

Tipo de artículo: Artículo de revisión
Temática: Procesamiento de imágenes
Recibido: 07/10/2023 | Aceptado: 08/11/2023

Análisis y selección de algoritmos para realizar mediciones lineales de neuroestructuras en imágenes de Resonancia Magnética

Analysis and selection of algorithms to perform linear measurements of neurostructures in Magnetic Resonance images

Lester Jesús Alzugaray Prado ^{1*} <https://orcid.org/0009-0002-4552-4070>

Jose Ramón Fidalgo García ¹ <https://orcid.org/0009-0009-3410-0177>

Arturo Orellana García ¹ <https://orcid.org/0000-0002-3652-969X>

¹ Centro de Informática Médica, Universidad de las Ciencias Informáticas. La Habana, Cuba.
lesterjap@estudiantes.uci.cu, joserfg@estudiantes.uci.cu, aorellana@uci.cu.

*Autor para la correspondencia. (aorellana@uci.cu)

RESUMEN

Mediante la incursión de la informática moderna en los estudios médicos surge una especialización conocida como neuroinformática, la cual abarca las investigaciones basadas en datos de neurociencias. Entre las áreas de mayor interés para la comunidad se encuentran el procesamiento y visualización de estudios, lo cual genera un creciente desarrollo de aplicaciones para este fin. De los elementos más complejos en la visualización de las imágenes de cerebro, por sus características, son las mediciones de

algunas neuroestructuras para diagnosticar distintas condiciones patológicas. La Plataforma XAVIA-PACS, desarrollada en Cuba propicia el almacenamiento, transmisión y visualización de imágenes médicas digitales, esta solución no propicia el procesamiento de estructuras cerebrales limitando su uso. La Universidad de las Ciencias Informáticas y El Centro de Neurociencias de Cuba CNEURO desarrollan proyectos conjuntos, a partir de los cuales se fomenta la investigación científico técnica y la formación de profesionales. Desde esta alianza se concibe el proyecto BrainSSys cuyo objetivo es el desarrollo de algoritmos de procesamiento de datos de neurociencias, en tal sentido existe un interés particular por dotar a la solución XAVIA PACS de algoritmos que propicien su uso por los especialistas e investigadores. En la presente investigación se realiza un análisis de los algoritmos de medición en imágenes de estudios de Resonancia Magnética a fin de seleccionar el de mejor desempeño en cuanto a precisión para el desarrollo del comparador de estudios.

Palabras clave: Algoritmo; Medición; Python; DICOM.

ABSTRACT

Through the incursion of modern computing into medical studies, a specialization known as neuroinformatics arises, which encompasses research based on neuroscience data. Among the areas of greatest interest to the community are the processing and visualization of studies, which generates a growing development of applications for this purpose. One of the most complex elements in the visualization of brain images, due to their characteristics, are the measurements of some neurostructures to diagnose different pathological conditions. The XAVIA-PACS Platform, developed in Cuba, promotes the storage, transmission and visualization of digital medical images; this solution does not promote the processing of brain structures, limiting its use. The University of Computer Sciences and the Cuban Neuroscience Center CNEURO develop joint projects, from which scientific-technical research and the training of professionals are promoted. From this alliance, the BrainSSys project was conceived, whose objective is the development of neuroscience data processing algorithms. In this sense, there is a particular interest in providing the XAVIA PACS solution with algorithms that encourage its use by specialists and researchers. In this research, an analysis of the measurement algorithms in images from Magnetic

Resonance studies is carried out in order to select the one with the best performance in terms of precision for the development of the study comparator.

Keywords: Algorithm; Measures; Python; DICOM.

Introducción

La neurociencia comprende una amplia gama de interrogantes acerca de cómo se organiza el sistema nervioso y cómo funciona para generar la conducta. Estos cuestionarios pueden explorarse por medio de las herramientas analíticas de la genética, la biología molecular y celular, la anatomía y la fisiología de los sistemas, la biología conductual y la psicología. (Purves et al., 2007)

La localización de las funciones cognitivas en el cerebro tiene una larga historia, que se remonta por lo menos a los primeros años del siglo XIX, con la fundación de la frenología. Esta ciencia constituyó una especie de “psicología de las facultades”, empeñada en atribuir características mentales específicas a las diferentes regiones del cerebro, hasta 27 distintas en esa época, en primer lugar, se enfatiza por primera vez la importancia de la superficie cerebral, el córtex. En segundo lugar, se postula que el cerebro no era un órgano unitario e indiferenciado, abriendo la puerta a un estudio más sistemático y, sobre todo, caracterizado por los medios científicos como centro de las funciones cognitivas del cuerpo.(Escera, 2004)

El cambio al siglo XX supuso la eclosión de los estudios neuroanatómicos y neurofisiológicos que fueron perfilando el surgimiento de la Neurociencia, en los años 60, como disciplina de síntesis. En la década de 1990 sucedieron los estudios citoarquitectónicos del córtex, que pusieron de manifiesto la existencia de una compleja organización anatómica, la identificación de varias decenas de áreas compuestas por células nerviosas de morfología diferenciada. Sin embargo, más adelante, algunos científicos cuestionaban que las diferencias morfológicas implicaban diferencias funcionales. A raíz de estos estudios los psicólogos cognitivos empezaban a dirigir sus miradas hacia la neurociencia y la neurociencia empezaba a interesarse más por el tipo de problemas que la psicología se planteaba. La necesidad de una nueva forma de entender

las relaciones entre el cerebro y la mente se hacía palpable.(Snatiesteban y García, 2019) (Escera, 2004)

El desarrollo de las TIC`s en la actualidad han permitido profundizar en la exploración y el desarrollo de diferentes áreas de las ciencias y otros ámbitos en plena transformación brindando métodos, formas y herramientas para la aplicación de estos descubrimientos. Los programas informáticos se han convertido en una herramienta fundamental en el estudio de un órgano tan complejo como el cerebro (Escobar, 2020). Dando paso al surgimiento de la neuroinformática como uno de los campos más efervescentes y que siguen brindando nuevos descubrimientos. (Maria, 2012)

Los nuevos estudios y descubrimientos en este campo han arrojado un inmenso cúmulo de información y entre todas estas se encuentran las técnicas computacionales para obtención y manejo de datos cerebrales. Entre estos datos tienen un impacto mayor los datos de neuroimagen, obtenidos principalmente a través de Resonancias Magnéticas y Tomografías Digitales, de ahí la importancia de proponer soluciones sobre el manejo, gestión y procesamiento de datos de neurociencia. Para estos datos poder ser visualizados son convertidos a un formato estándar para su visualización, siendo el caso del formato DICOM. El formato DICOM ha sido impulsado por las organizaciones ACR y NEMA como un estándar para la transmisión de información y almacenamiento de imágenes médicas. Este estándar de archivos está formulado por numerosos elementos, cada cual compuesto por una etiqueta que lo identifica, un valor de representación que indica el tipo de dato almacenado, un campo que indica la longitud del dato y el dato propiamente dicho; este último proporciona información del paciente, del análisis realizado o de la imagen obtenida, dependiendo del valor de la etiqueta. En el archivo los elementos se escriben en orden ascendente de acuerdo al valor de la etiqueta que los identifica.(Forero, Sarmiento y Díaz, 2001)

La resonancia magnética (RM) se ha establecido como una herramienta muy valiosa en el diagnóstico e investigación de muchas áreas en la medicina gracias a su gran capacidad de proveer excelente caracterización y diferenciación de tejidos blandos de múltiples áreas del cuerpo.(Rivera, Puentes y Caballero, 2011). Por tanto, las resonancias magnéticas son unas de las técnicas más confiables de obtener imágenes cerebrales de pacientes para su posterior análisis.(Sánchez-Cedeño et al., 2023)

CNEURO es una institución cubana de investigación y desarrollo dedicado a la investigación traslacional y otras tecnologías médicas, que abarca desde la investigación básica hasta el desarrollo, producción y comercialización de tecnologías. Mostrando fuerte interés en la utilización de software nacional dedicado a

la medicina. Entre las investigaciones más destacadas de esta organización se encuentran los estudios de resonancia magnética aplicado a distintos escenarios, entre ellos los diagnósticos y seguimiento de tumores cerebrales, mal formaciones congénitas y afecciones mediante factores externos como contusiones.(Cuba, 2020)

Esta entidad ejecuta investigaciones en una amplia gama de temas que incluyen neurociencia cognitiva, neuroinformática, neuroimagen funcional, análisis de señal bioeléctrica, modelación matemática, investigación neuroquímica, genética molecular e impresión 3D para dispositivos médicos.(«Empresa Centro de Neurociencias de Cuba – Empresa Centro de Neurociencias de Cuba», 2020)

Actualmente en la Universidad de las Ciencias Informáticas se encuentra en continuo desarrollo desde su creación el sistema XAVIA-PACS o sistema para el almacenamiento, transmisión y visualización de imágenes médicas como indican sus siglas. Es utilizado en algunos hospitales del país mostrando buenos resultados en su desempeño y despliegue pues cuenta con varias funcionalidades que permiten el manejo de imágenes médicas para la obtención de diagnósticos a partir de los datos visuales. Permitiendo la realización de mediciones, modelos tridimensionales, selecciones de áreas y perímetros de cualquiera de los elementos de estas imágenes. Cuenta además con una base de datos en la cual se organizan y almacenan todos los datos de los pacientes.

A pesar de los avances en el desarrollo de este sistema y su puesta en marcha no cuenta con un componente que permita realizar mediciones precisas sobre las imágenes de resonancia magnética con la finalidad de poder llevar un control de los avances de las enfermedades o cualquier otra afección que comprometa la salud de los pacientes. Para esta tarea se analizaron una serie de algoritmos localizados en las literaturas consultadas. Los autores del presente trabajo realizaron pruebas de los mismos para determinar su precisión en mediciones lineales.

Métodos o Metodología Computacional

Se realizó una investigación de los principales algoritmos aplicados para realizar las mediciones en imágenes médicas en el estándar DICOM. Para la ejecución de esta investigación se sigue una estrategia explicativa y se emplearon los siguientes métodos:

- **Análisis y Síntesis:** análisis sobre los principales algoritmos existentes para realizar mediciones sobre imágenes médicas de resonancia magnética. Además, se estudió y analizó el estándar DICOM para poder manipular y procesar las imágenes.
- **Comparativo:** Mediante este método se establece una comparación de los algoritmos analizados en cuanto a su funcionalidad, aplicación en la solución informática y la exactitud de los mismos sobre la imagen.

Estándar DICOM

El estándar DICOM define protocolos de comunicación de red, almacenamiento e intercambio de datos fuera de línea, protocolos semánticos para el intercambio de datos a niveles de conformidad. Estos estándares especifican protocolos de comunicación para dispositivos que reclaman conformidad. Además, una sintaxis y semántica de la información que se puede intercambiar en cada uno de sus protocolos. (Twa y Johnson, 2022)

Para introducirse en el complejo entorno de la medicina, DICOM usa un lenguaje especializado, basado en un modelo del mundo real. Se interpreta como todos los datos físicos o descriptivos como por ejemplo el nombre del paciente, el tipo de estudio, el dispositivo médico, los parámetros de la adquisición, la imagen digital, entre otros que son vistos por DICOM como elementos con sus respectivos atributos y propiedades. De esta forma se establece una jerarquía entre los datos que permite realizar una clasificación según el contenido de la información por grupos, facilitando la identificación, el acceso a las variables y los parámetros de interés dentro de un mismo archivo.(PIEDRAHITA, SERNA y LEMUS, 2010)

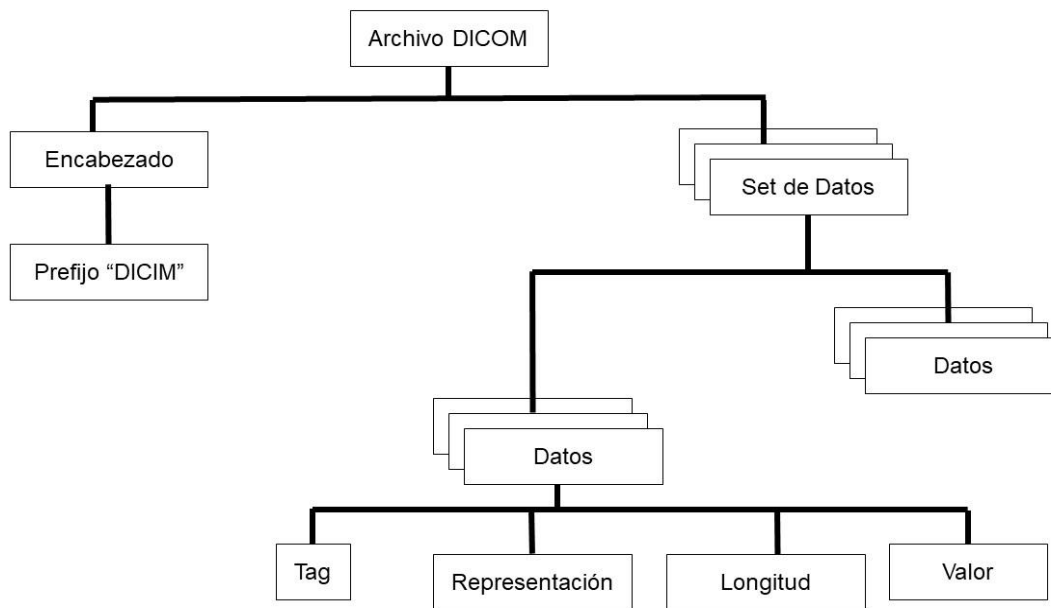


Fig. 1 - Estructura de un archivo DICOM. Fuente: Elaboración propia

Por lo general un archivo DICOM es reconocible por su extensión *.dcm, sin embargo, esto no es una exigencia del Estándar, por lo que la forma de diferenciarlo es por medio de su encabezado (HEADER) que consta de 128 bytes de archivos de preámbulo y 4 bytes de prefijo “DICM”(Larobina, 2023). El preámbulo puede estar en blanco o contener información sobre la aplicación principal con la que debe ser ejecutado.(PIEDRAHITA, SERNA y LEMUS, 2010)

Cada una de las estructuras de estos archivos se pueden tratar de manera independiente mediante el apoyo de librerías como pydicom para el tratamiento de estos, enfocada principalmente a la visualización o modificación en cualquiera de las series (Clunie, 2021; Cvija y Severinski, 2021; Mantri, Taran y Sunder, 2020). Estas se pueden tratar de manera independiente lo cual propicia poder sincronizar dos estudios distintos de un mismo paciente en la misma serie, a este punto se realizan las observaciones previas y se replican en el resto de las imágenes. A partir de esta estructura resulta cómodo el trabajo con estos datos asegurando la accesibilidad a la información contenida en las series. Dado que el Centro de Neurociencias

de Cuba y el sistema XAVIA PACS utiliza resonancias magnéticas y radiografías en el estándar DICOM se busca que exista la homogenización en el manejo de los mismos.

Algoritmos para la medición de imágenes médicas

Los autores consultaron bibliografía actual y variada en bases de datos referenciadas como PubMed, ISI, Frontiers, entre otras para identificar y obtener información asociada a los algoritmos necesarios para la realización de mediciones de distancia en imágenes médicas. Este análisis propició seleccionar el algoritmo más adecuado en la realización de mediciones sobre imágenes de resonancias magnéticas cerebrales en formato DICOM. Los algoritmos para mediciones de distancia en imágenes fueron la Transformada de Gough (Vázquez-Bautista, 2021), Detección de puntos de referencia (Eseng-Bilogo, 2016), Algoritmo de Canny (NIÑO NAVARRETE, 2019).

Para las siguientes comparaciones se utilizó el set de datos de imágenes medicas de resonancia magnética en formato DICOM proporcionado por CNEURO. Estas imágenes se sometieron a un tratamiento de anonimización a fin de mantener la integridad de los pacientes a los cuales pertenecen estos estudios. Las imágenes presentes en este set de datos fueron tomadas bajo las mismas medidas, condiciones y se calibraron debidamente por los expertos en radiología del Centro de Neurociencias de Cuba.

Algoritmo de detección de puntos de referencia

Este algoritmo se basa en la distancia que se encuentra entre dos puntos de una imagen. Estos puntos unidos por una recta que se encuentra en un plano de dos dimensiones, en este caso una imagen. Una imagen bidimensional se encuentra representada por un conjunto de píxeles formando una matriz de dos dimensiones. Cada una de estas dimensiones se representa en largo y ancho como los ejes de referencia X y Y en la geometría matemática.(Eseng-Bilogo, 2016). Para la realización de este cálculo de distancia en línea recta se utiliza la fórmula euclidiana.

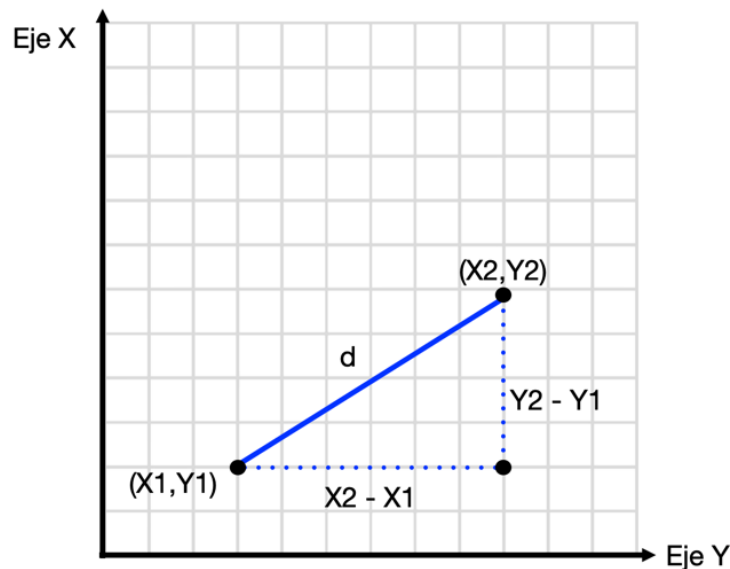


Fig. 2 - Espacio Cartesiano para calcular la distancia de un vértice a otro. Fuente: Elaboración propia

$$d(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)^2} \quad (I)$$

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (II)$$

Una vez despejada la ecuación se obtiene la distancia en píxeles desde un punto al otro de la imagen, pero se hace necesario conocer la distancia real fuera del eje de coordenadas. Por lo que es necesario multiplicar el resultado por la cantidad de filas de píxeles contenidas en la imagen o multiplicar por el valor de escala de la imagen.(Eseng-Bilogo, 2016)

Para las imágenes DICOM se utiliza el valor PixelSpacing contenido en los Tags que proporciona el propio archivo(Decourt y Duong, 2020; Florkow et al., 2022). Así se logra transformar la medición de unidades euclidianas a unidades métricas reales. Lo anterior se resume en la fórmula.

$$Distancia = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} * PixelSpacing. \quad (III)$$

Al realizar el cálculo sustituyendo las variables por los valores se obtiene la distancia de un punto hasta el otro. La exactitud de esta medición depende de la manera en que se obtuvieron, trataron y calibraron los valores de la imagen.

Algoritmo de medición por la transformadora de Hough

Es un método propuesto por Hough (1962), para encontrar la ecuación de una línea que pase por un conjunto de puntos en el plano xy . Una línea que une una secuencia de puntos o píxeles puede expresarse con la ecuación de la recta: $y = mx + b$ siendo b la pendiente de esta recta. (Vázquez-Bautista, 2021).(Moncho Santonja et al., 2022)

Se puede describir de manera analítica un segmento de línea en varias formas. Sin embargo, una ecuación conveniente para describir un conjunto de líneas es la notación paramétrica o normal.

$$\rho = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (IV)$$

Donde ρ es la longitud normal desde el origen hasta la línea y θ es el ángulo de ρ con respecto al eje x .(Santini y Santini 2021)

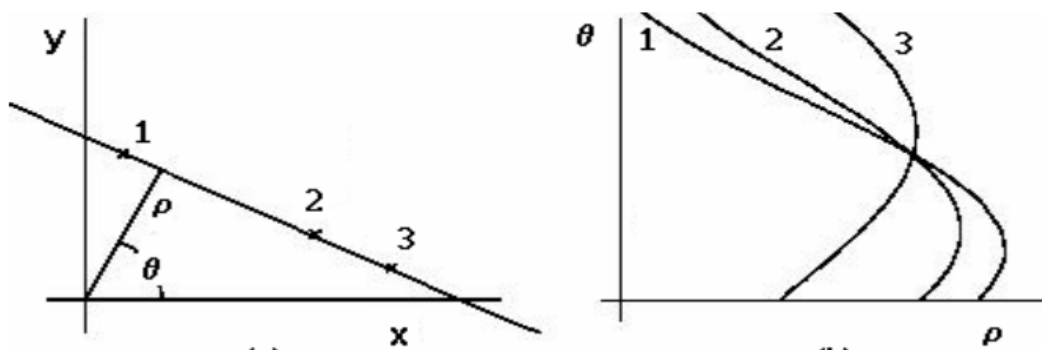


Fig. 3 - Representación del espacio cartesiano y representación del espacio paramétrico. (Santini & Santini, 2020.)

En las figuras anteriores se muestran:

- El espacio cartesiano que representa la línea físicamente visible.
- El espacio paramétrico del algoritmo de Hough, en el cual la línea se comporta como una curva dependiendo del valor de los píxeles cercanos.

Al ser representadas estas líneas en forma de matriz se evidencia el camino seguido a partir de su pendiente correspondiente y el ángulo de cada uno de los píxeles seguidos. (Vázquez-Bautista, 2021). Finalizada la detección estas líneas rectas representadas en la imagen funcionan como guía para la realización de las mediciones a fin de dar mas exactitud en estas; dada la capacidad de mostrar las posibles estructuras en la imagen con estas formas geométricas(Pico-Velásquez et al., 2022).

Para llevar a la implementación el algoritmo anterior se utilizó la librería OpenCV perteneciente al lenguaje Python (Kritskiy et al., 2022; Gollapudi 2019; Sigut et al., 2020). En las figuras 4, 5, 6 y 7 se muestran cada una de las operaciones y los estados que va tomando la imagen procesada.

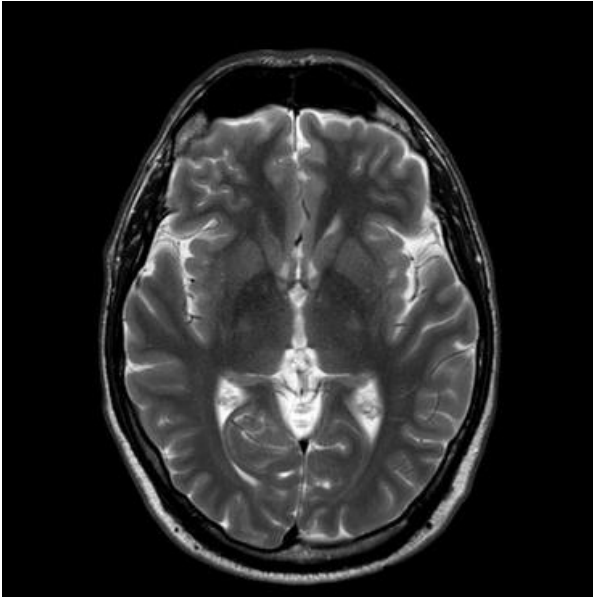


Fig. 4 - Imagen original.Fuente: CNEURO.

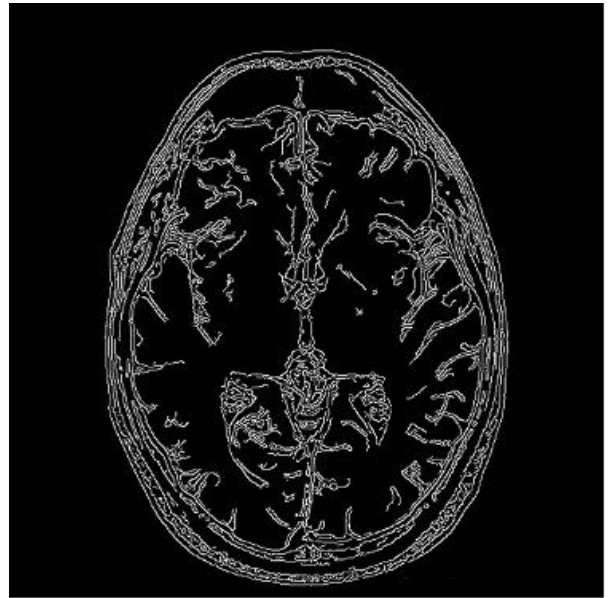


Fig. 5 - Aplicado filtro Canny. Fuente: Elaboración propia



Fig. 6 - Aplicada Dilatación de Línea. Fuente: Elaboración propia.

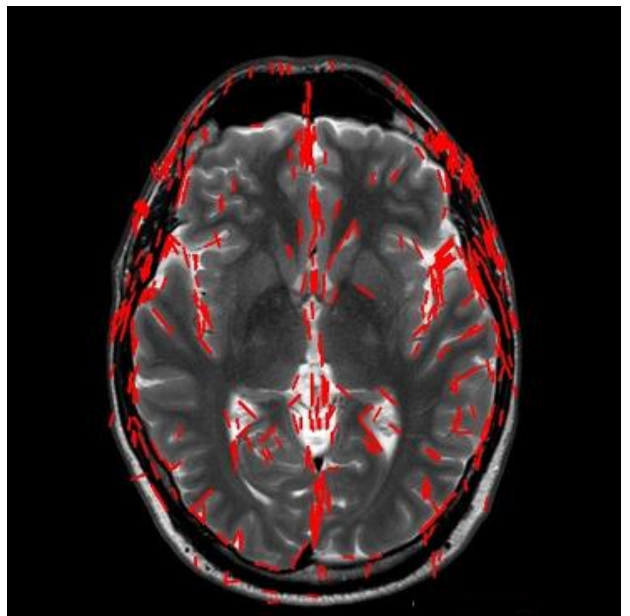


Fig. 7 - Superposición del algoritmo transformada de Hough. Fuente: Elaboración Propia

Aplicado el algoritmo sobre una imagen se resalta la existencia de estas líneas rectas contenidas en la matriz de píxeles(Sivkov et al., 2020). Al ser trazadas estas líneas apoyan la funcionalidad de poder trazar las mediciones sobre estas líneas estructurales a fin de mejorar la exactitud en el momento de la medición.

Algoritmo para la detección de bordes. Algoritmo de Canny

El algoritmo de detección de bordes o algoritmo de Canny se conoce como filtro de alto paso por su cualidad para detectar los límites entre dos regiones con un nivel de gris relativamente distinto de propiedades. En este los bordes se consideran son píxeles en los que la función de brillo cambia bruscamente, siendo los detectores de bordes una colección de métodos de procesamiento de imágenes locales muy importantes que se utilizan para localizar cambios nítidos en la función de intensidad.(Radhakrishnan, Panneerselvam y Nachimuthu, 2020; Peng y Zhao, 2019; Euclidiana, 2019; NIÑO NAVARRETE, 2019)

La ecuación para esta representación está argumentada por:

$$|G| = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (V)$$

$$Angle(\theta) = \tan^{-1}\left(\frac{G_y}{G_x}\right), \quad (VI)$$

A partir de la fórmula del gradiente de color de cada pixel se establece el peso de los mismos y aplicando la fórmula para el ángulo de la evaluación de gradiente a fin de trazar el camino a seguir. Esto da como resultado que los bordes son discontinuidades repentinas en una imagen, que pueden surgir de la superficie normal, el color de la superficie, la profundidad, la iluminación u otras discontinuidades(Barrios y Rueda, 2012; NIÑO NAVARRETE, 2019; Bermejo, 2019). Estos bordes son importantes por dos razones fundamentales.

1. La mayor parte de la información semántica y de formas se puede deducir de ellos, por lo que se puede realizar el reconocimiento de objetos y analizar las perspectivas y la geometría de una imagen.

- Es una representación más compacta que los píxeles. Se puede señalar dónde se producen los bordes desde el perfil de intensidad de una imagen a lo largo de una fila o columna de la imagen. Dondequiera que haya un cambio rápido en la función de intensidad indica un borde.

Como parte de su procesamiento típico se aplica el filtro de la siguiente manera visual.

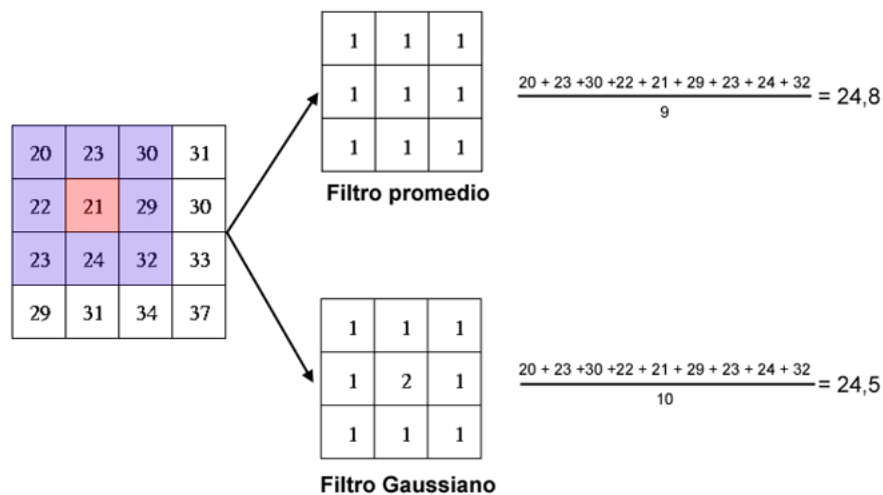


Fig. 8 - Representación de los valores de píxeles (NIÑO NAVARRETE, 2019)

Se le adjudica la prioridad al pixel central al cual se le hace el cálculo de gradiente para detectar si existe un cambio brusco de coloración de un pixel a otro. Utilizando la librería OpenCV se implementa y prueba el algoritmo de Canny en lenguaje python y realizar la prueba de detección en una imagen cualquiera a escalas de grises(Gollapudi, 2019; Kritskiy et al., 2022; Sigut et al., 2020). Una vez aplicados estos filtros se obtiene el siguiente resultado representado en las figuras 9, 10, 11 y 12.

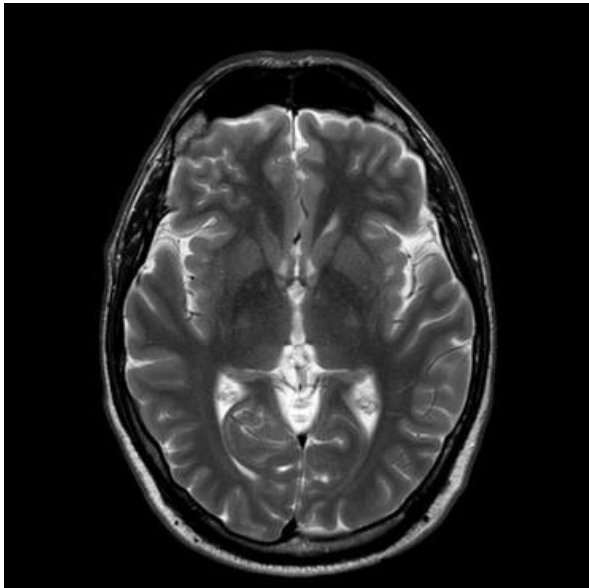


Fig. 9 - Imagen original. Fuente: CNEURO.

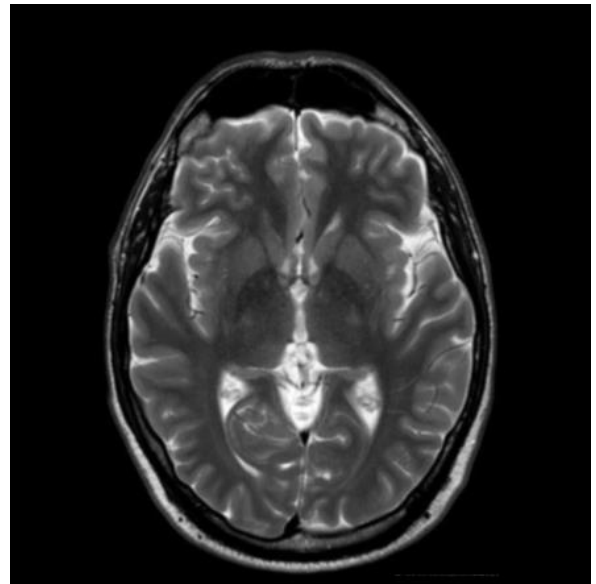


Fig. 10 - Imagen filtro Gaussiano blanco y negro.

Fuente: Elaboración propia



Fig. 11 - Imagen aplicando algoritmo de Canny.
Fuente: Elaboración propia

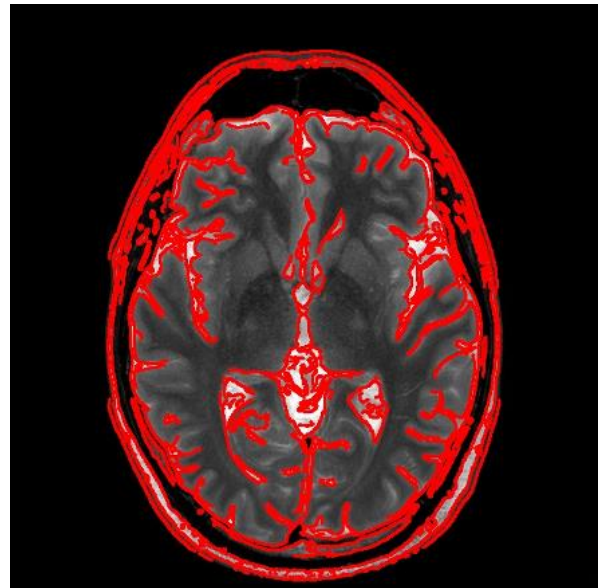


Fig. 12 - Imagen con superposición algoritmo de Canny. Fuente: Elaboración propia

Este Algoritmo realiza la detección y trazado de todos los contornos en la imagen cerebral, pero por consiguiente ignora la formación de algunas estructuras u otras formas tumorales que se asemejan a estructuras básicas del cerebro, por ende, ayuda con las mediciones, pero no tiene en cuenta la existencia de estas. Además, al existir ruido en la imagen, este no es capaz de detectar los cambios para trazar los contornos.

Comparación de los algoritmos aplicables a la solución informática

Para realizar las pruebas se seleccionaron al azar un grupo de cortes cerebrales de distintos estudios del dataset utilizado. Los cortes son de distintas áreas y regiones a fin de obtener resultados aplicables a cada zona cerebral. Todas las imágenes seleccionadas fueron sometidas a la aplicación de estos algoritmos.

Al realizar el análisis comparativo de los algoritmos utilizados para las mediciones en imágenes cerebrales los autores obtuvieron los siguientes resultados, significativos para la presente investigación.

Tabla 1 - Comparación de los algoritmos analizados. Fuente: Elaboración propia

Algoritmos	Pruebas realizadas	Observaciones	Precisión
Detección de puntos de referencia	10	Permite realizar las mediciones a partir de los datos de matriz de la imagen y la variable de escala real (PixelSpacing) obtenida en los metadatos de la imagen.	97.8%
Transformada de Hough	10	Permite la detección de estructuras lineales en las imágenes de médicas a fin de realizar mediciones más exactas.	95.3%
Algoritmo de Canny	10	Permite detectar los contornos de cada una de las estructuras anatómicas del cerebro a partir de los bordes de cada estructura.	85.5 %

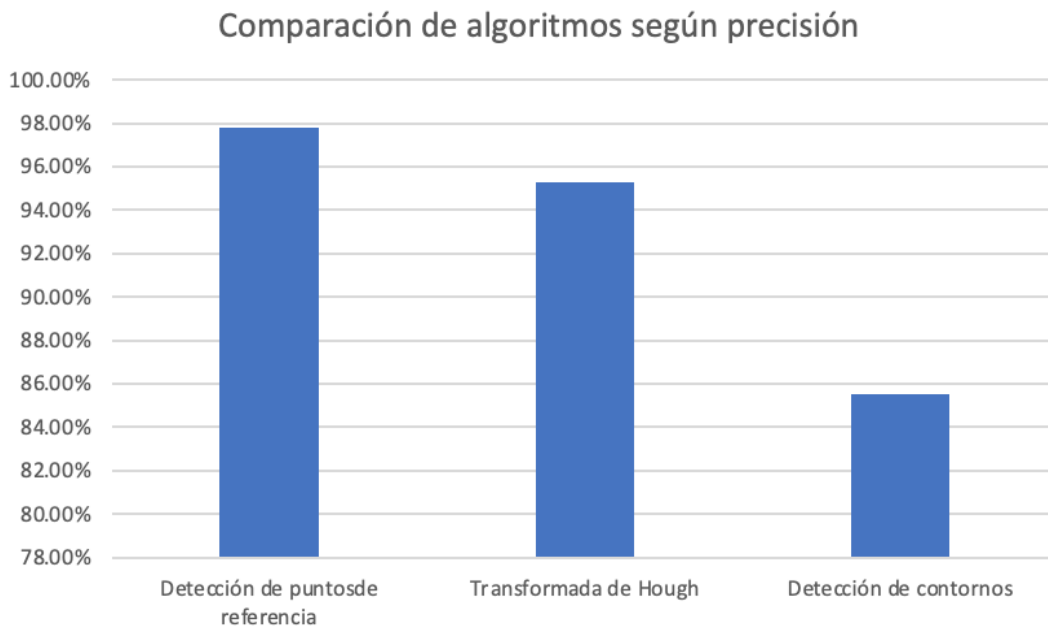


Fig. 13 - Comparación de los algoritmos analizados según precisión. Fuente: Elaboración propia

En la tabla anterior se aprecia la diferencia de precisión entre los algoritmos analizados. En los casos de prueba a los que se sometieron se utilizaron los mismos estudios y las mismas condiciones a fin de obtener resultados más justos. Se utilizó el software eFilmWorkstation para comparar y verificar la precisión de las mediciones realizadas con los algoritmos («eFilm Solutions» 2023).

Resultados y discusión

Al ejecutar el análisis de los algoritmos de medición localizados en la literatura revisada se pudo determinar la precisión de cada uno de estos para la medición. Se analizó la utilidad de los mismos en cada caso de prueba aplicado. Se describe en los siguientes puntos.

- La transformada de Hough es aplicable para resonancias magnéticas en distintas zonas del cuerpo pero no es aplicable de manera precisa para realizar mediciones en imágenes cerebrales. En los casos

de prueba utilizados detecta muy pocas líneas en las imágenes del cerebro, por este motivo no es viable para estas mediciones.

- El algoritmo de Canny, utilizado para la detección de contornos detecta áreas del cerebro en las cuales sus contornos son resaltantes, pero no detecta las demás en las cuales se difumina levemente el borde. No es aplicable pues no detecta todos los contornos al existir distintos degradados o zonas perfectamente resaltadas. Al realizar las mediciones sobre este y no detectar todos los contornos no muestra utilidad en las mediciones.
- La detección de puntos de referencia para las mediciones mostró ser el algoritmo más preciso en las pruebas para las mediciones. Este utiliza para su estimación de distancia la fórmula euclidiana y la variable de escala PixelSpacing contenida en los tags de la imagen DICOM. En este caso las mediciones se realizan de manera manual y dependen de la exactitud en que se seleccionen los puntos para medir.

El algoritmo seleccionado para la solución informática es el algoritmo de detección de puntos de referencia. Al realizar las pruebas de mediciones mostró resultados similares en un 97.8 % respecto a las realizadas con el software eFilmWorkstation («eFilm Solutions» 2023).

Conclusiones

El análisis de los algoritmos para mediciones en imágenes de resonancia magnética demostró que el mejor algoritmo aplicable es la detección de puntos de referencia basado en la fórmula euclidiana de distancia entre dos puntos del plano cartesiano. El data set utilizado permitió realizar pruebas con datos reales y perfectamente estandarizados del Centro de Neurociencias de Cuba, estos datos garantizaron la exactitud en las mediciones. El software eFilm fue una herramienta clave en estas comparaciones, la precisión de este software fue un criterio principal en el proceso.

Referencias

- Barrios, J.M.G. Y Rueda, R., 2012. Identificación De La Dimensión En Una Matriz De Distancias Euclidianas. [En Línea], [Consulta: 6 Noviembre 2023]. Disponible En: https://Miscelaneamatematica.Org/Welcome/Default/Download/Tbl_Articulos.Pdf2.Be7368ea5ed14dd3.52756564615f722e706466.Pdf.
- Bermejo, A.J.C., 2019. *Clasificación Morfométrica De Tumores Cerebrales Utilizando Aprendizaje Supervisado* [En Línea]. Phd Thesis. S.L.: Universidad Autónoma De Yucatán. [Consulta: 6 Noviembre 2023]. Disponible En: <https://Www.Clr-Lab.Org/Images/Tesis/2018-Angel%20javier%20carrillo%20bermejo-Maestria.Pdf>.
- Clunie, D.A., 2021. Dicom Format And Protocol Standardization—A Core Requirement For Digital Pathology Success. *Toxicologic Pathology*, Vol. 49, No. 4, Issn 0192-6233, 1533-1601. Doi 10.1177/0192623320965893.
- Cuba, C. De N. De, 2020. *Centro De Neurociencias De Cuba* [En Línea]. 2020. S.L.: S.N. Disponible En: <https://Www.Cneuro.Cu/>.
- Cvija, T. Y Severinski, K., 2021. Multiple Medical Images Extraction From Dicom And Conversion To Jpg Using Python. *Ri-Stem-2021* [En Línea], Vol. 33, [Consulta: 6 Noviembre 2023]. Disponible En: <https://Repository.Riteh.Uniri.Hr/Islandora/Object/Riteh:3670/Datastream/File0/View#Page=41>.
- Decourt, C. Y Duong, L., 2020. Semi-Supervised Generative Adversarial Networks For The Segmentation Of The Left Ventricle In Pediatric Mri. *Computers In Biology And Medicine*, Vol. 123, *Efilm Solutions* [En Línea], 2023. 2023. S.L.: S.N. [Consulta: 1 Marzo 2023]. Disponible En: <https://Estore.Merge.Com/Na/Index.AspX>.
- Empresa Centro De Neurociencias De Cuba – Empresa Centro De Neurociencias De Cuba. [En Línea], [Sin Fecha]. [Consulta: 1 Marzo 2023]. Disponible En: <https://Www.Cneuro.Cu/>.
- Escera, C., 2004. Aproximación Histórica Y Conceptual A La Neurociencia Cognitiva. *Cognitiva*, Vol. 16, No. 2,
- Escobar, M.R.P., 2020. Neurociencias Del Consumidor: Una Visión Académica De Su Reciente Evolución. *Revista Académica Eco*, Vol. 22,

- Eseng-Bilogo, F.-C., 2016. Visualizador De Imágenes Médicas Dicom. [En Línea], [Consulta: 3 Noviembre 2023]. Disponible En: <https://Crea.Ujaen.Es/Handle/10953.1/3624>.
- Euclidiana, D., 2019. Actividad 12: Lectura Capítulo 7. [En Línea], [Consulta: 6 Noviembre 2023]. Disponible En: <https://Cmapspublic.Ihmc.Us/Rid=1m1z77zmv-Kzd0fc-221k/Actividad%2012%20lectura%207.Pdf>.
- Florkow, M.C., Willemsen, K., Zijlstra, F., Foppen, W., Van Der Wal, B.C.H., Van Der Voort Van Zyp, J.R.N., Viergever, M.A., Castelein, R.M., Weinans, H., Van Stralen, M., Sakkars, R.J.B. Y Seevinck, P.R., 2022. Mri-Based Synthetic Ct Shows Equivalence To Conventional Ct For The Morphological Assessment Of The Hip Joint. *Journal Of Orthopaedic Research*, Vol. 40, No. 4, Issn 0736-0266, 1554-527x. Doi 10.1002/Jor.25127.
- Forero, M.G., Sarmiento, W.J. Y Díaz, G.M., 2001. Aplicación Para La Lectura Y Conversión De Formatos Dicom No Estándar Y Génesis. *Ii Congreso Latinoamericano De Ingeniería Biomédica*. S.L.: S.N.,
- Gollapudi, S., 2019. Opencv With Python. En: S. Gollapudi, *Learn Computer Vision Using Opencv* [En Línea]. Berkeley, Ca: Apress, Pp. 31-50. [Consulta: 6 Noviembre 2023]. Isbn 978-1-4842-4260-5. Disponible En: http://Link.Springer.Com/10.1007/978-1-4842-4261-2_2.
- Kritskiy, D., Pohudina, O., Kovalevskiy, M., Tsegelnyk, Y. Y Kombarov, V., 2022. Powder Mixtures Analysis For Laser Cladding Using Opencv Library. En: M. Nechyporuk, V. Pavlikov Y D. Kritskiy (Eds.), *Integrated Computer Technologies In Mechanical Engineering - 2021* [En Línea]. Cham: Springer International Publishing, Pp. 924-937. [Consulta: 6 Noviembre 2023]. Lecture Notes In Networks And Systems, Vol. 367. Isbn 978-3-030-94258-8. Disponible En: https://Link.Springer.Com/10.1007/978-3-030-94259-5_72.
- Larobina, M., 2023. Thirty Years Of The Dicom Standard. *Tomography*, Vol. 9, No. 5,
- Mantri, M., Taran, S. Y Sunder, G., 2020. Dicom Integration Libraries For Medical Image Interoperability: A Technical Review. *Ieee Reviews In Biomedical Engineering*, Vol. 15,
- Maria, M.C.C., [Sin Fecha]. La Inteligencia Artificial En La Neurociencia. ,
- Moncho Santonja, M., Micó-Vicent, B., Defez, B., Jordán, J. Y Peris-Fajarnes, G., 2022. Hough Transform Sensitivity Factor Calculation Model Applied To The Analysis Of Acne Vulgaris Skin Lesions. *Applied Sciences*, Vol. 12, No. 3,

- Niño Navarrete, M., 2019. Diseño De Una Herramienta Web Para Manipular Imágenes Médicas. [En Línea], [Consulta: 5 Noviembre 2023]. Disponible En: <Http://Rinacional.Tecnm.Mx/Handle/Tecnm/2733>.
- Peng, W. Y Zhao, Y., 2019. Liver Ct Image Segmentation Based On Modified Canny Algorithm. *2019 12th International Congress On Image And Signal Processing, Biomedical Engineering And Informatics (Cisp-Bmei)* [En Línea]. S.L.: Ieee, Pp. 1-5. [Consulta: 6 Noviembre 2023]. Disponible En: <Https://Ieeexplore.Ieee.Org/Abstract/Document/8966082/>.
- Pico-Velásquez, J.A., Moreno-Tarazona, A., Guayacán-Chaparro, L.C., Bautist-Rozo, L.X. Y Martínez-Carrillo, F., 2022. A Fast Right Ventricle Segmentation In Cine-Mri From A Dense Hough Representation. *Revista Politécnica*, Vol. 18, No. 35,
- Piedrahita, J.H.R., Serna, W.S. Y Lemus, J.P.T., 2010. Descripción Del Estándar Dicom Para Un Acceso Confiable A La Información De Las Imágenes Médicas. *Scientia Et Technica*, Vol. 16, No. 45,
- Purves, D., Augustine, G.J., Fitzpatrick, D., Hall, W.C. Y Lamantia, A.S., 2007. *Neurociencia*. S.L.: Editorial Médica Panamericana.
- Radhakrishnan, M., Panneerselvam, A. Y Nachimuthu, N., 2020. Canny Edge Detection Model In Mri Image Segmentation Using Optimized Parameter Tuning Method. *Intell. Autom. Soft Comput*, Vol. 26, No. 4,
- Rivera, D.M., Puentes, S. Y Caballero, L., 2011. Resonancia Magnética Cerebral: Secuencias Básicas E Interpretación. *Universitas Médica*, Vol. 52, No. 3,
- Sánchez-Cedeño, J.L., Vásquez-Falconí, J.A., Piguave-Cuesta, J.F. Y Gualdo-Ochoa, V.M., 2023. Avances En Resonancia Magnética En Tumores Cerebrales. *Revista Científica Arbitrada En Investigaciones De La Salud Gestar*. Issn: 2737-6273., Vol. 6, No. 12,
- Santini, F.O. Y Santini, C.A., 2021. Herramienta De Software Para El Diagnóstico De Estudios Radiológicos Digitales Del Raquis Bajo Norma Dicom. *Escuela Y Workshop Argentino En Ciencias De Las Imágenes* [En Línea]. S.L.: S.N., Pp. 43. [Consulta: 3 Noviembre 2023]. Disponible En: Https://Www.Academia.Edu/Download/51607541/Actas_Ecimag2012.Pdf#Page=47.
- Sigut, J., Castro, M., Arnay, R. Y Sigut, M., 2020. Opencv Basics: A Mobile Application To Support The Teaching Of Computer Vision Concepts. *Ieee Transactions On Education*, Vol. 63, No. 4,

Sivkov, S., Novikov, L., Romanova, G., Romanova, A., Vaganov, D., Valitov, M. Y Vasiliev, S., 2020. The Algorithm Development For Operation Of A Computer Vision System Via The Opencv Library. *Procedia Computer Science*, Vol. 169,

Snatiesteban, K.O. Y García, C.A.O., [Sin Fecha]. Caracterización De Datos Y Ficheros Para El Desarrollo De Un Repositorio Cubano De Neurociencias. [En Línea], [Consulta: 6 Noviembre 2023]. Disponible En: <https://convencionsalud.sld.cu/index.php/convencionsalud22/2022/paper/download/2836/1200>.

Twa, M.D. Y Johnson, C.A., 2022. Digital Imaging And Communication Standards. *Optometry And Vision Science*, Vol. 99, No. 5,

Vázquez-Bautista, O., 2021. Aplicación De La Recta Para Detectar Líneas En Imágenes Digitales Con La Transformada Hough. *Con-Ciencia Boletín Científico De La Escuela Preparatoria No. 3*, Vol. 8, No. 15,

Conflicto de interés

Los autores autorizan la distribución y uso de su artículo.

Contribuciones de los autores

1. Conceptualización: Arturo Orellana García
2. Curación de datos: Lester Jesús Alzugaray Prado
3. Análisis formal: Lester Jesús Alzugaray Prado
4. Adquisición de fondos: Arturo Orellana García
5. Investigación: Lester Jesús Alzugaray Prado, Arturo Orellana García
6. Metodología: Lester Jesús Alzugaray Prado, Arturo Orellana García
7. Administración del proyecto: Arturo Orellana García
8. Recursos: Jose Ramón Fidalgo García
9. Software: Jose Ramón Fidalgo García, Lester Jesús Alzugaray Prado
10. Supervisión: Arturo Orellana García
11. Validación: Lester Jesús Alzugaray Prado
12. Visualización: Jose Ramón Fidalgo García, Lester Jesús Alzugaray Prado
13. Redacción – borrador original: Lester Jesús Alzugaray Prado

14. Redacción – revisión y edición: Arturo Orellana García

Financiación

La investigación que da origen a los resultados presentados en la presente publicación recibió fondos de la Oficina de Gestión de Fondos y Proyectos Internacionales bajo el código PN305LH013-038.