



LA VISUALIZACIÓN VOLUMÉTRICA CEREBRAL COMO HERRAMIENTA MORFOMÉTRICA EN EL PROCESAMIENTO DE LAS NEUROIMÁGENES

Autores: Katherine Susana Hernández Cortés ^{1 *}, Adrián Alberto Mesa Pujals ², Arquímedes Montoya Pedrón ³

⁽¹⁾ Especialista de Primer Grado en Anatomía Humana. Máster en Medicina Bioenergética y Natural. Profesor Asistente de la Universidad de Ciencias Médicas de Santiago de Cuba. Cuba. Autor para la correspondencia Dirección particular: Calle 6 número 59 .Reparto Santa Bárbara. Santiago de Cuba.Teléfono:22714154/53176806 <http://orcid.org/0000-0001-9293-9450> (ksusanahernandezcortes@gmail.com /katerinecortes@infomed.sld.cu).

⁽²⁾ Ingeniero en Ciencias Informáticas del Centro de Biofísica Médica. Universidad de Oriente. Santiago de Cuba. Cuba. Dirección particular: Edificio 26, escalera 3 .Reparto Pastorita. Santiago de Cuba. Teléfono: 58322226 <http://orcid.org/0000-0003-0643-5315>(adrian.mesa@.uo.edu.cu)

⁽³⁾ Doctor en Ciencias Médicas. Especialista de Primer y Segundo Grado en Neurofisiología Clínica. Profesor Titular e Investigador Titular. Jefe del servicio de Neurofisiología del Hospital General Docente Dr. Juan Bruno Zayas Alfonso. Santiago de Cuba. Cuba. Dirección particular: Avenida Federico Rey número 7644.Reparto Santa María. Santiago de Cuba. Teléfono: 22721376/58148032 <https://orcid.org/0000-0001-9415-4585>(arqui6606@gmail.com)

Resumen

Introducción: La morfometría cerebral es la disciplina que brinda herramientas para la medición de las propiedades estructurales del cerebro de acuerdo con el tipo de datos de imágenes utilizados, caracterizando la morfología cerebral focal, su funcionamiento y los procesos neurodegenerativos relacionados con la edad y género, así como las alteraciones morfológicas locales en los trastornos neurológicos y psiquiátricos. **Objetivo:** Se abordarán temas relacionados con las técnicas de neuroimágenes y su potencial en el diagnóstico de enfermedades degenerativas. Se enunciarán conceptos sobre morfometría cerebral y volumetría, su objetivo en la medicina y los pasos a seguir en la visualización volumétrica como otra técnica en el procesamiento de las neuroimágenes. Se reafirmarán los métodos

de segmentación de imágenes y su correlación clínica. **Desarrollo:** Se realizó un análisis documental sobre el tema en publicaciones nacionales e internacionales utilizando el sistema de búsqueda de información por Infomed, Science Direct, PubMed, SciELO, IEEE.

Conclusiones: Las imágenes médicas son un método efectivo para observar la anatomía cerebral y detectar cambios estructurales en etapas saludables y patológicas de la vida. La visualización volumétrica es una herramienta que brinda información útil relacionada con el paciente. Existen problemas en la uniformidad de los algoritmos de segmentación de las imágenes.

Palabras claves: Visualización volumétrica, morfometría, Segmentación de imágenes

INTRODUCCIÓN

El estudio de la estructura y la función del cerebro humano continúan siendo de interés para la comunidad de las neurociencias y son el resultado de numerosos procesos bioquímicos y biofísicos que interactúan a través de múltiples escalas en el espacio y el tiempo. Es conocida la existencia de un patrón complejo de cambios estructurales cerebrales, conductuales y cognitivos, relacionados con enfermedades neurológicas y psiquiátricas, cuyo diagnóstico clínico resulta complejo por existir síntomas comunes para estas enfermedades tan frecuentes en la población envejecida y que para la comprensión de las raíces biológicas de estos cambios es necesaria la comprensión de las transformaciones del cerebro relacionadas con la edad.⁽¹⁾

Para el estudio de los diferentes patrones clínicos que se presentan en las enfermedades neurodegenerativas, el médico se apoya en las modalidades diagnósticas que incluyen pruebas neuropsicológicas, estudios neurofisiológicos y las imágenes médicas. En décadas pasadas existieron grandes dificultades para realizar estudios sobre la morfología del cerebro en el vivo, pues no se contaba con métodos diagnósticos capaces de aportar una amplia información. No es hasta el año 1974 con la introducción en la práctica médica de la tomografía axial computarizada (TAC) y después con la resonancia magnética nuclear (RMN), que se lograron alcanzar esos objetivos, surgiendo a mediados del siglo XIX la morfometría encefálica.⁽²⁾

La morfometría cerebral es la disciplina que se ocupa principalmente del desarrollo de herramientas y estrategias para la medición de las propiedades estructurales del cerebro

de acuerdo con el tipo de datos de imágenes utilizados, ya sea que se aborden cuestiones ontogenéticas, patológicas o filogenéticas, y las escalas espaciales de interés. Las variaciones macroscópicas en la anatomía del cerebro se mantienen lo suficiente como para realizar investigaciones comparativas. De hecho, los análisis morfológicos que comparan cerebros en diferentes etapas saludables o patológicas revelan información importante sobre la progresión del desarrollo normal o anormal. Las enfermedades neurológicas y degenerativas también alteran la morfología del cerebro, no solo a nivel cortical sino también en estructuras subcorticales. ⁽¹⁾

A pesar del desarrollo vertiginoso de la tecnología, y en especial las neuroimágenes, que han permitido profundizar en el estudio de la estructura cerebral y en la comprensión de las raíces biológicas de muchas enfermedades neurodegenerativas, aún quedan varias preguntas por responderse en la práctica médica sobre los cambios involutivos cerebrales relacionados con el envejecimiento en el curso natural de la vida y los cambios morfológicos cerebrales en las enfermedades neurológicas y psiquiátricas, así como en las valoraciones cuantitativas que se realizan del encéfalo y sus sesgos relacionados con la gran variedad de métodos de estudios existentes^(3,4). Razón por la cual nos motivamos para realizar este trabajo de revisión donde explicaremos conceptos como volumetría y su objetivo así como la visualización volumétrica de las estructuras cerebrales, describiremos brevemente la importancia del empleo de las neuroimágenes en el campo de las neurociencias y los diferentes métodos actuales de segmentación de imágenes en el procesamiento de estas y su correlación clínica.

Estudios de neuroimágenes

Gracias a la tecnología de imágenes médicas podemos estudiar a profundidad los cambios morfológicos del cerebro. Esta, ha experimentado un cambio dramático en las últimas tres décadas surgiendo nuevas modalidades de imágenes tomográficas como la tomografía computarizada (TC), la resonancia magnética nuclear (RMN) y la tomografía por emisión de positrones (TEP), que ofrecen imágenes de diferentes órganos libres de superposiciones con una precisión sin precedentes. Incluso se puede registrar la estructura tridimensional (3D) de los órganos si se toma una secuencia de secciones transversales paralelas. Con la utilización de técnicas modernas de aprendizaje automático en la comunidad de neuroimagen han hecho posible para los investigadores descubrir biomarcadores del

envejecimiento y desarrollar sistemas de clasificación automática. Además, puede resultar útil para delinear un patrón típico de anatomía, incluso para la estimación de la edad cerebral, que resulta de gran importancia en la predicción de la edad biológica, con una aplicación a la predicción temprana de trastornos neurocognitivos. ^(5,6)

Hoy en día, la combinación de diferentes métodos de imágenes, procesamiento de datos, estadísticas y física crea la posibilidad de describir y construir redes cerebrales comprensibles. El procesamiento de datos, los métodos estadísticos, las matemáticas y la física a menudo desempeñan un papel importante en el logro de resultados seguros en dichos estudios científicos. Numerosas técnicas avanzadas de neuroimagen no invasivas permiten análisis exploratorios de alteraciones estructurales que pueden usarse como evaluaciones de los cambios morfométricos cerebrales relacionados con la edad y el sexo. Ejemplos de tales técnicas incluyen morfometría basada en voxel (VBM), morfometría basada en tensor (TBM), morfometría basada en deformación (DBM) en híbridos, basado en regiones (MBR), y morfometría de superficie (MBS) que permiten la detección de cambios incluso sutiles en la estructura del cerebro. ^(1,5)

Los estudios de morfometría cerebral muestran que los cambios más grandes dentro de un individuo ocurren durante el desarrollo temprano, los más sutiles siguen durante la edad adulta y, nuevamente, ocurren cambios dramáticos en la última parte de la vida humana: el envejecimiento. Los estudios de neuroimágenes muestran claramente que no es posible especificar una edad en que el desarrollo se detiene o cuando comienza el envejecimiento, y que no es el caso de que el cerebro es estática a cualquier edad, sino que se caracteriza por dependiente de la experiencia de toda la vida plasticidad neurocognitiva. ⁽¹⁾

El cerebro sigue cambiando durante toda la vida, con los procesos positivos y negativos de suponer que ocurre al lado de otros a medida que envejecemos. Curiosamente, hay un creciente reconocimiento de cómo las influencias tempranas de la vida y la cognición en el cerebro pueden afectar todo el tiempo de vida y de cómo los cambios neurocognitivos en diferentes períodos de la vida pueden estar relacionados. ⁽¹⁾

Actualmente, sin embargo, la mayoría de las aplicaciones de la morfometría cerebral basada en RMN o en TC tienen un objetivo clínico. Los avances en neuroimágenes llevaron

progresivamente a la comunidad científica hacia una nueva comprensión de las enfermedades neurológicas, así como de los trastornos psiquiátricos basados en su neurobiología subyacente, facilitando la clasificación diagnóstica, mejorando nuestra capacidad de predecir el resultado del tratamiento y mejorando nuestra comprensión de la genética y causas ambientales de estos trastornos. ⁽¹⁾

En las diferencias de la morfometría del cerebro la edad es un factor bien conocido que modifica su morfología^(2,3,4). Con el envejecimiento normal se producen cambios que caracterizan al cerebro envejecido que nos permite diferenciarlo de un cerebro joven, como son la reducción progresiva del volumen cerebral, dilatación ventricular compensatoria y la profundización de los surcos y cisternas encefálicas. La valoración del aumento del sistema ventricular se hace con frecuencia cualitativamente, a partir del simple análisis visual del estudio tomográfico, también se puede realizar de forma cuantitativa a partir del índice ventricular de Evans (IE) que debe ser superior a 0.3 milímetros (mm).^(3, 4, 10)

Especial atención en la práctica radiológica se les confiere a los cuernos frontal es de los ventrículos laterales, a nivel del agujero de Monro, la amplitud de éstos en personas menores de 40 años es < 12 mm, y en los mayores de 40 años < 15 mm ^(3, 4). La dilatación de los surcos (Fig.1) y cisternas (Fig.2) forma parte del proceso normal de envejecimiento, se consideran como valores normales 4 mm de distancia cráneo encefálico y 6 mm el ancho interhemisférico ^(3, 4, 11,12). Las imágenes médicas se han convertido en una herramienta esencial en la práctica clínica con el objetivo de detectar precozmente enfermedades cerebrales (Fig. 3), facilitando el diagnóstico en tiempo real y tomándose decisiones inmediatas. ^(13, 14)

Para entender los cambios estructurales y funcionales del cerebro, las investigaciones en el campo de las neurociencias del siglo XXI han sido un excelente aporte, pero aún son insuficientes ⁽¹²⁾. Este hecho cobra mayor relevancia si se tiene en cuenta que cada vez son más las personas que llegan a etapas más avanzadas de la vida. Según datos de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) en el 2020 se llegará a los 1200 millones de ancianos. En Cuba se estima para el 2025 que el 25 % de la población cubana tendrá más de 60 años. Este fenómeno del envejecimiento trae consigo un incremento en el índice de

las afecciones propias de la tercera edad, entre las que sobresalen las enfermedades neurológicas degenerativas. ⁽¹⁵⁾

El mayor avance científico que pueden registrar las técnicas de neuroimágenes es que no requieren cirugías o procedimientos en los que se ponga en riesgo la vida humana, sino que al ser llamadas no invasivas permiten el estudio del cerebro y, más aún, del cerebro con vida y en pleno funcionamiento. Se aplican con gran frecuencia en las enfermedades neurodegenerativas y en las demencias, sirviendo para establecer principios diagnósticos mucho más claros y precisos, tanto en la identificación de patrones de enfermedad, como en daños estructurales y funcionales provocados por toda la amplia gama de enfermedades degenerativas. En los últimos años, debido a la necesidad de realizar el diagnóstico precoz, el esfuerzo se ha centrado en el desarrollo de técnicas de neuroimágenes que permitan lograr la detección de enfermedad en etapas preclínicas, antes que el daño cerebral irreversible se produzca. ⁽¹⁶⁾

Para muchas tareas clínicas como la planificación quirúrgica, es necesario comprender y comunicar estructuras 3D complejas y a menudo malformadas. La experiencia ha demostrado que la "reconstrucción mental" de objetos a partir de imágenes transversales es extremadamente difícil y depende en gran medida del entrenamiento y la imaginación del observador. Para estos casos, es ventajoso presentar el cuerpo humano como lo vería un cirujano o un anatomista (Fig. 4). ^(16, 17)

En Cuba existe cierta experiencia con esta tecnología relacionada con los servicios médicos, ejemplo de ello es el desarrollo y la implementación del archivo de imágenes y sistemas de comunicación (PACS) y lanzó la base para el desarrollo de PACS: Soluciones llamadas iMagis que son hoy en día la más difundida en Cuba. IMagis es un conjunto de soluciones PACS desarrolladas bajo la Plataforma Linux, utilizando herramientas gratuitas, que se compone de un servidor DICOM y un sistema de visualización. Al igual que todas las soluciones PACS, ofrece servicios de almacenamiento, indexación, búsqueda y entrega de imágenes, desde modernos equipos de imágenes médicas y estaciones de trabajo. ⁽¹⁸⁾

No podemos dejar de resaltar la importancia del empleo de los sistemas de cómputo ya que permite mejorar la calidad de la visualización de las imágenes médicas adquiridas. Actualmente se emplean técnicas para reducir el ruido producido durante la adquisición de

imágenes, realzar zonas específicas y segmentar las imágenes en diferentes partes. Algunas de estas técnicas han sido desarrolladas por organizaciones académicas y comerciales, encapsulándolas en bibliotecas de clases, un ejemplo lo constituye la biblioteca de código abierto ITK, que se especializa en el procesamiento, segmentación y registro de imágenes. Es muy frecuente hoy en día visualizar los resultados cuantitativos realizados en las imágenes médicas como por ejemplo la visualización volumétrica. ⁽¹⁹⁾

Volumetría cerebral y su visualización

La volumetría cerebral es una técnica avanzada de pos procesamiento semiautomático, que a partir de una imagen volumétrica de resonancia magnética ponderada en T1 (preferentemente MPRAGE por su alto contraste entre sustancia blanca y corteza) y tomografía computarizada se obtiene la segmentación y volumen de estructuras corticales y subcorticales. Uno de los software más utilizado a nivel mundial es *Free Surfer*. Este software a partir de una o más adquisiciones volumétricas, determina de forma automática entre otros datos: el volumen de corteza, sustancia blanca, múltiples estructuras subcorticales, y espesor cortical. ^(1, 18).

El objetivo de la visualización del volumen en medicina, también conocido como imágenes en 3D, es crear vistas en perspectiva precisas y realistas de los objetos a partir de los datos del volumen tomográfico. El objetivo de la visión por computadora, también conocida como comprensión de imágenes, es crear descripciones simbólicas (en términos de nombres, relaciones, etc.) del contenido de una imagen. En la visualización de volumen, las funciones de segmentación de imágenes de nivel más bajo se utilizan para identificar diferentes partes de un volumen que se pueden visualizar o eliminar. Los gráficos por computadora proporcionan métodos para sintetizar imágenes a partir de descripciones numéricas. ⁽¹⁸⁾

Con la adquisición de una o más series de imágenes tomográficas, los datos generalmente se someten a un pre procesamiento como el filtrado de imágenes, la interpolación y la fusión de imágenes, si se van a utilizar datos de varias fuentes. Más recientemente, se han desarrollado métodos de visualización de volumen directo que crean vistas 3D directamente a partir de los datos de volumen. Estos métodos utilizan la información de intensidad de imagen completa para renderizar superficies, cortes o volúmenes

transparentes y semitransparentes. Pueden incluir o no un paso de segmentación explícito para la identificación y el etiquetado de los objetos a renderizar

Con respecto a los pasos de post procesamiento, especialmente la segmentación basada en la intensidad, a menudo es deseable mejorar la relación señal-ruido de los datos, utilizando filtrado de imagen o volumen. Los filtros de ruido conocidos son los filtros promedio, medio y gaussiano. Sin embargo, estos métodos también tienden a suavizar los pequeños detalles. Se obtienen mejores resultados con filtros de difusión anisotrópicos, que preservan en gran medida los límites de los objetos. ^(18,19)

Para muchas aplicaciones clínicas es muy importante asegurarse que la imagen en 3D muestre la real situación anatómica del órgano y que esta no se desvíe de la imagen original, aun adaptándose a las necesidades del observador, para realizar un diagnóstico correcto. Otro aspecto importante es que se garantice la calidad de la imagen en términos de sensibilidad y especificidad. ⁽¹⁸⁾

Segmentación de imágenes

Un volumen de imagen generalmente representa un gran número de imágenes que se oscurecen entre sí. Para mostrar uno en particular, tenemos que decidir qué partes del volumen queremos usar o ignorar. El primer paso es dividir el volumen de la imagen en diferentes regiones que son homogéneas con respecto a algunos criterios formales y que corresponden a objetos reales (anatómicos). Este proceso se llama segmentación (Fig.4). En un paso de interpretación posterior, las regiones pueden identificarse y etiquetarse con términos significativos como "materia blanca" o "ventrículo". Si bien la segmentación es bastante fácil para un experto humano, ha resultado ser extremadamente difícil para una computadora. ^(18,19)

Todos los métodos de segmentación pueden caracterizarse como binarios o difusos. En la segmentación binaria, la pregunta de si un voxel pertenece a una región determinada siempre se responde sí o no. Esta información es un requisito previo, por ejemplo, para crear representaciones de superficie a partir de datos de volumen. Como inconveniente, la incertidumbre o los casos en los que un objeto ocupa solo una fracción de un voxel (efecto de volumen parcial) no se pueden manejar adecuadamente. Estricto sí, no se evitan decisiones en la segmentación difusa, en la que se asigna un conjunto de probabilidades a

cada vóxel, lo que indica la evidencia de diferentes materiales. La segmentación difusa está estrechamente relacionada con los métodos de representación de volumen directo. (18,19)

Entre los métodos de segmentación utilizados para la visualización del volumen, van desde la clasificación y la detección de bordes hasta enfoques recientes, como modelos deformables, registro de atlas y espacio de escala y segmentación interactiva. En la práctica, estos enfoques básicos a menudo se combinan. (19)

- **Clasificación:** Un enfoque directo a la segmentación es clasificar el vóxel según su intensidad, sin importar dónde se ubique. Un ejemplo muy simple pero importante es el umbral: un cierto rango de intensidad se especifica con valores de umbral inferior y superior. Un vóxel pertenece a la clase seleccionada si y solo si su nivel de intensidad está dentro del rango especificado. El umbral es el método de elección para seleccionar hueso o tejido blando en la TC. En la visualización de volumen directo, a menudo se realiza durante el proceso de renderizado, de modo que no se requiere un paso de segmentación explícito. La segmentación se vuelve más fácil si hay imágenes multispectrales disponibles, como imágenes ponderadas en T1 y T2 en la resonancia magnética, que enfatizan la grasa y el agua, respectivamente. En este caso, se pueden especificar valores umbrales individuales para cada parámetro. La clasificación y el análisis de componentes conectados también se pueden combinar en un algoritmo de crecimiento de una sola región. A partir de un vóxel inicial seleccionado por el usuario, todos los vóxeles vecinos se agregan a la región si satisfacen ciertos criterios basados en la intensidad. Este proceso continúa de manera recursiva desde los vóxeles recientemente agregados hasta que no se puedan encontrar vecinos más adecuados. (18,19)

- **Detección de bordes:** Otro enfoque clásico para la segmentación es la detección de aristas, utilizando la primera o segunda derivada de la función de intensidad 3D. Se supone que estos bordes (en 3D, en realidad son superficies; sin embargo, es común hablar de bordes) representan los bordes entre diferentes tejidos u órganos. (18,19)
- **Modelos deformables:** Una forma de representar el conocimiento general sobre las formas posibles es el uso de modelos deformables, basados en curvas o superficies

parametrizadas. Como una clase importante de modelos deformables, los contornos activos evolucionan iterativamente hacia características de imagen seleccionadas, minimizando así una función de energía basada en fuerzas externas e internas. Las fuerzas externas describen qué tan bien se ajusta el contorno a las características detectadas en los datos de la imagen, como las magnitudes de gradiente alto. Las fuerzas internas describen la tensión del contorno mismo. ^(18,19)

- **Registro de Atlas:** Una representación más explícita del conocimiento previo sobre la forma del objeto es el atlas anatómico. La segmentación se basa en el registro del volumen de la imagen en consideración con un volumen pre etiquetado que sirve como un atlas objetivo. Una vez que se estiman los parámetros de registro, la transformación inversa se usa para mapear las etiquetas anatómicas sobre el volumen de la imagen, logrando así la segmentación. En general, estos atlas no representan un individuo, sino una anatomía "normal" y su variabilidad en términos de una distribución espacial probabilística, obtenida de numerosos casos. ^(18,19)
- **Segmentación espacio-escala:** Otra idea interesante es investigar las características de los objetos en el espacio a escala, es decir, a diferentes niveles de resolución de imagen. Este enfoque nos permite ignorar los detalles irrelevantes de la imagen. Uno de estos métodos desarrollado por Pizer y colaboradores considera la simetría de formas previamente determinadas, descritas por ejes mediales. La función de cresta resultante en el espacio de escala se denomina núcleo de un objeto. Se puede usar, por ejemplo, para la segmentación interactiva, en la que el usuario puede seleccionar, sumar o restar regiones, o moverse a regiones "principales" o "secundarias" más grandes en la jerarquía. ^(18,19)

CONCLUSIONES

Las imágenes médicas al igual que la visualización volumétrica constituyen una poderosa fuente de información para el estudio de la anatomía cerebral de los pacientes con cerebros sanos y con enfermedades neurodegenerativas la investigación, la educación y el cuidado del paciente. Pero, es necesario realizar más investigaciones debido a que existen problemas que aún perjudican un uso aún más amplio ya que los métodos de segmentación automática requieren demasiado tiempo, además hay una gran cantidad de parámetros

técnicos para aplicarlo. Sin embargo, con el aumento de la potencia informática, estos problemas se superarán a corto plazo.

Conflicto de intereses: No se declaran.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1- Spalletta G, Piras F, Gili T. Brain Morphometric, Neuromethods, vol. 136. Human press, 2018:165-170.
- 2- Osborn A. Encefalopatías adquiridas metabólicas, de la sustancia blanca y degenerativas. En: Osborn A. Serie radiológica clínica. Los 100 diagnósticos principales en cerebro. Elsevier España, SA. 2004:748-753.
- 3- Moeller TB, Reif E. Normal Findings in CT and MRI. Thieme, 2000:1-26.
- 4- Ann, O. Serie Radiología Clínica. 2006
- 5- Monté-Rubio GC, Falcón C, Pomarol-Clotet E, Ashburner J. A Comparison of various MRI feature types for characterizing whole brain anatomical differences using linear pattern recognition methods. Rev. Neuroimage. 2018; 178:753-768.
- 6- Farokhian F, Yang CH, Beheshti I, Matsuda H, Wu S. Age-related gray and white matter changes in normal adult brains. Aging and disease .2017; 8(6): 899-909.
- 7- Fernández Viadero C, Verduga Vélez R, Dámaso Crespo S. DETERIORO COGNITIVO LEVE. Patrones de envejecimiento cerebral. Revista Española de Geriatria y Gerontología. 2017; 52(Supl 1):7-14.
- 8- Zheng F, Liu Y, Yuan Z, Gao X, He Y, Liu X, et al. Age related changes in cortical and subcortical structures of healthy adult brains: A surface-based morphometric study. Journal of Magnetic Resonance Imaging. 2019; 49(1):152-163.
- 9- Noble J, Cardini A, Flavel A, Franklin D. Geometric morphometric on juvenile crania: Exploring age and sex variation in an Australian population. Forensic science international. 2019; 294:57-68.
- 10- Valizadeh SA, Hanggi J, Merillat S, Jancke L. Age prediction on the basis of brain anatomical measures. Human Brain Mapping. 2017; 38:997-1008.

- 11-Zhao L, Matloff W, Ning K, Kim H, Dinov ID, & Toga AW. Age-related differences in brain morphology and the modifiers in middle-aged and older adults. *Cerebral Cortex*.2018; 29(10):252.
- 12-Ramanoël S, Hoyau E, Kauffmann L, Renard F, Pichat C, Boudiaf N. Gray matter volume and cognitive performance during normal aging. A voxel-based morphometric study. *Frontiers in agingneuroscience*.2018; 10: 235.
- 13- Adduru V, Baum SA, Zhang C, Helguera M, Zand R, Lichtenstein M, et al . A method to estimate brain volume from head CT images and application to detect brain atrophy in Alzheimer disease. *American Journal of Neuroradiology*.2020; 41(2), 224-230.
- 14- Aycheh HM, Seong JK, Shin JH, Na DL, Kang B, Seo SW, et al. Biological brain age prediction using cortical thickness data: A large-scale cohort study. *Frontiers in agingneuroscience*.2018; 10: 252.
- 15-Vergara TD, Pérez JP. Retos del derecho ante el envejecimiento poblacional en Cuba. *Anales de la Academia de Ciencias de Cuba*.2019; 9(3), 695.
- 16- del Pilar Rueda A, Enríquez LF. Una revisión de técnicas básicas de neuroimagen para el diagnóstico de enfermedades neurodegenerativas. *Biosalud*.2018; 17(2), 59-90.
- 17- Toga AW, Mazziotta JC. *Brain mapping: the methods* .Academic press. 2002(Vol. 1).
- 18- Daudinot López M, Miller Clemente R, Gonce Hernández E. iMagis 2.0: a platform toward image-based processes inherent to radiation therapy. 2015, (pp. 1CD-ROM).
- 19- Peña Peñate A, Silva Rojas LG, Alcolea Núñez R. Módulo de filtrado y segmentación de imágenes médicas digitales para el proyecto Vismedic. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*.2016; 10(1), 13-27.

Figuras. Para la realización de las mediciones morfométricas se utilizaron imágenes médicas en formato DICOM obtenidas mediante la modalidad de imagen por TC.

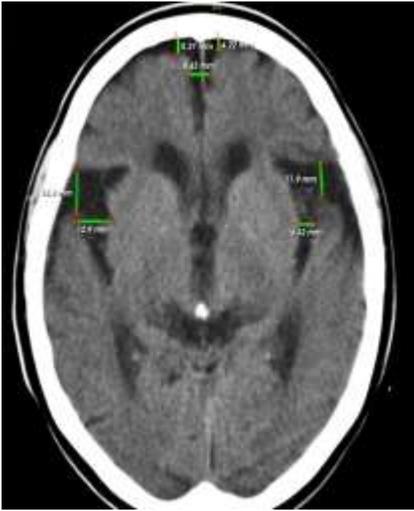


Figura 1. Imagen de tomografía computarizada de cráneo simple de un paciente de 75 años que acudió a la sala de imagenología del Hospital Juan Bruno Zayas Alfonso, sin signos de focalización neurológica, presentando signos de atrofia cerebral, con profundización de surcos en el nivel frontal (5,27 y 4,22 milímetros respectivamente), de la porción anterior de la fisura interhemisférica (8,43 milímetros) y dilatación de las ranuras de Silvio (11,9 y 14,8 milímetros a ambos lados) y Rolando (6,32 y 12,9 milímetros a ambos lados). Fuente: Extraído del archivo de imágenes y sistema de comunicación, del departamento de imagenología del Hospital Juan Bruno Zayas Alfonso.



Figura 2. Imagen de TC de cráneo simple de un paciente de 75 años que acude a la sala de imagenología del Hospital Juan Bruno Zayas Alfonso, sin signos de focalización neurológica, con signos de atrofia cerebral y una EIV a nivel de cuernos frontales de los ventrículos laterales de 0,31 milímetros. Fuente: Extraído del archivo de imágenes y sistema de comunicación, del departamento de imagenología del Hospital Juan Bruno Zayas Alfonso.

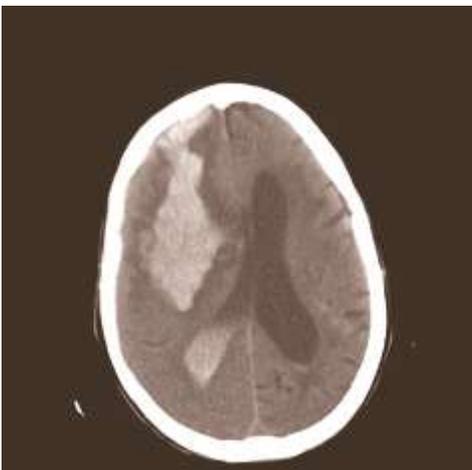


Figura 3: Imagen de TC del cráneo simple de un paciente de 82 años que acude a la sala de imagenología del Hospital Juan Bruno Zayas Alfonso, con signos de focalización neurológica, mostrando un foco hemorrágico reciente de 82 parietal frontal derecho HU, de 93,6 milímetrosx41,4 milímetros que inunda el sistema ventricular, se nota el contenido de sangre en ambos cuernos occipitales con predominio del lado derecho,

asociado a edema perilesional que despeja los surcos cerebrales a ese nivel, colapsando el cuerno frontal derecho y comprimiendo el cuerpo del ventrículo lateral derecho, que desplaza la línea media a 8 milímetros hacia la izquierda. Fuente: Extraído del archivo de imágenes y sistema de comunicación, del departamento de imagenología del Hospital Juan Bruno Zayas Alfonso.

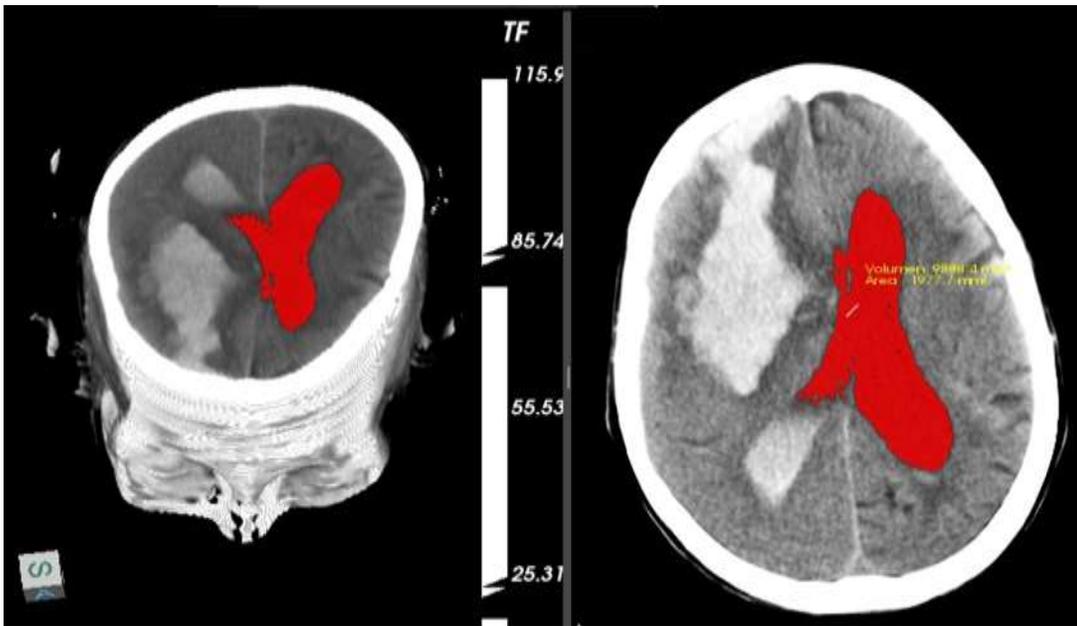


Figura 4: La Imagen A representa la reconstrucción 3D a partir de la segmentación de los ventrículos laterales y el volumen 9988,4 milímetros cúbicos y el área 1977,7 milímetros cuadrados obtenidos en este corte de tomografía, donde se observa el foco hemorrágico de 82 UH parietal frontal derecho en la imagen B. Fuente: Extraído del archivo de imágenes y sistema de comunicación, del departamento de imagenología del Hospital Juan Bruno Zayas Alfonso