

PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES PARA LA PREDICCIÓN TEMPRANA DEL CÁNCER DE PULMÓN

Aurea Teresa Reyes Delgado^{1,4}, Miguel Ángel Cortes Hernández², Raúl Nava López³

¹*Tecnológico Nacional de México, Tecnológico de Estudios Superiores de San Felipe del Progreso, División de Ingeniería Informática (MÉXICO)*

²*Instituto Nacional de México, Instituto Tecnológico Superior de Apatzingán, División de Ingeniería en Sistemas Computacionales (MÉXICO).*

³*Tecnológico Nacional de México, Tecnológico de Estudios Superiores de Jocotitlán División de Ingeniería en Sistemas Computacionales (MÉXICO).*

⁴*Universidad Mexiquense del Bicentenario, Unidad de Estudios Superiores Ixtlahuaca, Licenciatura en Informática (MÉXICO).*

Resumen

El artículo aborda la importancia del procesamiento digital de imágenes en la detección temprana del cáncer de pulmón, una de las principales causas de mortalidad a nivel mundial. Las técnicas de minería de datos y procesamiento de imágenes pueden mejorar la identificación de anomalías en radiografías torácicas, facilitando diagnósticos más precisos y oportunos. Se utilizaron herramientas como GIMP y Python para analizar imágenes médicas, mejorando la calidad de las imágenes y generando datos valiosos que pueden ser utilizados para entrenar modelos de aprendizaje automático. La información obtenida de las radiografías de tórax contribuirá al desarrollo futuro de una red neuronal capaz de predecir la presencia de cáncer de pulmón en sus etapas iniciales. Este avance podría reducir significativamente los costos de pruebas diagnósticas invasivas y permitir que los pacientes reciban tratamientos más oportunos. Los resultados mostraron variaciones significativas en los patrones de densidad de masa de las radiografías, lo que indica su potencial para identificar signos tempranos de cáncer. Esto sienta las bases para el desarrollo futuro de una red neuronal que pueda predecir la presencia de cáncer de pulmón en etapas iniciales, lo que potencialmente reduciría los costos de pruebas invasivas y permitiría tratamientos más rápidos. La combinación de avances en el procesamiento de imágenes y la minería de datos es esencial para establecer estándares en la detección temprana del cáncer de pulmón, mejorando así el pronóstico y la calidad de vida de los pacientes.

Palabras clave: Cáncer de pulmón, procesamiento de imágenes, detección temprana, aprendizaje automático, redes neuronales, minería de datos.

Abstract

The article addresses the importance of digital image processing in the early detection of lung cancer, one of the leading causes of mortality worldwide. Techniques of data mining and image processing can improve the identification of anomalies in thoracic X-rays, facilitating more accurate and timely diagnoses. Tools such as GIMP and Python were used to analyze medical images, enhancing image quality and generating valuable data that can be used to train automatic learning models. The information obtained from chest X-rays will contribute to the future development of a neural network capable of predicting the presence of lung cancer in its early stages. This advancement could significantly reduce the costs of invasive diagnostic tests and allow patients to receive more timely treatments. The results showed significant variations in mass density patterns of the X-rays, indicating their potential to identify early signs of cancer. This lays the groundwork for the future development of a neural network that can predict the presence of early-stage lung cancer, potentially reducing the costs of invasive tests and enabling faster treatments. The combination of advancements in image processing and data mining is essential for establishing standards in the early detection of lung cancer, thereby improving patient prognosis and quality of life.

Keywords: Lung cancer, image processing, early detection, machine learning, neural networks, data mining.

1 INTRODUCCIÓN

El cáncer de pulmón es una de las principales causas de mortalidad a nivel mundial y representa un desafío significativo para los sistemas de salud. Según la Organización Mundial de la Salud, este tipo de cáncer es responsable de más muertes que cualquier otro, subrayando la necesidad urgente de desarrollar métodos de detección más efectivos y accesibles [4]. Aunque existen tratamientos disponibles, la detección temprana es crucial para mejorar los pronósticos y la calidad de vida de los pacientes. Sin embargo, un alto porcentaje de diagnósticos se realiza en etapas avanzadas, lo que limita las opciones de tratamiento y reduce significativamente las tasas de supervivencia.

En respuesta a esta problemática, este artículo aborda la aplicación de técnicas avanzadas de procesamiento de imágenes y aprendizaje automático para optimizar el diagnóstico del cáncer de pulmón. La implementación de algoritmos de minería de datos en el análisis de radiografías de tórax puede facilitar la identificación de anomalías, permitiendo un diagnóstico más preciso y oportuno. Mediante herramientas como GIMP y Python, se realiza un análisis de las imágenes médicas, lo que permite mejorar la calidad de las imágenes y generar datos importantes que pueden ser utilizados para entrenar modelos de aprendizaje automático.

1.1 Cáncer de pulmón

De acuerdo con [1], el cáncer de pulmón es el primer cáncer en incidencia y en mortalidad a nivel mundial, se compone de células no pequeñas (CPCNP). Por su parte [2] menciona el cáncer de pulmón clasificado en microcítico y no microcítico, como el segundo cáncer más común que afecta tanto a hombres como a mujeres en los Estados Unidos. En los hombres, el cáncer de próstata es el más común, mientras que en las mujeres es el cáncer de seno, sin embargo, alrededor del 13% de todos los cánceres nuevos son cánceres de pulmón, el cual ocurre principalmente en las personas de edad avanzada.

El [5] indica que el cáncer es una enfermedad en la cual las células del cuerpo comienzan a multiplicarse sin control, el cáncer de pulmón comienza en los pulmones y se puede diseminar a los ganglios linfáticos o a otros órganos del cuerpo, como el cerebro. A su vez, el cáncer originado en otros órganos se puede diseminar a los pulmones, cuando las células cancerosas se diseminan de un órgano a otro, se le llama metástasis. El cáncer de pulmón se origina cuando las células comienzan a reproducirse sin control, forman un tumor y se trasladan a otras partes del organismo donde comienzan a crecer y a formar nuevos tumores que reemplazan al tejido normal, el cual comienza en las células que envuelven los bronquios, los bronquiolos y/o los alvéolos [6].

1.1.1 Impacto Global del Cáncer de Pulmón

El cáncer de pulmón fue la principal causa de muerte en el 2022 donde 1,8 millones de muertes, que representan el 18,7% del total de muertes por cáncer, seguido del cáncer colorrectal con 9,3% y el cáncer de hígado en un 7,8%, el cáncer de mama con un 6,9% y el cáncer de estómago representado por un 6,8% [3]. De igual forma, [4] indica que en el 2022 se diagnosticó cáncer de pulmón a más de 2,5 millones de personas, lo que lo convierte en el tipo de cáncer más frecuente, convirtiéndose en la principal causa de muerte.

El cáncer de pulmón no sólo es la primera causa de muerte por cáncer, es además la más evitable, ya que la mayoría de los casos de este cáncer son ocasionados por el tabaquismo, un factor de riesgo que por sí solo provoca un mayor número de casos y a nivel mundial causa aproximadamente un 22% de las muertes por cáncer y un 71% de las muertes por cáncer de pulmón. Es el principal factor de riesgo para desarrollar cáncer de pulmón, ya que el humo del tabaco contiene carcinógenos, está demostrado que no hay una cantidad inocua al consumir cigarrillos o productos de tabaco, siempre hay riesgos a desarrollar cáncer [5].

1.1.2 Cáncer de Pulmón en México

El cáncer de pulmón representa un reto importante para la salud pública al ser reconocido como una de las principales causas de muerte por cáncer en México y en el mundo. Durante el año 2020, se estimó una incidencia de más de 2 millones de casos de cáncer de pulmón en el mundo, en México, se registraron 7

mil 811 casos nuevos y 6 mil 733 muertes por cáncer de pulmón. En México, la mayoría de los casos de cáncer de pulmón, lesión neoplásica de las vías de conducción o alveolares en el tórax está relacionada con el consumo de tabaco, seguido de la obesidad y la falta de actividad física. Se han detectado alrededor de 10 mil casos nuevos de cáncer de pulmón al año y de éstos, ocho mil personas pierden la vida, el cáncer de pulmón se puede presentar desde los 40 años, sobre todo si inició el consumo de tabaco a temprana edad, y el riesgo aumenta en mayores de 60 años [6], [7].

De acuerdo con el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), tumores malignos de la tráquea, de los bronquios y del pulmón, tiene tasas de 99.27 y 42.34 defunciones por cada 100 mil, respectivamente, sin embargo [8], existen algunos otros tumores relacionados con el cáncer, los cuales representan los primeros lugares de muerte en México como se muestra en la siguiente Figura 1.

Tipo de tumor maligno en hombres		Tipo de tumor maligno en mujeres	
De 0 a 19 años	Tasa	De 0 a 19 años	Tasa
Leucemia	2.78	Leucemia	1.93
Tumor maligno de las meninges, del encéfalo y de otras partes del sistema nervioso central	0.62	Tumor maligno de las meninges, del encéfalo y de otras partes del sistema nervioso central	0.61
Linfoma no Hodgkin	0.22	Tumor maligno del hígado y de las vías biliares intrahepáticas	0.16
Tumor maligno del hígado y de las vías biliares intrahepáticas	0.15	Tumor maligno del ovario	0.10
De 20 a 29 años		De 20 a 29 años	
Leucemia	2.69	Leucemia	1.84
Linfoma no Hodgkin	0.56	Tumor maligno del cuello del útero	0.84
Tumor maligno de las meninges, del encéfalo y de otras partes del sistema nervioso central	0.55	Tumor maligno del ovario	0.51
Tumor maligno del colon, del recto y del ano	0.41	Tumor maligno de la mama	0.49
De 30 a 59 años		De 30 a 59 años	
Tumor maligno del colon, del recto y del ano	5.86	Tumor maligno de la mama	14.61
Tumor maligno del estómago	4.59	Tumor maligno del cuello del útero	8.90
Leucemia	3.19	Tumor maligno del ovario	5.46
Tumor maligno del hígado y de las vías biliares intrahepáticas	2.94	Tumor maligno del colon, del recto y del ano	4.05
60 años o más		60 años o más	
Tumor maligno de la próstata	99.27	Tumor maligno de la mama	49.09
Tumor maligno de la tráquea, de los bronquios y del pulmón	42.34	Tumor maligno del hígado y de las vías biliares intrahepáticas	33.45
Tumor maligno del colon, del recto y del ano	39.54	Tumor maligno del colon, del recto y del ano	30.69
Tumor maligno del hígado y de las vías biliares intrahepáticas	37.75	Tumor maligno de la tráquea, de los bronquios y del pulmón	25.06

Figura 1. Tasa de defunciones por tipo de tumor maligno, por grupos de edad y sexo, 2022, (defunciones por cada 100 mil habitantes) [8].

La imagen anterior muestra la tasa de muerte por tumores en la tráquea, bronquios y pulmón, donde se puede observar que ocupa una alta tasa de mortalidad en hombres de la tercera edad.

1.2 Métodos de diagnóstico del cáncer de pulmón

En [9] se indica que para llegar al diagnóstico de un cáncer de pulmón existen pruebas diagnósticas de imagen, como: historia clínica con exploración física, analítica general, radiografía de tórax, TAC de tórax, TAC o resonancia magnética cerebral, pruebas de función respiratoria. Sin embargo, la mayoría de las ocasiones es necesario realizar estudios endoscópicos para tomar una muestra del tejido y conocer el tipo de tumor anudo a un pronóstico y tratamientos más adecuados.

1.2.1 Técnicas actuales de diagnóstico de cáncer de pulmón

La radiografía y el estudio citológico del esputo son dos exámenes de detección más usados para identificar signos de cáncer, por otra parte, se menciona que tanto la radiografía del tórax como el estudio citológico del esputo no disminuyen el riesgo de muerte por cáncer de pulmón [10]. A su vez, [11] indica que el cáncer pulmonar principalmente se detecta por un radiólogo mediante un estudio por imágenes, puede incluir una exploración por TAC de su pecho, una PET/TC o una radiografía del tórax. También se realiza vía broncoscopia (el especialista de pulmón explora sus vías aéreas con una pequeña cámara) o mediante un estudio de laboratorio que evalúa la presencia de las células en el esputo. Cuando existe una sospecha de cáncer de pulmón se confirma con un tipo de biopsia vía broncoscopia o por un radiólogo usando la guía por imágenes de TAC o ultrasonido endobronquial para ver y tomar una muestra de los ganglios linfáticos del centro del pecho (mediastino).

De igual forma, en [11] se menciona que una vez que se ha diagnosticado cáncer de pulmón, probablemente también deba hacerse una exploración por RMN o por TAC de su cerebro, por ende, las opciones de tratamiento dependen de la extensión de la enfermedad, e incluyen cirugía, radioterapia y terapia sistémica (quimioterapia, terapia dirigida, o la inmunoterapia) o una combinación de estas.

1.2.2 Importancia de las radiografías de tórax en la detección temprana

Existen enfermedades que representan amenazas globales donde la radiografía de tórax se destaca como una herramienta indispensable para su detección temprana y tratamiento oportuno, es una de las herramientas más valiosas en la lucha contra distintas enfermedades. A su vez, previene complicaciones graves, es una técnica de imagen médica mediante la cual los profesionales de la salud examinan los pulmones y otras estructuras torácicas en busca de signos de la enfermedad, el procedimiento de una radiografía de tórax es simple y no invasivo [12].

Por su parte, [13] menciona que la radiografía de tórax es una prueba diagnóstica de rutina y urgencia, consiste en una captación de una imagen del tórax mediante rayos X y ondas electromagnéticas que atraviesan en el cuerpo detectando la presencia en cada punto, donde los órganos más sólidos no dejan pasar los rayos X (huesos, que tienen calcio) y los más livianos permiten su paso (pulmones, llenos de aire), brinda datos clínicos para diagnosticar y procurar un tratamiento oportuno. No se está libre de riesgos, ya que se utilizan rayos X los cuales representan ondas ionizantes capaces de mutar células y predisponer al cáncer, aunque existen beneficios que superan los riesgos, ayudan a detectar: disnea, dolor torácico, traumatismo torácico, sospecha de neumonía, cáncer de pulmón, o para la preparación para una operación.

1.3 Técnicas de procesamiento de imágenes para diagnóstico

El procesamiento digital de imágenes consiste en una serie de técnicas que se aplican a las imágenes digitales, para mejorar su calidad o facilitar la búsqueda de información en ellas. Existen tres técnicas básicas de operaciones de punto en escala de grises, donde se caracterizan por la modificación de determinados píxeles de una imagen a través de herramientas matemáticas [14].

1.3.1 Filtrado por densidad de masa

Las técnicas locales o conocidas como filtrado, permiten calcular el píxel de salida, a partir del valor del píxel en la imagen de entrada en operaciones puntuales y por píxeles vecinos de lo que se quiere filtrar, el filtrado es una de las técnicas básicas en procesamiento de imágenes y usualmente consiste en realizar modificaciones de las componentes de frecuencia de una señal, específicamente filtros espaciales por la mayor simplicidad y velocidad [15].

Por su parte en [16] se realizó un filtrado de densidad en el diagnóstico computarizado para la detección de cáncer de mama es la neoplasia, a través de la segmentación de masas mamográficas, donde implementaron una técnica de procesamiento para aumentar el contraste en la imagen mamográfica reduciendo el ruido aparente, mediante un sistema de segmentación de masas sólidas de tres módulos. 1) Reducción de ruido para resaltar límites de la masa mediante el filtro SRAD. 2) Implementación de un algoritmo de objetos YOLOv3 delimitando la región de interés y asegurar la segmentación en la zona de interés identificada. 3) Aplicación la red de segmentación semántica DeepLabv3+ en la región delimitada por la red de detección.

1.3.2 Eliminación de ruido y segmentación

Para [17] existe un efecto de la segmentación de ruido sobre la imagen FLAIR en Imagen original y su histograma correspondiente, en imagen de ruido segmentado empleando el método del " 5 por ciento" , e histograma donde se muestra el umbral de ruido a partir del cual se segmenta. La imagen de ruido empleando el "método de la derivada ". Así como un histograma donde se muestra el umbral de ruido seleccionado para segmentar y la imagen de ruido obtenida por el "método del por ciento más la derivada ", e histograma que muestra el umbral seleccionado para la segmentación.

La segmentación de imágenes médicas es un proceso crítico para la creación de modelos tridimensionales anatómicos. Sin embargo, es un desafío debido a factores como la complejidad de las formas anatómicas, artefactos de muestreo espacial y ruido, la eliminación de este es esencial para aislar correctamente la componente principal de la imagen. Existen propuestas de diversos métodos para mejorar la segmentación, asegurando que los contornos sean continuos y cerrados, evitando la sobre-segmentación, y manteniendo la independencia de la umbralización y un tiempo de procesamiento eficiente [18].

2 METODOLOGÍA

Mediante la metodología conocida para el procesamiento de imágenes médicas, especialmente para el análisis de radiografías, como primer paso se realizó la adquisición de imágenes. Para la recolección de datos y el preprocesamiento inicial. El segundo consiste en el preprocesamiento de imágenes para la corrección y normalización de la imagen. El tercero es la transformación de grises a color y filtrado de la imagen. Para el cuarto se realiza la segmentación y en quinto lugar se realiza la extracción de características y el análisis de las mismas.

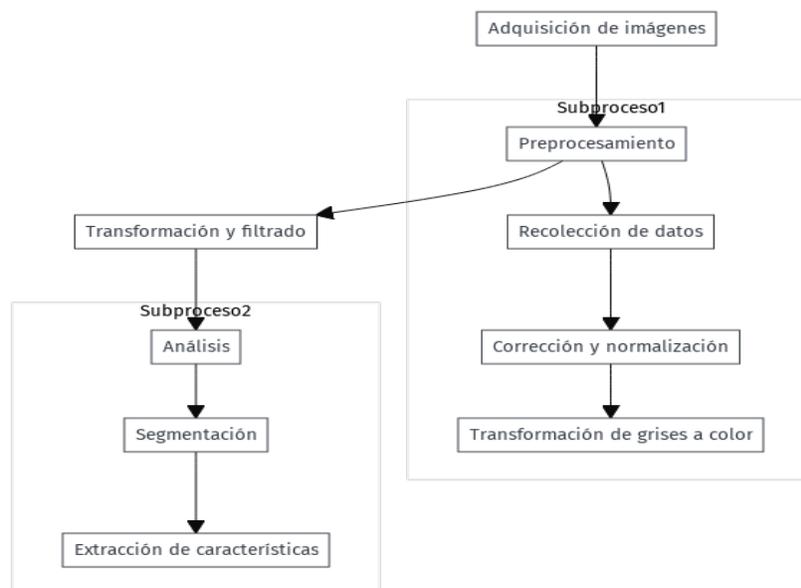


Figura 2. Fases del procesamiento de imágenes médicas aplicadas a radiografías.

Se utilizaron tres tipos de radiografías, clasificadas en tres grupos de control: negativas (radiografías de personas sanas, sin cáncer), probables (radiografías con algún padecimiento en la zona de los pulmones),

y positivas (radiografías con diagnóstico confirmado de cáncer de pulmón). Estas radiografías fueron obtenidas de repositorios de imágenes médicas de acceso libre, analizadas mediante herramientas de GIMP, (GNU Image Manipulation Program). Lo anterior, de acuerdo con [19] es un programa de edición de imágenes digitales gratuito y de código abierto para crear, editar y retocar imágenes en formato mapa de bits, ya sean dibujos o fotografías, tanto fijas como animadas, utilizado por cualquier sistema operativo de instalación sencilla, no requiere registro previo ni licencia para usarlo.

Para el procesamiento, se empleó Python como lenguaje de programación junto con las librerías numpy y matplotlib. Numpy se utilizó para manejar las matrices y operaciones numéricas esenciales, mientras que matplotlib se encargó de la visualización de los resultados, permitiendo graficar los datos obtenidos de las radiografías. Además, se utilizaron otras librerías como scipy para operaciones de filtrado y skimage (scikit-image) para procesamiento de imágenes avanzadas, como la segmentación y mejora de contraste. Estas herramientas permitieron realizar una serie de transformaciones y análisis de las imágenes, como la conversión de escala de grises a escala RGB, la aplicación de filtros de densidad de masa y la eliminación de artefactos no deseados, con el objetivo de obtener información más precisa y útil para el diagnóstico.

3 RESULTADOS

Para el procesamiento de las imágenes se realizó como primera técnica aplicada el filtrado por densidad de masa, que consiste en realizar una colorimetría en las radiografías. Se asignaron colores que van desde azul oscuro para las áreas más negras hasta rojo carmesí para las áreas más blancas en las radiografías originales. Para la edición de imágenes se utilizaron las herramientas de GIMP, y para el procesamiento se emplearon Python como lenguaje de programación junto con las librerías numpy y matplotlib.

Paso 1. colorimetría. El primer paso es la colorimetría de las imágenes (pasarlas de una escala de grises a una escala RGB), con esto obtenemos las siguientes imágenes. En el grupo de control positivo en las radiografías se puede observar como el área de los pulmones tiende a estar coloreada de una verde aguamarina a un rojo para las partes más densas del filtrado localizado como se observa en la Figura 3. El objetivo principal de esta técnica es mejorar la visualización y la interpretación de las radiografías, permitiendo una mejor diferenciación de las densidades de masa en los filtrados de la radiografía, lo que puede ser útil para identificar más fácilmente las áreas anómalas en los pulmones.

El primer paso crucial en la técnica de filtrado por densidad de masa es la transformación de las imágenes radiográficas de una escala de grises a una escala RGB, usando Python con las librerías numpy y matplotlib para este fin. Se realizó una transformación a escala RGB para convertir las imágenes originales en escala de grises a imágenes a color. En esta transformación, se asignaron colores específicos para representar diferentes densidades de masa: azul oscuro para las áreas menos densas, como el aire dentro de los pulmones, que aparecen oscuras en la radiografía; y rojo para las áreas más densas o blancas, como el tejido óseo, que en las radiografías suele ser translúcido o blanco. La aplicación de esta colorimetría resultó en imágenes como las que se muestran a continuación.

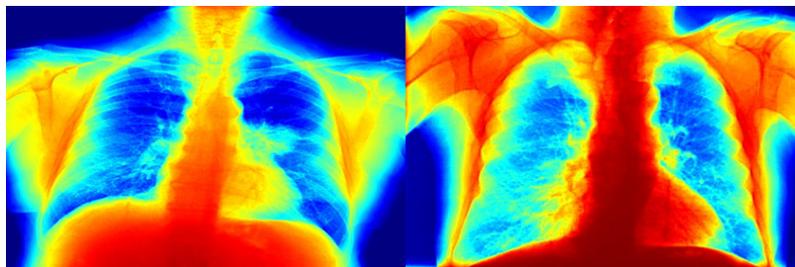


Figura 3. Radiografías coloreadas de pacientes del grupo de control positivo.

Por otro lado, en las imágenes del grupo de control de probables, se pueden observar áreas con una mayor o menor densidad representadas en verde aguamarina, así como zonas focalizadas en amarillo. Estas coloraciones pueden indicar la presencia y localización de posibles tumores, como se observa en la Figura 4.

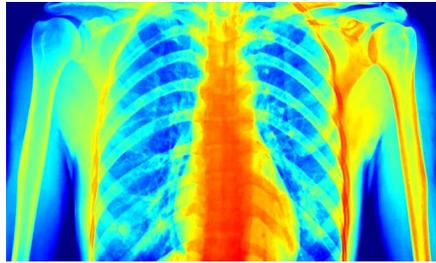


Figura 4. Radiografías coloreadas de pacientes del grupo de control probable.

En cambio, en las imágenes catalogadas como negativas, se observa una dominancia mucho mayor del color azul, lo que indica que los pulmones están sanos. El azul intenso representa el negro absoluto, que en los pulmones sanos corresponde al aire, el cual es invisible para los rayos X.

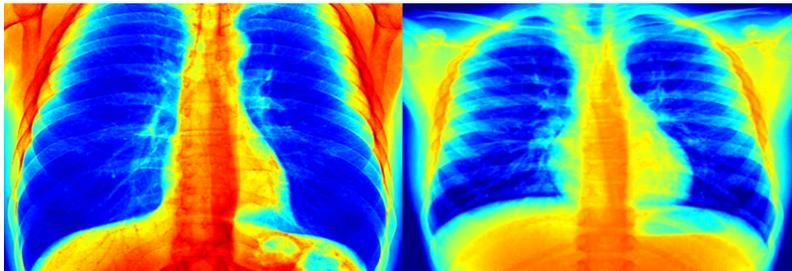


Figura 5. Radiografías coloreadas de pacientes del grupo de control negativo.

Paso 2. Consiste en eliminar las partes irrelevantes de la imagen para el estudio, enfocándose únicamente en la radiografía del grupo de control positivo. Dado que una radiografía de tórax no solo muestra los pulmones, sino también otras estructuras como los hombros, el esternón, parte del estómago, el cuello y las costillas, es crucial eliminar esta información adicional para clasificar correctamente las imágenes. Usando la herramienta de cubeta en GIMP, se pintará de negro las áreas no deseadas. Gracias a las propiedades de la imagen y sus diversos colores, la silueta de las costillas se preserva de manera sorprendente, facilitando la visualización de los pulmones.

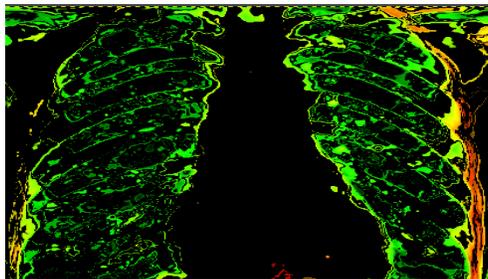


Figura 6. Radiografía del grupo de control positivo con reducción de ruido.

El siguiente paso es retirar el fondo negro de la imagen, lo cual se puede hacer utilizando GIMP u otra herramienta similar. Una vez eliminado el fondo, obtendremos una imagen translúcida. Sin embargo, la imagen aún puede contener partes no deseadas. Para resolver esto, se puede utilizar la herramienta de borrador en GIMP para eliminar todo lo que no representa las costillas, quedándonos con la imagen final limpia y adecuada para el análisis.

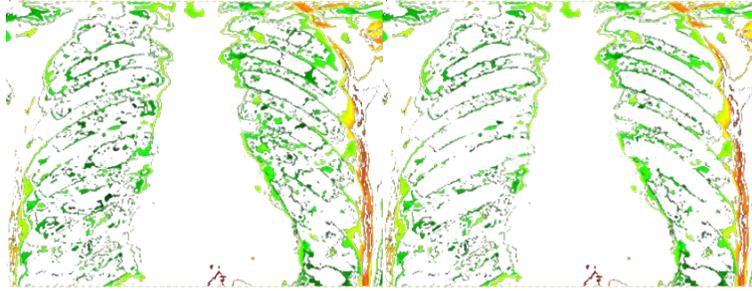


Figura 7. Radiografías del grupo de control positivo con proceso de eliminación de ruido.

A su vez, se utiliza esta imagen para, con la ayuda de la herramienta de pincel de GIMP, eliminar las zonas de las costillas y el esternón, de modo que no se tomen en cuenta al momento de graficar. Este proceso se repetirá para cada imagen que se desee analizar.

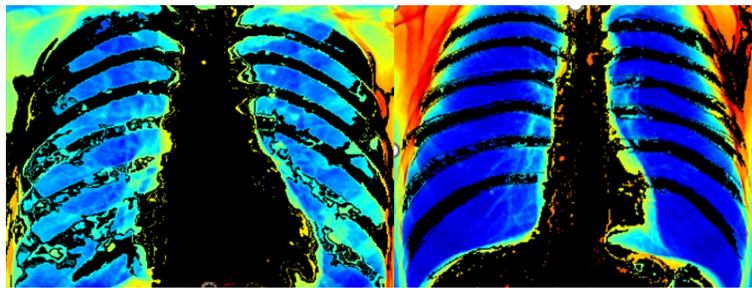


Figura 8. Radiografía filtrada para eliminación de ruido.

La segmentación de imágenes es una técnica recurrente donde la imagen se divide en partes más pequeñas para analizarlas y lograr recolectar los datos de cada una. Esta técnica a su vez, permite analizar los pesos de los momentos de cada segmento de la imagen. Dentro del procesamiento de imágenes, los momentos son medidas estadísticas para describir características de la distribución de intensidades de los píxeles en una imagen. De esta forma los momentos centrales y normalizados brindan información referente a las transformaciones geométricas, como traslaciones y escalas.

Existen 3 tipos de momentos: espaciales; integrales ponderadas de la intensidad de los píxeles, en una imagen, proporcionan información sobre la distribución de los píxeles en términos de su posición absoluta en la imagen, centrales. Se calculan con respecto al centroide de la imagen y su traslación, lo que significa que no cambian si se traslada la imagen en el plano y normalizados. Los momentos centrales escalados que invariantes en la traslación como a la escala, proporcionan una medida robusta de la forma y la distribución de la intensidad de los píxeles en la imagen. El objetivo principal de la técnica es encontrar diferencias de pesos de los momentos para las radiografías de pulmones con cáncer de los que no lo tienen, diferencias que pueden ser útiles para etiquetar radiografías con cáncer y sin él. El primer paso es transformar la imagen para capturar la silueta de los pulmones y las estructuras dentro de él.

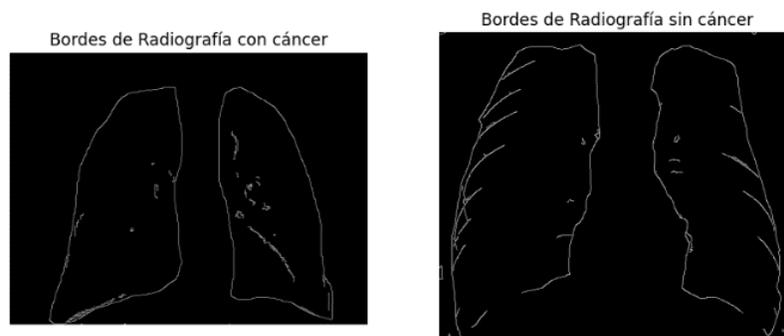


Figura 9. Comparación de bordes en radiografías de pulmones con y sin cáncer.

Cuando se extraen los bordes, se calculan los momentos de la imagen, lo que significa calcular los momentos espaciales, que son integrales ponderadas de la intensidad de los píxeles, y luego los momentos centrales, que se calculan con respecto al centroide de los bordes detectados. Desde los momentos calculados, se derivan características útiles para caracterizar objetos y regiones en la imagen, estas características pueden incluir el área, el perímetro, la compacidad, la circularidad.

Por último, utilizando Python y matplotlib, se graficó la cantidad de cada color presente en las radiografías, expresada en porcentajes. Los resultados de la colorimetría de las imágenes se presentaron en gráficos. Donde, entre más azul sea el color menos denso es el tejido, entre más cerca del rojo el tejido es más denso, la gráfica muestra un resumen de todos los colores presentes en las tres radiografías procesadas de cada grupo de control.

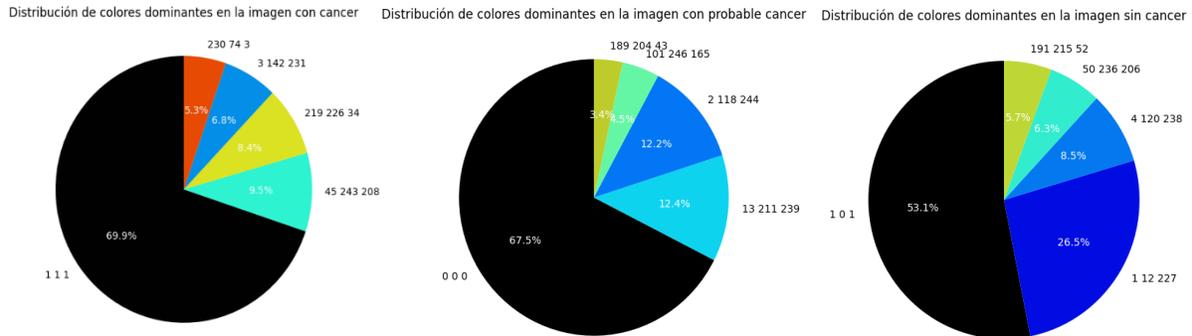


Figura 10. Distribución de colores en radiografía de tórax procesada por grupo de control.

La tabla siguiente muestra los colores dominantes en cada una de las radiografías procesadas, como se puede observar en las gráficas anteriores, existe una diferencia de los colores dominantes y sus porcentajes en cada radiografía. Para los grupos de control positivo, probable y negativo, el color con mayor presencia es una tonalidad de color azul-verdoso, y el color con menor presencia es el rojo. Para las radiografías etiquetadas como posible cáncer, el color más dominante es azul-verdoso más intenso que el anterior y el de menor presencia es un amarillo, en esta ya no se presenta el color rojo. Por otra parte, para las radiografías etiquetadas como negativas el color con mayor dominancia es un azul ultramar y el de menor es una tonalidad de amarillo.

Tabla 1. Colorimetría en radiografías (grupos de control).

Grupo de Control	Color más dominante	Color menos dominante
Negativo		
Probable		
Positivo		

Para visualizar los resultados las gráficas han sido adaptadas para mostrar las tonalidades medias de los 5 colores más presentes en la imagen, por lo que la tonalidad de estos es un promedio de todos los colores presentes, pero es posible mostrar más colores para tener una representación más real, mismos que se visualizan en la siguiente imagen.

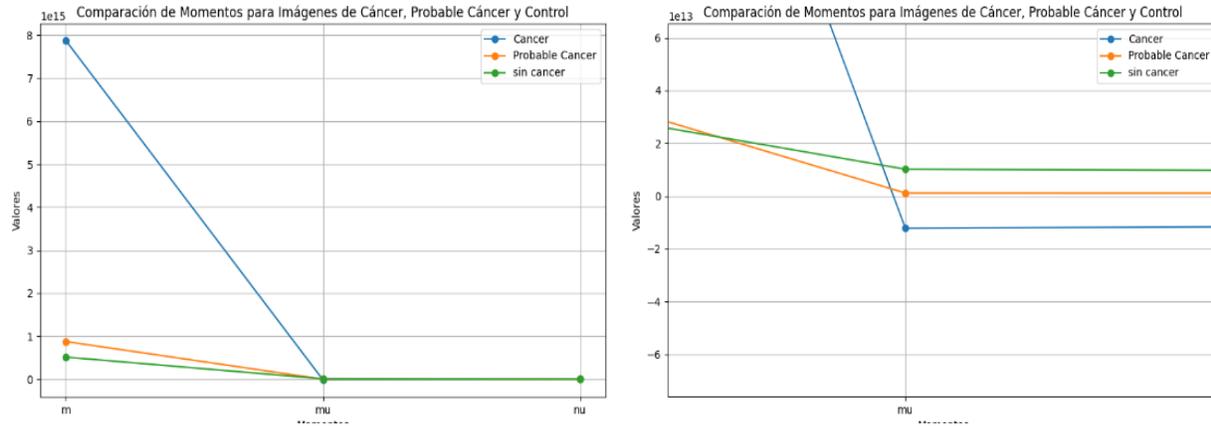


Figura 11. Representación promediada de los momentos de color en las imágenes analizadas.

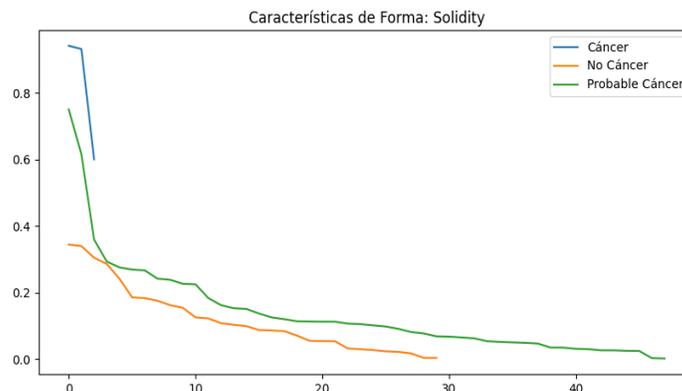


Figura 12. Análisis de momentos de color en las imágenes b.

En las gráficas anteriores se pueden percibir la diferencia entre los pesos de los momentos, para los cuales solo existen diferencias apreciables para los momentos m y μ . Para los primeros las radiografías tienen notable diferencia, con una ganancia positiva, mientras que entre radiografías con posible cáncer y las que no lo tienen la diferencia es más pequeña en comparación, para los momentos μ las diferencias son más pequeñas y equilibradas. Se observó que las radiografías sin cáncer las que obtienen un valor más alto, y las que sí tienen cáncer un menor valor, ahora en la gráfica de solidez el pulmón con cáncer al tener una cantidad mayor de filtrado provoca que obtengan un puntaje máximo más alto, mientras que los pulmones sanos se presentan huecos tienen el valor más bajo.

4 CONCLUSIONES

Lo anterior permite determinar la importancia del procesamiento digital de imágenes en la detección temprana del cáncer de pulmón. Representa un enfoque que puede revolucionar la forma en que se diagnostica esta enfermedad, a través de las técnicas de colorimetría y segmentación empleadas. Se demostró que es posible mejorar la visualización y la interpretación de las radiografías, con el propósito de facilitar la identificación de áreas anómalas en los pulmones.

La implementación de herramientas como GIMP y lenguajes de programación como Python, junto con librerías especializadas permiten un análisis completo de las imágenes médicas, aunado a una optimización de la calidad de las imágenes coadyuvando a determinar los datos valiosos que pueden ser utilizados para entrenar modelos de aprendizaje automático. Con base en los resultados obtenidos, se vislumbra la posibilidad de desarrollar una red neuronal que, al ser alimentada con imágenes procesadas, pueda predecir la presencia de cáncer de pulmón en etapas tempranas. Esta innovación no solo podría

reducir significativamente los costos asociados a pruebas diagnósticas invasivas, sino que también permitiría a los pacientes recibir un tratamiento oportuno, mejorando así sus pronósticos determinados por los especialistas y calidad de vida.

Por último, el procesamiento de imágenes médicas y la integración de técnicas de minería de datos son pasos fundamentales hacia la creación de sistemas de diagnóstico más eficientes y accesibles. La investigación futura debe centrarse en la optimización de estos métodos y en la validación de modelos predictivos, con el objetivo de establecer un estándar en la detección temprana del cáncer de pulmón.

REFERENCIAS

- [1] C. M. Vidal y S. Samtani, «Inhibidores del punto de control inmune en cáncer pulmonar de células no pequeñas en etapa temprana: ¿Nuevo estándar de tratamiento?,» *Revista Médica Clínica Las Condes*, 2024. [En línea]. Obtenido de URL: <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-medica-clinica-las-condes-202-articulo-inhibidores-del-punto-control-inmune-S0716864024000245>. [Último acceso: 2024].
- [2] American Cancer Society, «Estadísticas importantes sobre el cáncer de pulmón,» American Cancer Society, Inc. , 2024. [En línea]. Obtenido de URL: <https://www.cancer.org/es/cancer/tipos/cancer-de-pulmon/acerca/estadisticas-clave.html>. [Último acceso: 2024].
- [3] Comisión Nacional contra las Adicciones , «Tabaquismo y cáncer de pulmón,» Gobierno de México, 2020. [En línea]. Obtenido de URL: <https://www.gob.mx/salud/conadic/articulos/tabaquismo-y-cancer-de-pulmon>. [Último acceso: 2024].
- [4] Organización Mundial de la Salud, «Crece la carga mundial de cáncer en medio de una creciente necesidad de servicios,» Organización Mundial de la Salud, 2024. [En línea]. Obtenido de URL: [https://www.who.int/es/news/item/01-02-2024-global-cancer-burden-growing--amidst-mounting-need-for-services#:~:text=El%20c%C3%A1ncer%20de%20pulm%C3%B3n%20fue%20la%20principal%20causa%20de%20muerte,el%20c%C3%A1ncer%20de%20est%C3%B3mago%20\(660](https://www.who.int/es/news/item/01-02-2024-global-cancer-burden-growing--amidst-mounting-need-for-services#:~:text=El%20c%C3%A1ncer%20de%20pulm%C3%B3n%20fue%20la%20principal%20causa%20de%20muerte,el%20c%C3%A1ncer%20de%20est%C3%B3mago%20(660). [Último acceso: 2024].
- [5] World Economic Forum, «La carga mundial de cáncer va en aumento: esto es lo que hay que hacer,» AGENDA GLOBAL, 2024. [En línea]. Obtenido de URL: <https://es.weforum.org/agenda/2024/03/la-carga-mundial-de-cancer-va-en-aumento-esto-es-lo-que-hay-que-hacer/>. [Último acceso: 2024].
- [6] Secretaría de Salud, «Mayoría de los casos de cáncer de pulmón se relaciona con consumo de tabaco,» Gobierno de México, 2024. [En línea]. Obtenido de URL: <https://www.gob.mx/salud/prensa/137-mayoria-de-los-casos-de-cancer-de-pulmon-se-relaciona-con-consumo-de-tabaco?idiom=es>. [Último acceso: 2024].
- [7] Instituto Nacional de Salud Pública, «México frente al cáncer de pulmón,» Instituto Nacional de Salud Pública, 2021. [En línea]. Obtenido de URL: <https://www.insp.mx/avisos/mexico-frente-al-cancer-de-pulmon>. [Último acceso: 2024].
- [8] Instituto Nacional de Estadística y Geografía, «ESTADÍSTICAS A PROPÓSITO DEL DÍA MUNDIAL CONTRA EL CÁNCER,» Datos Nacionales, 2024. [En línea]. Obtenido de URL: https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2024/EAP_CANCER24.pdf. [Último acceso: 2024].
- [9] P. M. Rodríguez, «Cáncer de Pulmón,» Clínica Universidad de Navarra, 2023. [En línea]. Available: <https://cancercenter.cun.es/todo-sobre-cancer/tipos-cancer/cancer-pulmon>. [Último acceso: 2024].
- [10] Departamento de Salud y Servicios Humanos, «Exámenes de detección del cáncer de pulmón,» Instituto Nacional de Cáncer, 2024. [En línea]. Obtenido de URL: <https://www.cancer.gov/espanol/tipos/pulmon/paciente/deteccion-pulmon->

- pdq#:~:text=La%20radiograf%C3%ADa%20y%20el%20estudio,muerte%20por%20c%C3%A1ncer%20de%20pulm%C3%B3n.. [Último acceso: 2024].
- [11] Radiological Society of North America,, «Cáncer pulmonar,» RadiologyInfo.org para pacientes, 2024. [En línea]. Obtenido de URL: <https://www.radiologyinfo.org/es/info/lung-cancer>. [Último acceso: 2024].
- [12] Universidad Viña Del Mar, «La tuberculosis y el rol crucial de la radiografía en su detección,» Noticias y Actividades, 2023. [En línea]. Obtenido de URL: <https://www.uvm.cl/noticias/tuberculosis-rol-crucial-radiografia-deteccion/>. [Último acceso: 2024].
- [13] Complejo Médico Marbella, «La Importancia de la Radiografía de Tórax,» Laboratorio Marbella del Este , [En línea]. Obtenido de URL: <https://www.complejomedicomarbella.com/radiografia-torax-importancia>. [Último acceso: 2024].
- [14] U. A. Catalán, «Técnicas de procesamiento digital de imágenes,» Revista de Marina, 2019. [En línea]. Obtenido de URL: <https://revistamarina.cl/es/articulo/tecnicas-de-procesamiento-digital-de-imagenes>. [Último acceso: 2024].
- [15] Universidad de Sevilla, «Capítulo 3: Filtrado digital de imágenes,» Fichero, [En línea]. Obtenido de URL: <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/use/abreproy/10549/fichero/cap%C3%ADtulo3.pdf>. [Último acceso: 2024].
- [16] R. A. Vazquez, «Segmentación de Masas sólidas benignas y malignas en imágenes de Ultrasonidos mediante un sistema de Aprendizaje Profundo,» Tecnológico Nacional de México, 2024. [En línea]. Obtenido de URL: <http://51.143.95.221/handle/TecNM/7059>. [Último acceso: 2024].
- [17] M. E. Barbará, B. R. Sánchez y D. E. González, «Comparación de Algoritmos de Segmentación de Ruido Aplicados a Imágenes de Resonancia Magnética,» Revista de Ingeniería Electrónica, Automática y Comunicaciones, 2012. [En línea]. Obtenido de URL: https://www.researchgate.net/figure/Figura-6-Efecto-de-la-segmentacion-de-ruido-sobre-la-imagen-FLAIR-A-Imagen-original-y_fig2_233852979. [Último acceso: 2024].
- [18] O. D. Rainier y B. A. M. Iznaga, «Técnicas de Segmentación de Imágenes Médicas,» 20028. [En línea]. Obtenido de URL: https://www.researchgate.net/publication/275951781_Tecnicas_de_Segmentacion_de_Imagenes_Medicas. [Último acceso: 2024].
- [19] The GIMP Help Team, «Capítulo 1. Introducción, Parte I. Primeros pasos,» GIMP Documentation, 2023. [En línea]. Obtenido de URL: <https://docs.gimp.org/2.10/es/introduction.html#:~:text=GIMP%20es%20una%20aplicaci%C3%B3n%20de,que%20se%20construyen%20los%20programas..> [Último acceso: 2024].