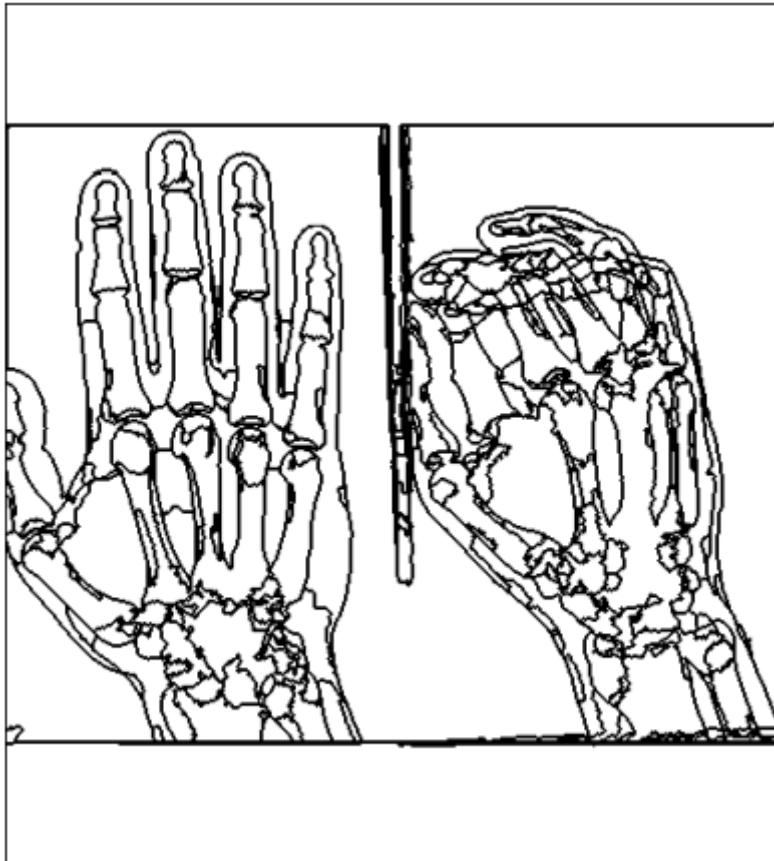


Figura 7: Imagen segmentada usando mean-shift, un algoritmo de Clustering.

2. Metodología

La metodología propuesta para la segmentación de masas testiculares se conforma por una serie de procesos los cuales podemos definir como:

- Reducción de ruido
- Aplicación de operaciones morfológicas
- Segmentación y detección del cáncer

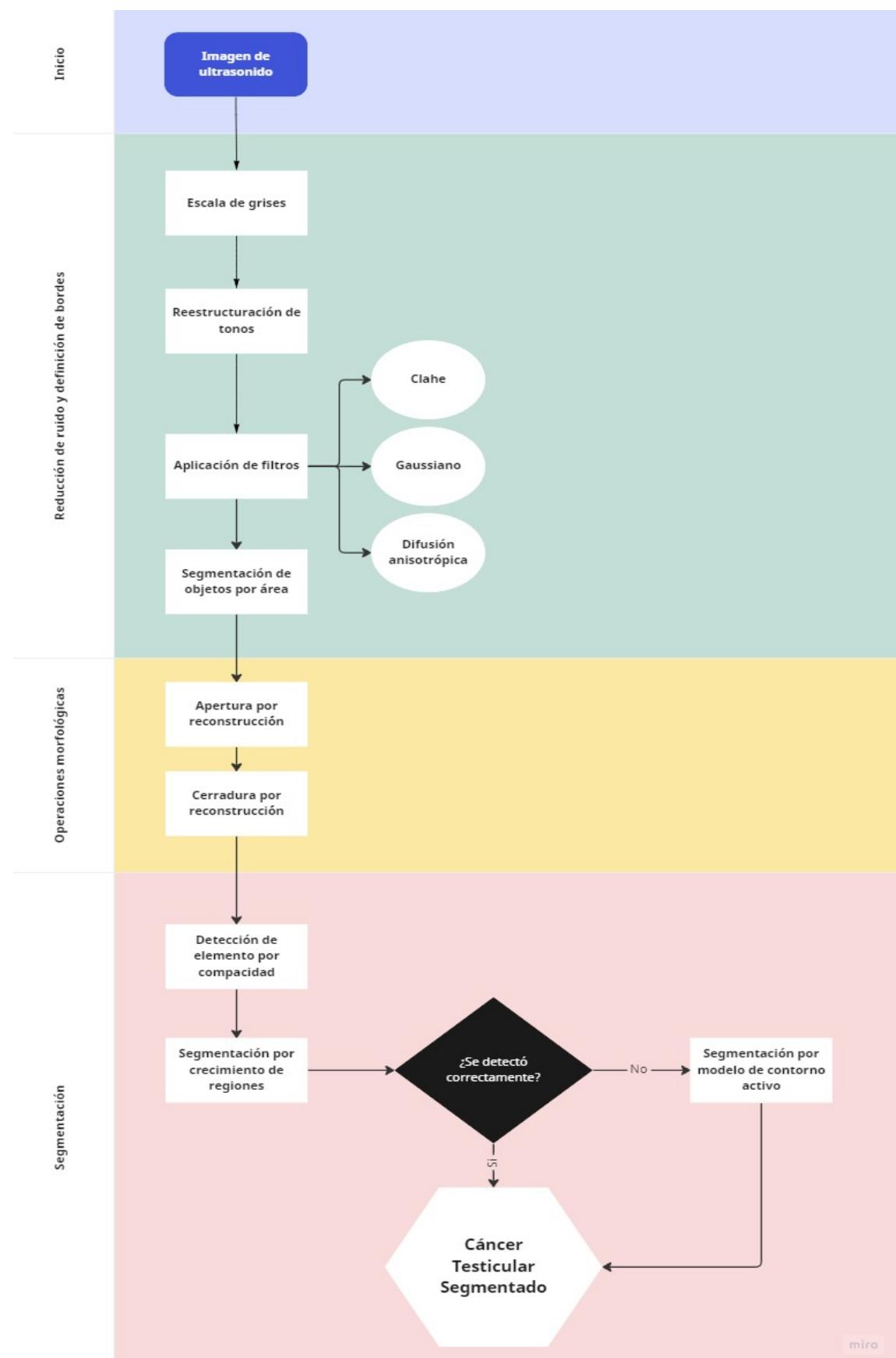


Figura 8: Algoritmo segmentación.

El flujo de estos procesos nos permite facilitar y optimizar la aplicación de los algoritmos de segmentación implementados al final de nuestro programa. A continuación se describen cada uno de los procesos realizados con mayor profundidad.

2.1. Reducción de ruido

El ruido que se detecta en las imágenes de ultrasonido trae consigo una consideración mayor al momento de segmentar; debido a que primero se tiene que limpiar la imagen para solamente recuperar aquellas zonas de interés y que no pierdan información necesaria para el análisis correspondiente de las masas.

Nuestra metodología primeramente procesa la imagen a una escala de grises para empezar a delimitar la información de color de la imagen y poder trabajar con aquellas tonalidades extremas que nos generan más ruido.

Una vez aplicada la escala de grises reestructuramos las tonalidades de la imagen, esto trabajando con la ecualización del histograma de tonos para que a partir de esta información todos los registros extremos se conviertan en blanco.

A continuación, podremos aplicar los filtros de Clahe, Gaussiano y de Difusión anisotrópica para empezar a suavizar los bordes y el ruido todavía restante en nuestra imagen.

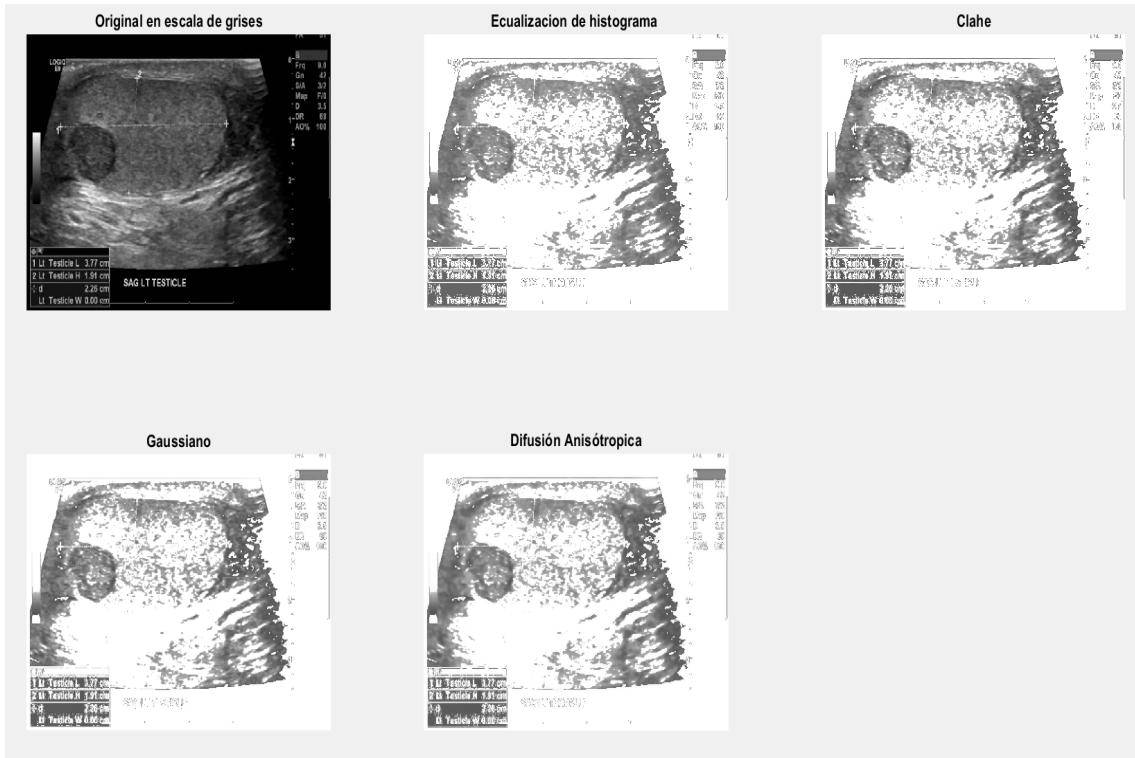


Figura 9: A) Imagen original en escala de grises. B) Ecualización C) Clahe. D) Gaussiano. E) Difusión anisotrópica.

En este procedimiento se recomienda que los filtros se apliquen en el orden descrito anteriormente. No obstante, se considera importante que las condiciones de las imágenes no siempre son las más pertinentes; por lo que en la aplicación se permite aplicar los filtros como se requieran para experimentar y segmentar.

Una vez aplicados los filtros se realiza una segmentación por área para eliminar aquellos elementos grandes que se presentan como ruido y no son información relevante para el análisis del cáncer testicular.

2.2. Aplicación de operaciones morfológicas

La imagen hasta este proceso ha eliminado notablemente el ruido original, por lo que se puede nuevamente definir los bordes con aplicación de operaciones morfológicas para obtener resultados más precisos en la segmentación de la masa.

Utilizamos la reconstrucción morfológica que es una operación que involucra 2 imágenes y un elemento estructural. Se define: una imagen marcador (marker) f, que contiene el punto inicial de la transformación, una imagen máscara (mask) g, que delimita la transformación y un elemento estructural que define la conectividad.

Para el proceso de apertura por reconstrucción morfológica, se aplica una dilatación repetida a la imagen marcador condicionada por la imagen máscara, que es la erosión de la imagen marcador. Es esta la que nos permite remover objetos pequeños restantes y es la subsecuente dilatación la que restaura la forma de los objetos que no desaparecieron.

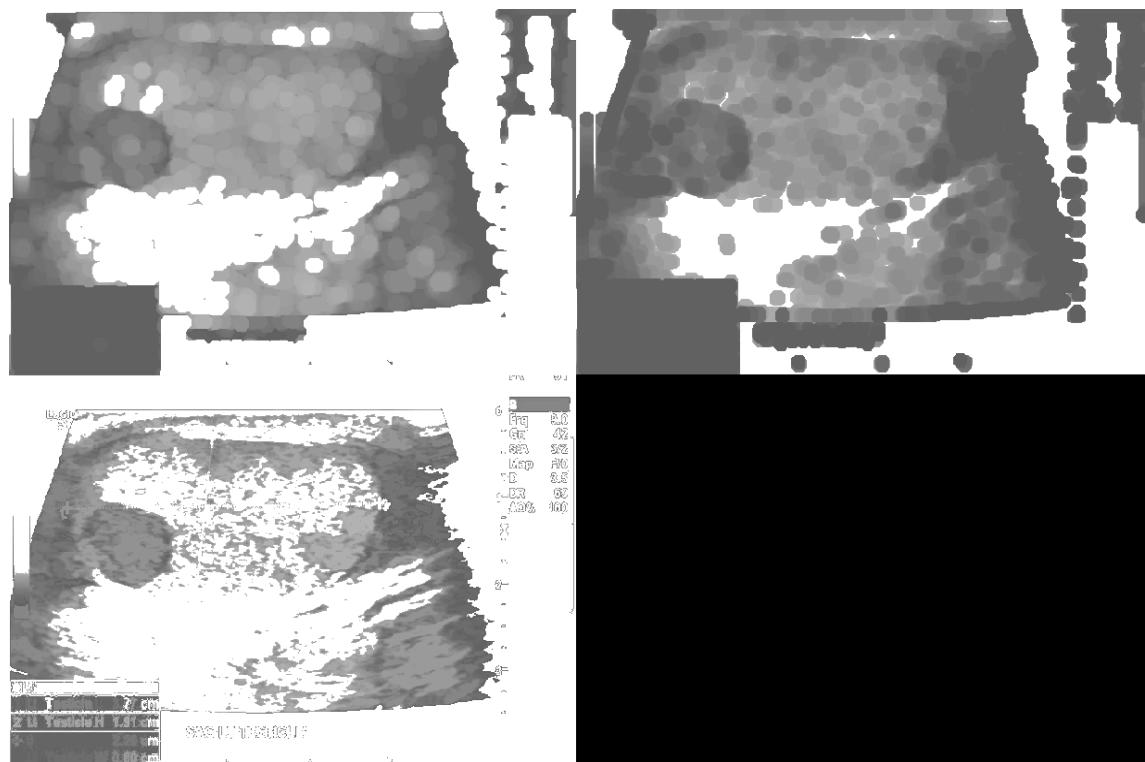


Figura 10: Apertura por reconstrucción. A) Apertura de imagen original es imagen marcado. B) Erosión de imagen original es imagen mascara. C) Imagen con apertura por reconstrucción.

Realizado este proceso se lleva a cabo la cerradura por reconstrucción en la que esta vez se aplica una erosión repetida a la imagen marcador, siendo en este caso la imagen procesada por apertura por reconstrucción morfológica, condicionada por la imagen máscara que será la dilatación de nuestra imagen marcador actual.

Este proceso nos permitirá entonces suavizar bordes de objetos, engrosa enlaces finos, rellena “golfos” y agujeros pequeños.

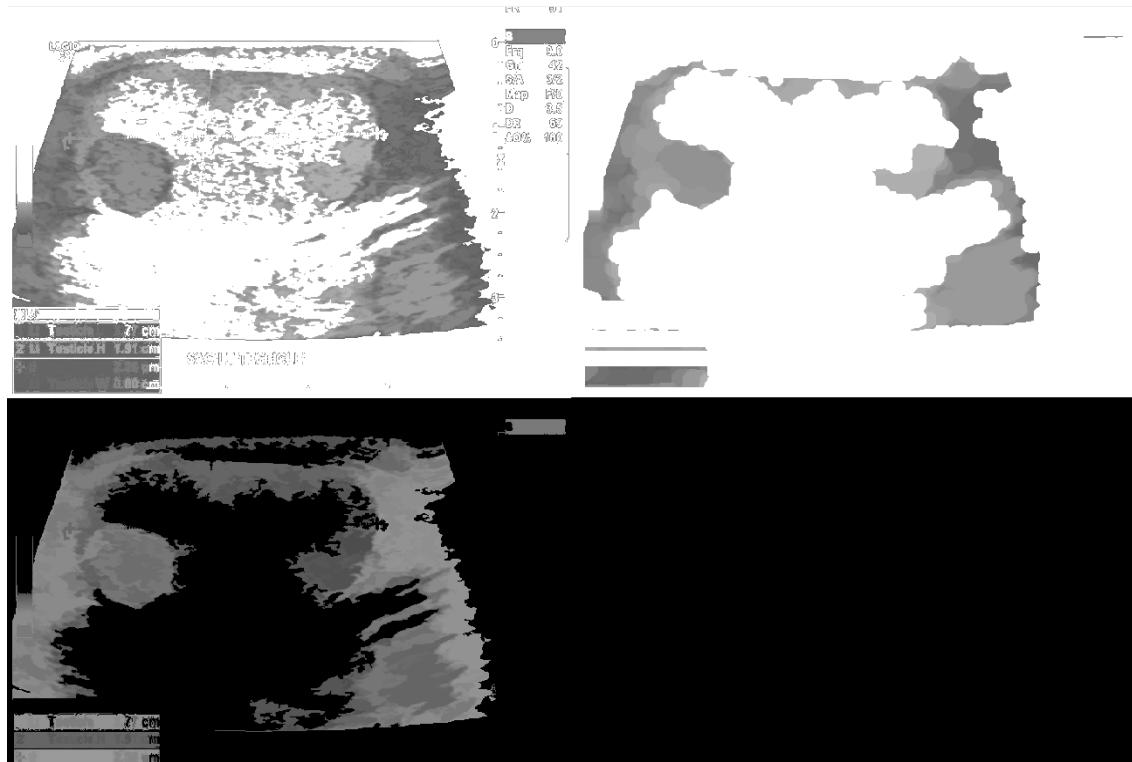


Figura 11: Cerradura por reconstrucción. A) Imagen con apertura por reconstrucción es imagen marcador. B) Dilatación de imagen original es imagen mascara. C) Imagen con cerradura por reconstrucción.

2.3. Segmentación y detección del cáncer

Como se puede verificar la imagen ha reducido el ruido y los elementos de mayor interés no han perdido casi información, ahora es posible aplicar una cerradura que permite separar figuras, para que nuestro algoritmo de detección pueda detectar cuál de ellas presenta mayor similitud al área de un círculo y al área dinámica que se seleccione en la aplicación.

Este proceso nos permite definir con exactitud la ubicación de nuestra masa, así que con el centroide detectado se aplicará crecimiento de regiones para segmentar con mayor precisión el área.

En caso de que no se haya encontrado ninguna masa con las características consideradas, entonces se activa la opción de contorno activo para que se pueda seleccionar dinámicamente la zona de interés y se pueda detectar su centroide y se aplicará de nuevo crecimiento de regiones a esta área.

3. Resultados

Como primer paso se convierte la imagen a escala de grises.



Figura 12: Imagen en escala de grises.

Una vez la imagen está en escala de grises se obtiene el histograma de tonos de esta misma.

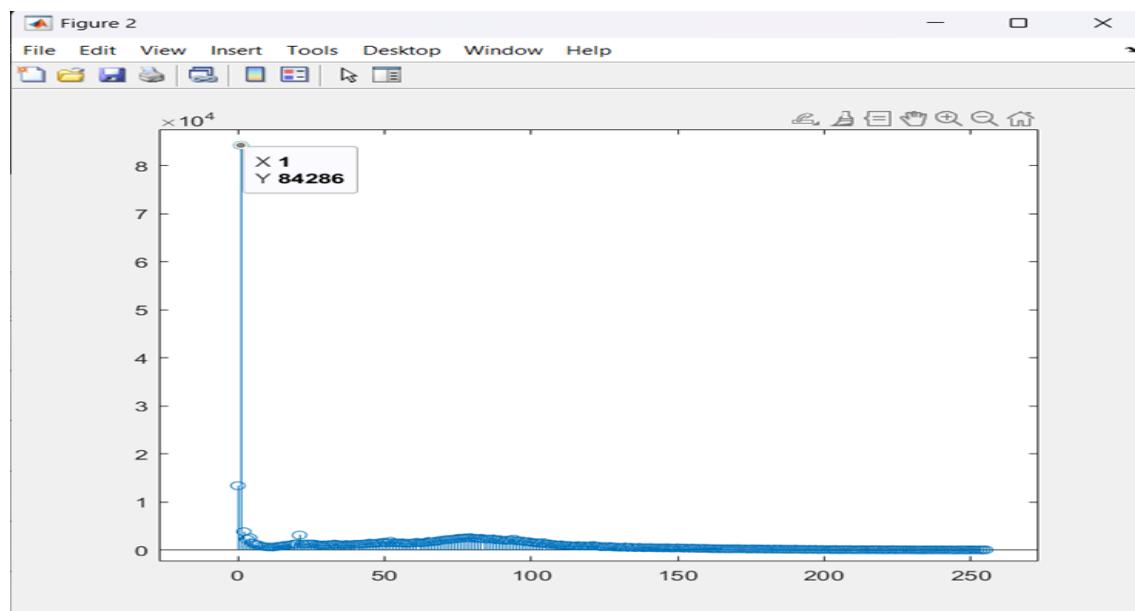


Figura 13: Histograma de la imagen en escala de grises.

Con el histograma de tonos de la imagen se aplica un proceso de ecualización sobre la escala de grises para obtener una distribución más uniforme.

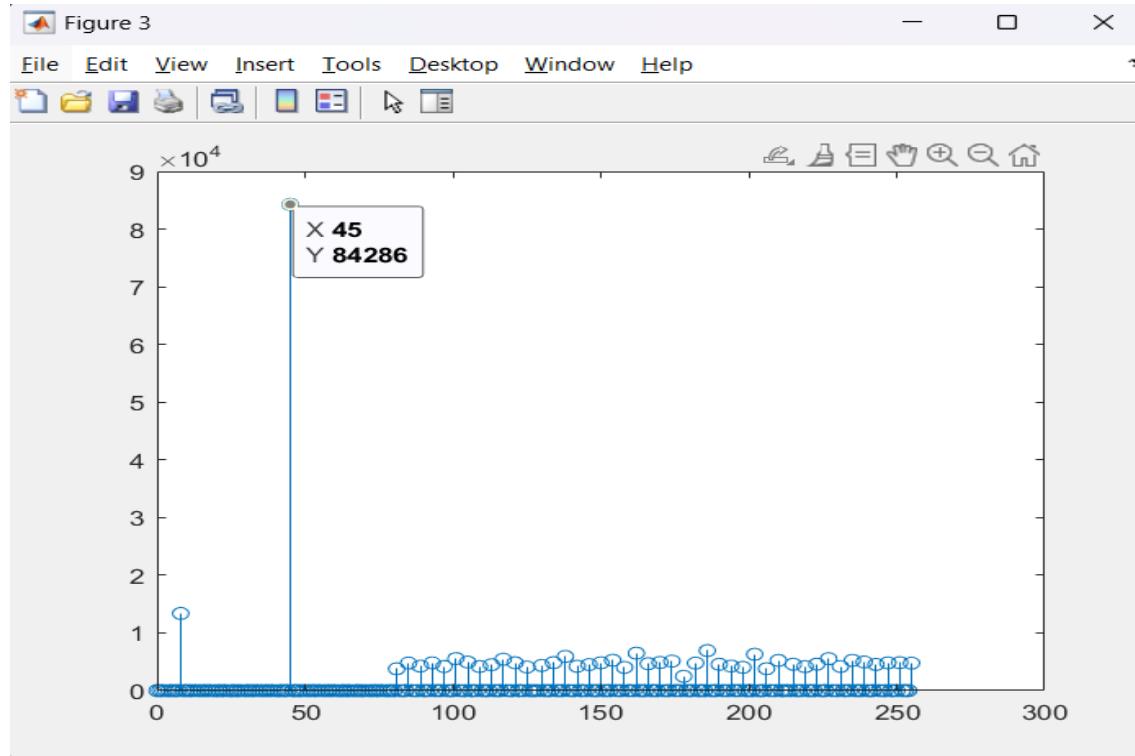


Figura 14: Histograma de la imagen ecualizada.

Con una distribución más uniforme gracias a la ecualización procedemos a reestructurar los blancos y negros de la imagen. Esto se hace obteniendo el tamaño de la imagen y la cantidad máxima dentro de los rangos de tonos, y a partir de estos picos empezar a modificar los tonos siguientes a tomar en cuenta. Este proceso nos dará el valor mínimo que usaremos como índice y así modificar los tonos, cambiando a negro los valores menores a este índice y a blanco los mayores a 180.



Figura 15: Imagen ecualizada.



Figura 16: Imagen convirtiendo a negro solo los 2 primeros tonos a partir del más frecuente.

Ya con la restructuración de tonos hecha podemos pasar a aplicar los diferentes filtros necesarios, en este caso son de clahe, gaussiano y difusión anisotrópica.

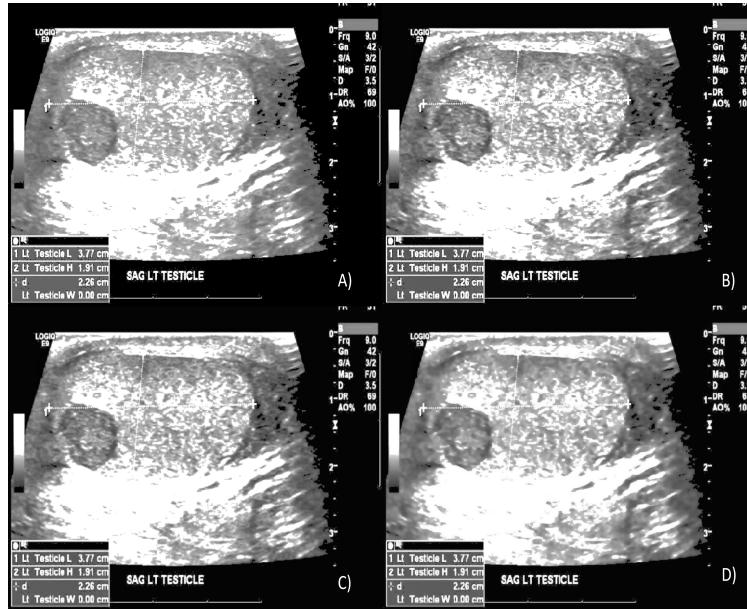


Figura 17: A) Restructuración de tonos. B) Filtro clahe. C) Gaussiano. D) Difusión anisotrópica

El siguiente paso es aplicar las distintas reconstrucciones para segmentar de manera correcta

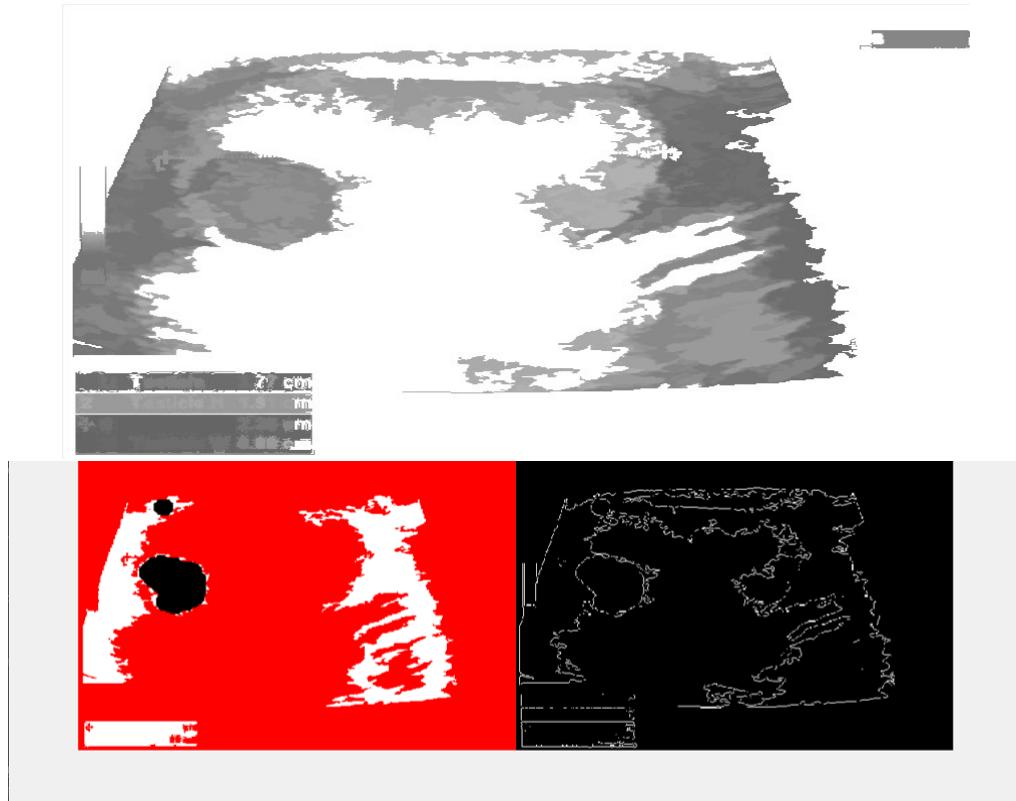


Figura 18: Imagen reconstruida

En caso de que la segmentación no sea la deseada, se pueden aplicar contornos activos para tener un resultado más limpio.



Figura 19: Imagen reconstruida con crecimiento de regiones

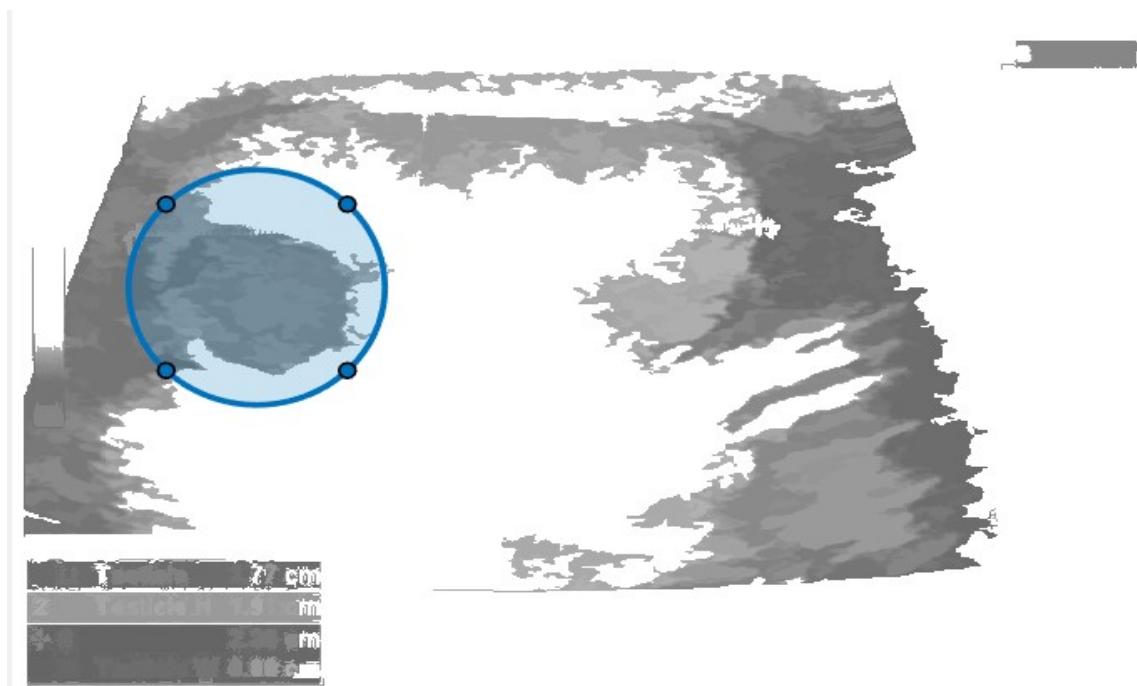


Figura 20: Aplicando contornos activos

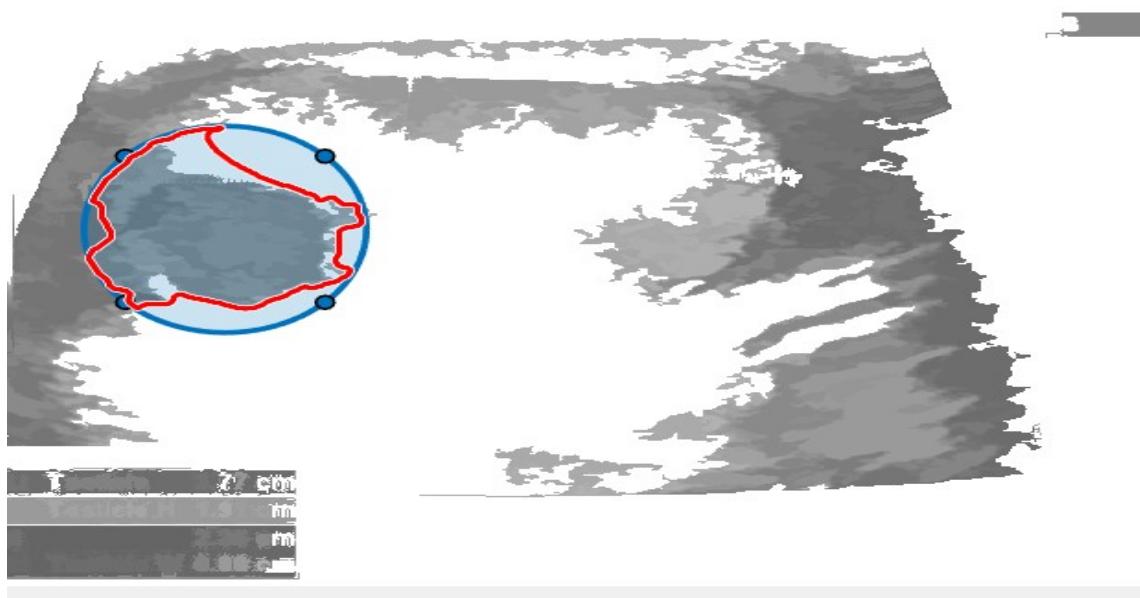


Figura 21: Imagen reconstruida con contornos activos

Todos estos procesos han sido implementados en una interfaz gráfica creada en App Designer de Matlab, esto considerando que los resultados sean adaptables y dinámicos a consideración de las características que el usuario ingrese.



Figura 22: Interfaz gráfica final

4. Discusión y conclusiones

En su mayoría el proyecto creado de segmentación se basa en un buen procesamiento dentro de las imágenes de ultrasonido. Estas al ser reestructuradas y filtradas es posible detallar zonas de interés, ya que las originales en su mayoría son muy oscuras y presentan ruido debido al aire o la ausencia de densidad dentro del ultrasonido. Dado que las áreas donde se encuentra el tumor son oscuras más no completamente negras, la ecualización permite eliminar los datos innecesarios con la ayuda de otros procesos, tales como las operaciones morfológicas y la aplicación de filtros. Al solo tener ciertas áreas donde trabajar, se buscan objetos que se asemejan a figuras redondas, no obstante no es un proceso que sea 100 % preciso.

Aún cuando se aplica un buen procesamiento dentro de las imágenes, quedan regiones que están contiguas al tumor que puedan interferir con la segmentación de este; ya sea por la cercanía al borde del escroto o por la posición en la que se capturó el ultrasonido. Asimismo, hay ocasiones en las que el fondo de la imagen y el tumor llegan a coincidir en su tonalidad, por lo que las operaciones realizadas no son suficientes para poder segmentarlo. Para estos casos se puede considerar que el proyecto sea escalable al adaptar técnicas de segmentación más sofisticadas y más diversas. Cabe la posibilidad de que si se realiza un proceso de machine learning o deep learning se puedan obtener mejores resultados, aún así estamos sujetos a la calidad de las imágenes con las que se trabaje.

Por último, en caso de querer aplicar este programa para el uso dentro del área médica, es importante saber que no se debe tomar como una medida de referencia única, sino como una supervisión o medio de apoyo en caso de encontrar detalles que no se pudieran ver a simple vista.

Referencias

- [1] J. A. S. Abril, C. R. R. Carmona, G. A. P. Mejía, M. S. Rometti, V. B. Boullard, and Y. K. Fujikami. Cáncer de testículo. In *Anales de Radiología, México*, volume 8, pages 47–59, 2009.
- [2] M. L. Backus, L. A. Mack, W. D. Middleton, B. F. King, T. Winter 3rd, and L. D. True. Testicular microlithiasis: imaging appearances and pathologic correlation. *Radiology*, 192(3):781–785, 1994.
- [3] Y. Castrillo Leal. Evaluación de técnicas de segmentación de imágenes de ultrasonido por crecimiento de regiones. 2017.
- [4] P. D. FURNESS III, D. A. Husmann, J. W. BROCK III, G. F. Steinhardt, T. P. Bukowski, A. L. Freedman, R. I. Silver, and E. Y. Cheng. Multi-institutional study of testicular microlithiasis in childhood: a benign or premalignant condition? *The Journal of urology*, 160(3):1151–1154, 1998.
- [5] K. Höbarth, M. Susani, N. Szabo, and C. Kratzik. Incidence of testicular microlithiasis. *Urology*, 40(5):464–467, 1992.
- [6] U. Otite, J. Webb, R. Oliver, D. Badenoch, and V. Nargund. Testicular microlithiasis: is it a benign condition with malignant potential? *European urology*, 40(5):538–542, 2001.
- [7] M. Pearle, Y. Lotan, A. Wein, L. Kavoussi, A. Novick, A. Partin, and C. Peters. Campbell-walsh urology. *Urinary Lithiasis. 10th ed. Philadelphia: Elsevier Saunders*, 2012.
- [8] R. Rodríguez-Patrón Rodríguez, T. Mayayo Dehesa, A. Lennie Zuccarino, E. Sanz Mayayo, F. Arias Fínez, and R. García Navas. Ecografía testicular. *Archivos Españoles de Urología (Ed. impresa)*, 59(4):441–454, 2006.
- [9] C. Stolojescu-Cri\$an and Ş. Holban. A comparison of x-ray image segmentation techniques. *Advances in electrical and computer engineering*, 13(3):85–92, 2013.