

Procesamiento digital de imágenes de tumores malignos de columna vertebral y médula espinal a partir de imágenes de resonancia magnética y tomografía de columna

María Alejandra Osorio Ciendúa, Valentina Ruiz Jaramillo.

*Facultad de ingeniería, Universidad Autónoma de Manizales
Manizales, Colombia.*

mariaa.osorioc@autonoma.edu.co.
valentina.ruizj@autonoma.edu.co.

Abstract: Spinal cord tumors correspond to tumor masses in the spinal canal that are sometimes difficult to identify due to the number of anatomical structures that cover the spinal cord. This project deals with the digital processing of MRI and CT images of the spinal cord, with the objective of improving the detection and appreciation of tumors and eliminating noisy or irrelevant areas for the medical study, by means of interface programming and functions such as brightness adjustment, contrast, sharpness, thresholding, image inverse, mask application, Gaussian filter, Laplacian filter, maximum and minimum filter in the Python programming environment. As a result, the enhancement of details and relevant portions of the images was significantly improved to provide valuable information to the medical staff.

Keywords: Digital image processing, Interface, Programming, Filters, Python, Functions, Operations.

I. INTRODUCCIÓN

Los tumores de médula espinal se presentan y evidencian en el conducto vertebral, es decir, entre los huesos de la columna vertebral como masas tumorales, ya sea en la médula espinal propiamente dicha (en su interior), o en el recubrimiento de la misma. Cabe resaltar que la médula espinal al pertenecer al sistema nervioso central, posee al igual que el cerebro, aquellas estructuras conocidas como meninges, las cuales están conformadas de 3 capas: aracnoides, piamadre y duramadre; donde ésta última, es la capa más externa encargada del recubrimiento y protección de la médula espinal, y que además de ello, se encuentra adherida a los huesos de la columna vertebral [1]. Por lo tanto, si la médula espinal se ve afectada por un tumor maligno, es muy probable que este haga metástasis hacia la zona de la columna vertebral o viceversa [2]. En relación

con lo anterior, los tumores presentes en las áreas previamente mencionadas, se deben en muchas ocasiones a otros tipos de cáncer en otras estructuras corporales circundantes tales como el seno de la mujer, el colon o los pulmones [3].

Dada la breve explicación espacial y conceptual anterior, en el presente proyecto se pretende realizar el procesamiento digital de imágenes en el área de resonancias magnéticas y tomografías computarizadas de columna vertebral, donde este último tipo de imagen diagnóstica, es utilizada para complementar información obtenida que apoye la resonancia magnética de columna vertebral, la cual ofrece mayor información del estado de esta compleja estructura ósea y aquellas estructuras que se encuentran en su interior, tal como la médula espinal con sus respectivas meninges, que resultan muy importantes para el procesamiento de la información. Puesto que las bases de datos asociadas a tomografías o resonancias magnéticas de columna y médula espinal son bastante escasas, se hará uso de una única base de datos hasta el momento, la cual se denomina Radiopaedia (la cual es un recurso web educativo revisado por pares), la cual contiene un depósito de imágenes de ciertos casos clínicos asociados a tumores en las áreas de interés del presente proyecto, donde a partir de una búsqueda minuciosa se tiene un aproximado hasta el momento de 10 imágenes listas para ser procesadas.

Para la mejora en términos de la apreciación, detección de tumores y eliminación de áreas ruidosas o irrelevantes para el estudio de dichas imágenes diagnósticas por parte del personal sanitario, se incluirán en una interfaz gráfica de programación en Python las operaciones,

transformaciones y filtrados que a consideración, son las más relevantes tales como: ajuste de brillo, contraste, nitidez, umbralización, inverso de la imagen, aplicación de máscara, filtro gaussiano, filtro laplaciano, filtro del máximo y del mínimo. Los criterios para la selección de las operaciones y filtros previamente mencionados, fueron la implementación de una manera general de estos y otros que fueron descartados, visualizando cuáles operaciones y filtros resultaban ser más eficaces en cuanto al procesamiento y mejoramiento de la imagen, así como aquellos que también otorgaban incluso más información de la imagen, pues a pesar de la eliminación de ruido, no se apreciaban ciertos detalles.

II. METODOLOGÍA

Con el objetivo de realizar el procesamiento digital de las imágenes de resonancia magnética y tomografía de columna de manera exitosa, se realizó una planeación metodológica constituida por cuatro momentos, los cuales corresponden al diseño del boceto inicial, diseño de interfaz, programación de interfaces y programación de funciones. Para efectos de validación del proyecto, se utilizaron las imágenes dispuestas en “Radiopedia” [4], el cual corresponde a una plataforma en línea que proporciona imágenes médicas radiológicas, entre ellas tomografías y resonancias magnéticas de columna y médula espinal que se relacionaban a tumores malignos ubicados en dichas estructuras anatómicas.

En el primer momento, se llevó a cabo el diseño del boceto inicial de la interfaz gráfica en el programa Balsamiq Wireframes, el cual es una herramienta útil para esbozar fácilmente las ideas de un proyecto, en este caso, teniendo en cuenta que se debe realizar la carga de imágenes y las diferentes opciones de procesamiento digital de dichas imágenes.

En un segundo momento, se desarrolló la interfaz del usuario en el programa PyQt, el cual corresponde a una biblioteca gráfica de desarrollo del lenguaje de programación Python, que permitió plasmar en ella la idea planteada en el boceto inicial para ser el medio de interacción entre el usuario y la programación desarrollada. En el desarrollo de esta interfaz se tuvo en cuenta varios elementos gráficos que encaminaron a la misma a tener un aspecto visual ordenado y comprensible. Entre estos elementos se encuentran: los botones (utilizados para hacer

llamado de funciones, filtros u operaciones), los sliders o barras deslizantes (utilizados para realizar la variación de los parámetros de las funciones) y los labels (utilizados para realizar la carga de la imagen original, la imagen con sus parámetros modificados y la imagen final modificada). Uno de los elementos más importantes en esta interfaz es el TabWidget, debido a que este elemento permite generar una barra de pestañas, configuradas encima del área de la página en curso. Para este proyecto se realizaron cuatro TabWidget:

- Carga de imagen: Esta pestaña contiene diferentes elementos gráficos que permiten cargar la imagen tipo DICOM, JPG o JPEG.
- Operaciones básicas: En esta pestaña se encuentran tres de las funciones del procesamiento digital de imágenes, brillo, contraste y nitidez; Las cuales podrán ser utilizadas por el profesional de la salud según su criterio, a través del uso de barras deslizantes y botones.
- Extracción de características notables: Esta pestaña contiene tres funciones, umbralización, inverso y máscara, las cuales pueden ser aplicadas mediante el uso de sliders y botones.
- Realce de bordes y tonalidades: En esta pestaña se encuentran las funciones de filtro máximo, filtro mínimo y filtro laplaciano. Su aplicación sobre la imagen se realiza utilizando barras deslizantes y botones.

Todos los elementos gráficos trabajados en la interfaz deben ser nombrados de manera estratégica, preferiblemente por convenciones. Esto se debe a la presencia de muchos elementos gráficos que al momento de programar pueden entorpecer el proceso, por eso, con esta condición se busca que al momento de programar, el elemento pueda ser localizado fácilmente.

Para realizar la programación de la interfaz gráfica se realizó un enlace entre PyQt creator y el entorno de programación de Python (PyCharm Community Edition 2022.3.2) donde se realizó toda la programación de los elementos gráficos y las funciones. Al momento de realizar la programación de las funciones se tuvo en cuenta que las imágenes a procesar serían en escala de grises (tomografías y resonancias magnéticas), por lo tanto, se realizó la búsqueda de las funciones definidas en el lenguaje de programación de Python, de manera que si estas ya existieran, fueran implementadas directamente en el código

con su respectiva librería. Es importante mencionar que el procesamiento de estas imágenes médicas busca modificar la apariencia de la imagen sin cambiar su estructura o contenido, de manera que las funciones se direccionan hacia las operaciones puntuales y locales. [5] Para efectos de comprensión, es importante tener en cuenta el objetivo de cada una de las funciones trabajadas en el código:

- **Brillo:** Esta función permite el aumento o disminución de la luminosidad de la imagen pixel a pixel.
- **Contraste:** Según la variación de los parámetros de esta función, se puede incrementar o no el rango dinámico de los niveles de gris de la imagen que se está procesando, de manera que se ajusta la diferencia entre los colores más claros y los más oscuros.
- **Nitidez:** En esta función, se pretende controlar el máximo detalle en la información de la imagen a partir de la variación de parámetros.
- **Umbralización:** Esta función busca la segmentación de la imagen, con el objetivo de separar sus píxeles en dos categorías a partir de un valor umbral de intensidad, de manera que es posible visualizar las estructuras del fondo y las estructuras del primer plano.
- **Inverso:** Esta función afecta a cada uno de los píxeles de la imagen, buscando determinar la intensidad opuesta de cada píxel, mejorando el realce de los detalles.
- **Máscara:** Esta función corresponde a un kernel que realiza operaciones locales en la imagen, es decir que la imagen se transforma en función de los niveles de gris de cada píxel y los de su entorno, logrando así, mejorar la detección de contornos.
- **Filtro máximo:** Con este filtro se resaltan las regiones de mayor intensidad en una imagen, logrando mejorar la visualización de detalles importantes.
- **Filtro mínimo:** Con este filtro se resaltan las regiones de menor intensidad en una imagen, logrando mejorar la visualización de detalles importantes.
- **Filtro Laplaciano:** Este filtro se utiliza para resaltar los cambios bruscos de intensidad en la

imagen, logrando obtener bordes definidos y claros.

III. RESULTADOS

El primer acercamiento al objetivo planteado fue el diseño del boceto inicial, el cual puede ser observado de la figura 1 a la figura 4:

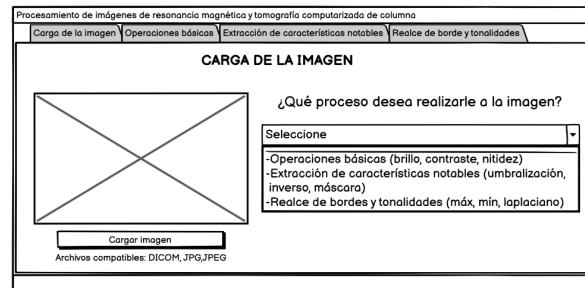


Fig 1. Boceto inicial, carga de la imagen. Tomado de: Fuente propia

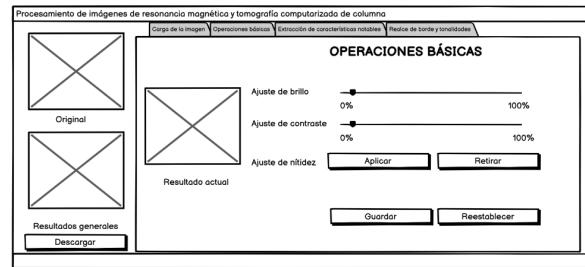


Fig 2. Boceto inicial, operaciones básicas. Tomado de: Fuente propia

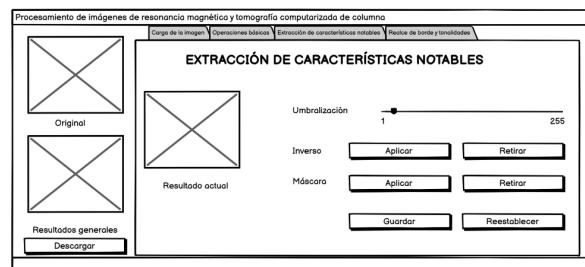


Fig 3. Boceto inicial, extracción de características notables. Tomado de: Fuente propia

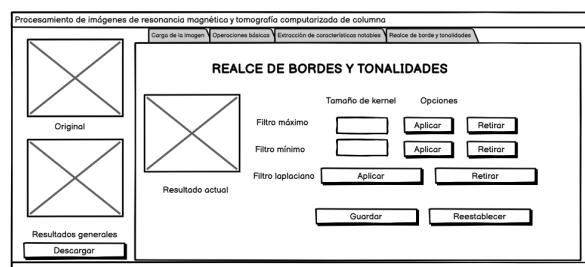


Fig 4. Boceto inicial, realce de bordes y tonalidades. Tomado de: Fuente propia

Esta interfaz no logró conservar todas las

características del boceto inicial, debido a que durante el proceso de programación se pudo evidenciar que habían algunos elementos que no eran necesarios y que se estaba realizando un reproceso. A continuación se muestra la correcta operación del programa para lograr el análisis requerido por el especialista médico.

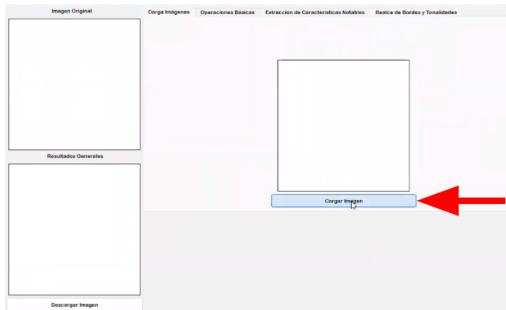


Fig 5. Carga de la imagen. Tomado de: Fuente propia

La pestaña de carga de imágenes fue una de las que presentó variaciones en su interfaz gráfica con respecto al boceto inicial (fig 1), pues se determinó que se estaba realizando un reproceso al momento de escoger la función que se quería realizar a la imagen. En base a esto es importante mencionar que la flecha roja en la figura 5 indica el botón que se debe presionar para cargar la imagen. Después de que se selecciona el botón, aparecerá una pestaña emergente donde se debe realizar la búsqueda de la imagen que deseamos cargar, así como se indica en la figura 6.

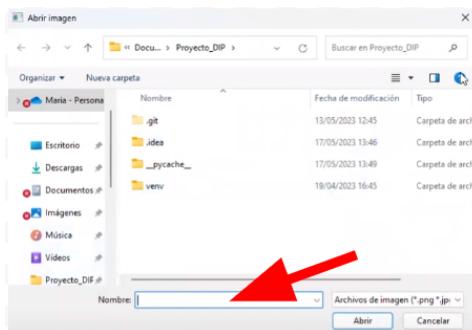


Fig 6. Búsqueda de la imagen a cargar. Tomado de: Fuente propia



Fig 7. Resultados generales. Tomado de: Fuente propia

Una vez cargada la imagen, ésta aparecerá en el label “imagen original” como se muestra en la figura 7. Por el momento, en el label “resultados generales” no aparecerá nada porque no hemos realizado modificaciones a la imagen. Después de tener la imagen, podemos pasar a las pestañas de edición de imagen que se requieran. El paso a paso para procesar la imagen es el siguiente:

Antes de comenzar a explicar el paso a paso es importante mencionar que cada vez que se realice un ajuste a la imagen, se debe presionar el botón “guardar cambios”, de lo contrario, la imagen no se verá modificada en el label “resultados generales”. Además de esto, cada cambio guardado en las imágenes, se verá reflejado en las demás pestañas del programa en el label “resultado actual” para seguir trabajando sobre dicha imagen. Una vez aclarado lo anterior, se selecciona la pestaña en la cual queremos realizar cambios, en este caso, nos dirigimos a la pestaña “operaciones básicas” y allí empezamos a deslizar los sliders para brillo (figura 8) y/o para el contraste (figura 9) según lo requerido, hasta alcanzar el efecto deseado.

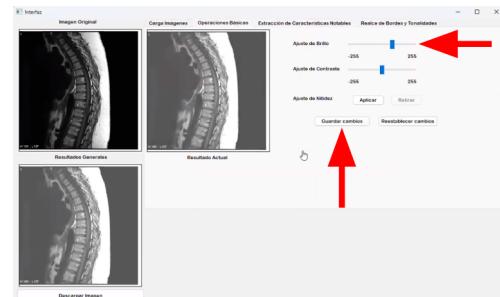


Fig 8. Aplicación de brillo a la imagen. Tomado de: Fuente propia



Fig 9. Aplicación de contraste a la imagen. Tomado de: Fuente propia

Adicionalmente, para esta pestaña es posible agregar ajuste de nitidez únicamente presionando el botón “aplicar”, como se muestra en la figura 10. Por el contrario, si se ha guardado el cambio del ajuste de nitidez, este puede ser retirado oprimiendo el botón “retirar”, como se muestra

en la figura 11.

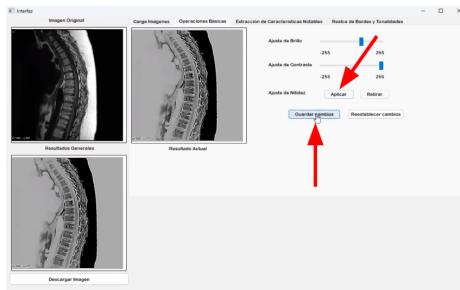


Fig 10. Aplicación de nitidez a la imagen. Tomado de: Fuente propia

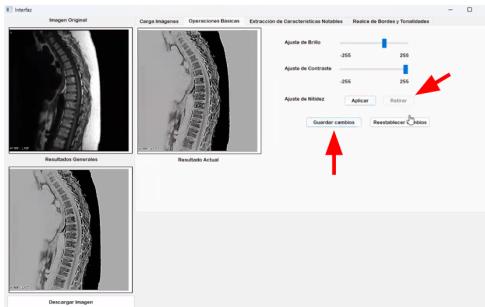


Fig 11. Retirar la nitidez de la imagen. Tomado de: Fuente propia

Dos de las opciones más importantes en este programa corresponden a las opciones de “restablecer cambios” y “descargar imagen”. Cuando se desea llevar a cabo la primera opción, se oprime el botón “restablecer cambios” y automáticamente aparecerá en el label “resultado actual” la imagen original o imagen sin cambios para volver a ser procesada y guardada, como se indica en la figura 12. Por otro lado, si hemos conseguido el procesamiento deseado, podemos realizar la descarga de la imagen oprimiendo el botón “descargar imagen” (figura 13) y aparecerá una ventana emergente como la que se observa en la figura 14, indicando que la imagen ha sido guardada correctamente. Finalmente el usuario puede dirigirse a descargas y ahí aparecerá la imagen con el nombre “imagen procesada”

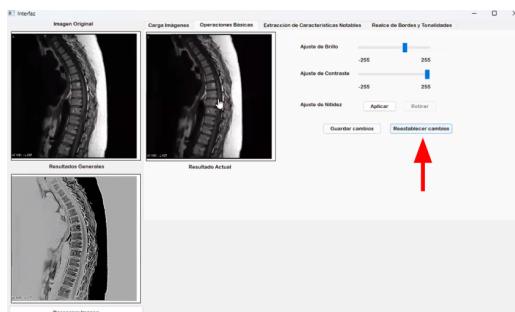


Fig 12. Restablecer cambios de la imagen. Tomado de: Fuente propia

propia

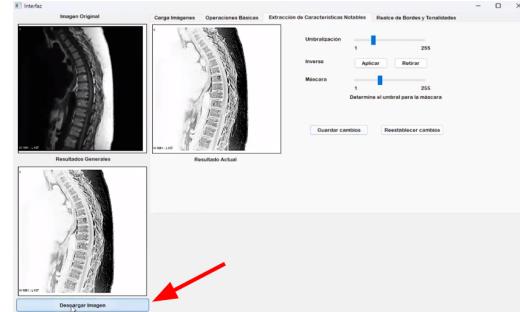


Fig 13. Restablecer cambios de la imagen. Tomado de: Fuente propia

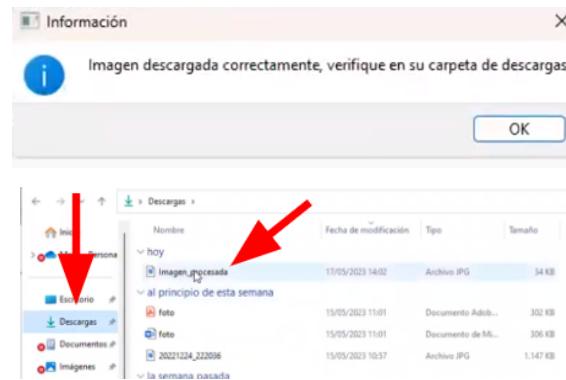


Fig 14. Ruta para encontrar la imagen descargada. Tomado de: Fuente propia

El paso a paso detallado anteriormente aplica para las demás pestañas del programa cumpliendo con el mismo principio de funcionamiento. A continuación se mostrará la continuación del procedimiento explicado con anterioridad en las demás pestañas:

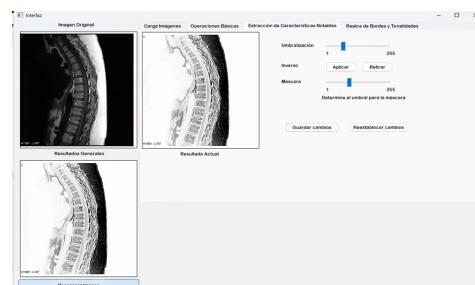


Fig 15. Aplicación de umbralización y máscara. Tomado de: Fuente propia

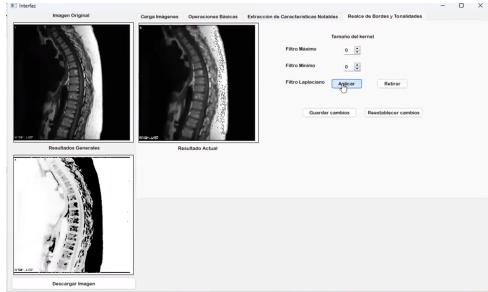


Fig 16. Aplicación de filtro laplaciano. Tomado de: Fuente propia



Fig 17. Aplicación de filtro laplaciano. Tomado de: Fuente propia

De la figura 15 a la figura 16 se aplicaron diferentes técnicas de procesamiento en la imagen para lograr la extracción de características notables y realce de bordes y tonalidades que permitieran identificar un posible tumor maligno en la médula espinal. En la figura 17 se logra observar un pequeño círculo negro ubicado en dicha estructura anatómica, que podría ser de interés para el personal de salud con el fin de confirmar o descartar si se trata de una tumoración.

IV. CONCLUSIONES

Se evidenció que en el desarrollo del presente proyecto, mediante las funciones y operaciones hechas a las imágenes de resonancia magnética y tomografía de columna vertebral en la interfaz gráfica, se mejoró notablemente el realce de detalles y porciones relevantes en las imágenes. Esto supondría una gran ayuda para el personal de la salud, al momento de visualizar y posteriormente analizar la presencia de posibles tumores y zonas anómalas que podrían indicar el hallazgo de una patología asociada.

En relación con lo anterior, es importante recalcar la importancia y el gran potencial que posee el procesamiento digital de imágenes en el área de la salud, en términos de proveer al paciente poseedor de alguna patología, un diagnóstico y/o tratamiento oportuno en pro del mejoramiento de su calidad de vida.

La utilización de técnicas de procesamiento digital de imágenes en la investigación médica también puede permitir el descubrimiento de patrones y relaciones

previamente desconocidas entre diferentes enfermedades, lo que podría conducir a avances significativos en la prevención y tratamiento de enfermedades.

Finalmente es posible recalcar que la aplicación de técnicas de procesamiento digital de imágenes, reduciría a gran escala el tiempo de espera por un diagnóstico, debido a que en muchas ocasiones por la poca información que pueden brindar algunas imágenes médicas (ya sea por la toma errónea de la imagen o la dificultad en diferenciar estructuras de la misma), se requiere la toma de otro examen y así sucesivamente para la obtención de esta información faltante y/o que se ignora en la imagen. Requiriendo por parte del paciente, tiempos adicionales para la toma de una imagen que posibilite visualizar de una manera satisfactoria lo que se está buscando.

V. REFERENCIAS

- [1] *Tumor de la Médula Espinal* (2020) Mayo Clinic. Mayo Foundation for Medical Education and Research. Available at: <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/spinal-cord-tumor/symptoms-causes/syc-20350103> (Accessed: March 28, 2023).
- [2] *Tumor vertebral* (2020) Mayo Clinic. Mayo Foundation for Medical Education and Research. Available at: <https://www.mayoclinic.org/es-es/diseases-conditions/vertebral-tumor/symptoms-causes/syc-20350123> (Accessed: March 31, 2023).
- [3] Baba, Y. (2022) *Intramedullary Spinal Metastasis: Radiology Reference Article, Radiopaedia Blog RSS*. Radiopaedia.org. Available at: <https://radiopaedia.org/articles/intramedullary-spinal-metastasis-1> (Accessed: March 31, 2023).
- [4] Radiopaedia.org, the peer-reviewed collaborative radiology resource. (s/f). Radiopaedia. Recuperado el 16 de mayo de 2023, de <https://radiopaedia.org/>
- [5] (s/f). Procesamiento Digital de Imágenes. Edu.ar. Recuperado el 16 de mayo de 2023, de <http://dea.unsj.edu.ar/imagenes/recursos/Capitulo1.pdf>