

Artículo de Revisión

Actualización sobre las aplicaciones de la neuronavegación en las neurociencias

Update on the applications of neuronavigation in neurosciences

Piedad Acurio-Padilla¹  , Carol Estefanía Sánchez-Palacios¹ , Aldemar Alejandro Monsalve-Guamán¹ ¹Universidad Regional Autónoma de Los Andes. Grupo de Investigación Biomédica UNIANDES. Ambato, Ecuador.

RESUMEN

Introducción: el sistema de neuronavegación es un avance tecnológico cuyo rol es permitir la visualización en tiempo real de estructuras intracraneales, que se obtienen a partir de imágenes preoperatorias y se reconstruyen en tercera dimensión, mismas que son proyectadas a través de la pantalla.

Objetivo: caracterizar ventajas y desventajas de la neuroimagen y la neuronavegación.

Método: bases de datos electrónicas médico-científicas como MEDLINE, Pubmed, Clinical Key, Scopus y Web of Science haciendo partícipes a ciertos artículos de relevancia médica, además de libros reconocidos dentro de la comunidad científica, para lo cual empleamos las palabras claves “neurocirugía”, “neuronavegación”, cuyo periodo de búsqueda fue entre 2018 y 2022. Se recogieron alrededor de 22 publicaciones de las cuales 10 han sido tomadas en cuenta para la realización de esta revisión bibliográfica

Resultados: el advenimiento de esta tecnología ha servido para llevar a cabo varios procedimientos neuroquirúrgicos de alta complejidad de una forma más segura y precisa en los que se incluyen los mínimamente invasivos, mejorando la exactitud del abordaje y disminuyendo los riesgos de complicaciones, razón por la cual juega un papel fundamental en la exactitud del neurocirujano al mismo tiempo que hace factible el éxito de las operaciones con un menor riesgo.

Conclusiones: la neuronavegación es una herramienta que disminuye considerablemente el tiempo quirúrgico, las dimensiones de la craneotomía y por ende disminuye las complicaciones y lesiones de estructuras adyacentes, mejorando el pronóstico y disminuyendo las secuelas en los pacientes estudiados.

Palabras clave: Neuronavegación; Neurocirugía; Neuroimagen; Procedimientos Neuroquirúrgicos; Tecnología.

ABSTRACT

Introduction: the neuronavigation system is a technological advance whose role is to allow real-time visualization of intracranial structures, which are obtained from preoperative images and reconstructed in third dimension, which are projected through the screen.

Objective: to characterize the advantages and disadvantages of neuroimaging and neuronavigation.

Method: medical-scientific electronic databases such as MEDLINE, Pubmed, Clinical Key, Scopus and Web of Science involving certain articles of medical relevance, in addition to books recognized within the scientific community, for which we used the keywords “neurosurgery”, “neuronavigation”, whose search period was between 2018 and 2022. About 22 publications were collected of which 10 have been considered for the realization of this literature review.

Results: the advent of this technology has served to perform several highly complex neurosurgical procedures in a safer and more precise way, including minimally invasive ones, improving the accuracy of the approach and reducing the risks of complications, which is why it plays a fundamental role in the neurosurgeon's accuracy while making the success of operations feasible with a lower risk.

Conclusions: neuronavigation is a tool that considerably decreases surgical time, craniotomy dimensions and therefore decreases complications and lesions of adjacent structures, improving prognosis and decreasing sequelae in the patients studied.

Keywords: Neuronavigation; Neurosurgery; Neuroimaging; Neurosurgical Procedures; Technology.

INTRODUCCIÓN

El sistema de neuronavegación se relaciona con el GPS que hace de guía en un territorio desconocido evitando que se puedan tomar rutas innecesarias, lo mismo ocurre cuando existe una lesión cerebral profunda y de difícil acceso

Citar como: Acurio-Padilla P, Sánchez-Palacios CE, Monsalve-Guamán AA. Neuronavegación: una revisión bibliográfica desde la perspectiva actual. Universidad Médica Pinareña [Internet]. 2023 [citado Fecha de Acceso]; 19:e952. Disponible en: <https://revgaleno.sld.cu/index.php/ump/article/view/952>

DOI: 10.5281/zenodo.7884719

Recibido: 20-12-2023

Aceptado: 08-03-2023

Publicado: 20-04-2023

Editor: Univ. Angel Echevarria Cruz. 
Universidad de Ciencias Médicas de Pinar del Río. Facultad de Ciencias Médicas “Dr. Ernesto Che Guevara de la Serna”. Pinar del Río, Cuba.

© 2023 Autor(es). Este es un artículo en acceso abierto, distribuido bajo los términos de una licencia Creative Commons (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>) que permite el uso, distribución y reproducción en cualquier medio siempre que la obra original sea correctamente citada.



o en áreas elocuentes, a pesar de que los neurocirujanos cuentan con un amplio conocimiento anatómico, teórico y práctico, en ocasiones los pacientes pueden presentar alteraciones morfológicas o modificaciones de la anatomía por efecto de la compresión de lesiones que cambien o dificulten las rutas de acceso durante ciertos procedimientos.

La precisión de los métodos quirúrgicos ha sido un problema desde el comienzo de la cirugía cerebral y ha sido objeto de investigación continua a lo largo de los años para desarrollar nuevas herramientas que faciliten localizar lesiones intracraneales. Este desarrollo se ha basado y ha evolucionado de la mano con la neuroimagen que proporciona cada vez más una vista anatómica del tejido cerebral con mayor detalle, por lo que el advenimiento de nuevas tecnologías y herramientas de imagen han permitido el desarrollo de equipos como la neuronavegación con el objetivo de maximizar la precisión y seguridad de un procedimiento Neuroquirúrgico.⁽¹⁾

La neuronavegación consta de tecnología informática sofisticada, con potentes ordenadores como medio físico, que incluye el procesamiento de imágenes neuro radiológicas digitalizadas, durante el proceso de planificación, y la interacción punto a punto con estructuras anatómicas específicas y su correspondencia con el software. Los mapas neuroanatómicos 3D reales se obtienen a través de un proceso llamado registro.^(2,3)

La precisión y seguridad en la localización de la lesión, la elección de la mejor vía para abordar la lesión sin lesionar otros tejidos adyacentes o estructuras neurovasculares y la resección completa son algunas de las principales ventajas de esta técnica. Su principal inconveniente es el posible movimiento del paciente o del sistema durante la colocación de los paños de campo estériles y el transquirúrgico, así como por el desplazamiento de estructuras anatómicas luego de la craneotomía, la durotomía o la corticotomía. Los errores de cálculo causados por el desplazamiento de las estructuras intracraneales se pueden corregir mediante la adquisición de imágenes consecutivas transquirúrgicas utilizando tomógrafos o resonadores magnéticos, dentro de quirófano, que sean compatibles con el equipo de neuronavegación y permitan la navegación continua en tiempo real.⁽⁴⁾

En el siglo XX se comenzó con el uso de la ventriculografía, inyección de contraste en el sistema ventricular, como técnica para la localización y extirpación de lesiones adyacentes al mismo. Los intentos para lograr la exactitud en la intervención, dieron como resultado la estereotaxia, técnica de gran precisión utilizada hasta la actualidad.⁽¹⁾

La seguridad del paciente es la mayor contribución que se puede ofrecer en lo que a calidad de atención se refiere, al disminuir las complicaciones y mejorar los resultados en estos pacientes. Los sistemas de salud se han implementado progresivamente ante las cambiantes necesidades de la población y las transiciones epidemiológicas, tecnológicas y demográficas en la búsqueda continua por la calidad de atención en los pacientes, esa sí como en muchas instituciones, se cuenta con neuronavegación y cirugía robótica.⁽⁵⁾

Dada la importancia de la evolución tecnológica en aras de contribuir a mejores resultados neuroquirúrgicos, se hace imprescindible, una actualización bibliográfica del tema para conocer ventajas y desventajas de esta herramienta quirúrgica y sus protocolos de aplicación.

Por lo antes planteado se traza como **objetivo** del presente artículo de revisión caracterizar ventajas y desventajas de la neuroimagen y neuronavegación.

MÉTODOS

Se llevó a cabo una búsqueda de información en las bases de datos Pubmed/MedLine, ClinicalKey, Scopus y Web of Science. Además, se incluyeron fuentes de relevancia médica en el campo, como libros de reconocido prestigio dentro de la comunidad científica. Para la obtención de la información se empleó una estrategia de búsqueda con la sintaxis propia para cada base de datos, empleando los términos “neurocirugía”, “neuroimagen” y “neuronavegación”, cuyo periodo de búsqueda fue entre 2018 y 2022.

Se recogieron alrededor de 22 publicaciones de las cuales 10 han sido tomadas en cuenta para la realización de esta revisión bibliográfica puesto que cumplieron con los criterios que se delimitan en la misma, entre estas publicaciones se encuentran artículos publicados en revistas de alto impacto médico y científico, varios libros de carácter médico-tecnológico y artículos de revisión bibliográfica.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tecnología siempre ha sido una gran aliada de la medicina, es este el caso del Sistema de Neuronavegación que no solo combina la información de las imágenes proporcionadas por la Tomografía Computarizada o Resonancia Magnética, sino que además nos da beneficios en la precisión, disminución del tiempo quirúrgico, el apoyo en las técnicas mínimamente invasivas y la disminución por tanto de complicaciones.

Los tumores, especialmente de base de cráneo o los localizados en áreas elocuentes o profundas, pueden ser abordados con mayor seguridad y precisión gracias a esta herramienta, que delimita sus bordes y localización, logrando así realizar abordajes mínimos y con mejores resultados, lo mismo sucede con patologías vasculares, logrando mayor exactitud con la adquisición de imágenes transoperatorias y disminuir los posibles

desplazamientos provocados por el procedimiento quirúrgico per se, a favor de esta tan anhelada precisión, se han realizado vario estudios para determinar la mejor posición del *tracker*.

Entre otras consideraciones podemos mencionar el buen pronóstico del paciente posterior a cualquier intervención quirúrgica que se realice con ayuda del sistema de neuronavegación dado que éste otorga múltiples ventajas a dichos procedimientos que deben llevarse a cabo bajo mucha cautela, precisión, cuidado y mínima invasión.

Técnica. Obtención de las imágenes cerebrales.

Para realizar una reconstrucción en tercera dimensión es necesario obtener imágenes cerebrales, esto va a depender de la técnica que se emplee y por ende de la disponibilidad de dichos recursos, así como la precisión requerida en cada intervención quirúrgica. Si bien es cierto la TAC tiene una mayor capacidad para evaluar estructuras óseas, la RMN, es experta en la obtención de imágenes con alta definición de tejidos blandos.⁽²⁾

La información se sobrepone y dado que esta es proveniente de ambas técnicas puede proveer gran detalle del tejido óseo tanto como una imagen óptima de las estructuras cerebrales. Algunas de las técnicas de imagen con contraste intravenoso como la angioTAC o angio-RMN son útiles para agregar información con respecto a la anatomía vascular cerebral en el abordaje de malformaciones arteriovenosas, aneurismas y otras anomalías vasculares.^(2,6)

La RMN funcional (fRMN) y tractografía mediante imagen por tensor de difusión (DTI) ayudan a encontrar las áreas elocuentes y tractos subcorticales, para planear el abordaje quirúrgico de una manera más óptima, para lo que también se puede combinar la neuronavegación con el mapeo cortical mediante electroestimulación.⁽¹⁾

Digitalización de la información espacial mediante registro de puntos de referencia anatómicos

El equipo de neuronavegación se encarga de obtener coordenadas de diferentes puntos de referencia localizados sobre el cráneo, además de varias localizaciones dentro del campo quirúrgico y por ende del instrumental que será empleado durante la cirugía, todo esto con el fin de correlacionar las reconstrucciones imagenológicas con la información espacial del paciente.⁽³⁾

Para ello se realiza un registro de los sitios anatómicos de referencia colocando un puntero en la superficie del cráneo, el cual cuenta con esferas reflectantes o marcadores que reflejan las ondas de luz ultravioleta emitidas por los diodos emisores de luz (LED) que se colocan en el detector óptico; este último a su vez localiza dicho puntero al detectar la luz reflejada en el cabezal Mayfield con el que se realiza la fijación del cráneo del paciente.^(7,8)

Las coordenadas espaciales de cada sitio de referencia se combinan con las reconstrucciones tridimensionales de los estudios de imágenes, construyendo así un mapa del cerebro que permite al médico visualizar las estructuras internas del cráneo en la computadora mientras realiza la cirugía.^(7,8)

Para facilitar este procedimiento, se pueden utilizar puntos de referencia o marcos de referencia individuales que se pegan a la superficie del cráneo y que también contienen esferas que reflejan la luz. Estos puntos de referencia se colocan antes de tomar las imágenes del cerebro, lo que mejora la precisión de hacer coincidir la información de las imágenes con la información espacial.^(6,9)

También se realiza el registro de equipos quirúrgicos y microscopio, todos los cuales cuentan con adaptadores con esferas reflectantes para lograr su localización y detección a través del sistema de detección óptica. Cuando los puntos de referencia no están disponibles, las estructuras anatómicas superficiales de la cara y el cráneo, como la punta de la nariz, el lóbulo de la oreja y el canto interno del ojo, se pueden utilizar para registrar. Se presentarán en un orden lógico, incluyendo únicamente los datos relevantes y los gráficos necesarios, y se tratarán las novedades que aporte la encuesta.^(3,10)

Actualización de los datos intraoperatorios en tiempo real

Una limitación de la neuronavegación es su estricta dependencia de la precisión del registro de puntos de referencia y su correlación con las imágenes cerebrales, de modo que el desplazamiento de un sitio de referencia o el cambio de posición de las estructuras cerebrales impuesto por la disección del tejido nervioso en el camino hacia la lesión, objetivo puede afectar la precisión del sistema de neuronavegación⁽²⁾.

Por este motivo, se pueden utilizar diferentes técnicas de imagen intraoperatoria para actualizar los datos estructurales del cerebro. En algunos países desarrollados se realizan imágenes de resonancia magnética intraoperatoria, sin embargo, esta tecnología requiere una infraestructura sofisticada y una inversión económica que no está disponible en la mayoría de los centros hospitalarios. La ecografía tridimensional también se ha utilizado para evaluar el desplazamiento durante la cirugía, observándose su utilidad en diferentes estudios clínicos. Sin embargo, tiene la desventaja de una menor definición de los tejidos intracraneales y sensibilidad a artefactos como el aire y el sonido^(4,6) (Figura 1).

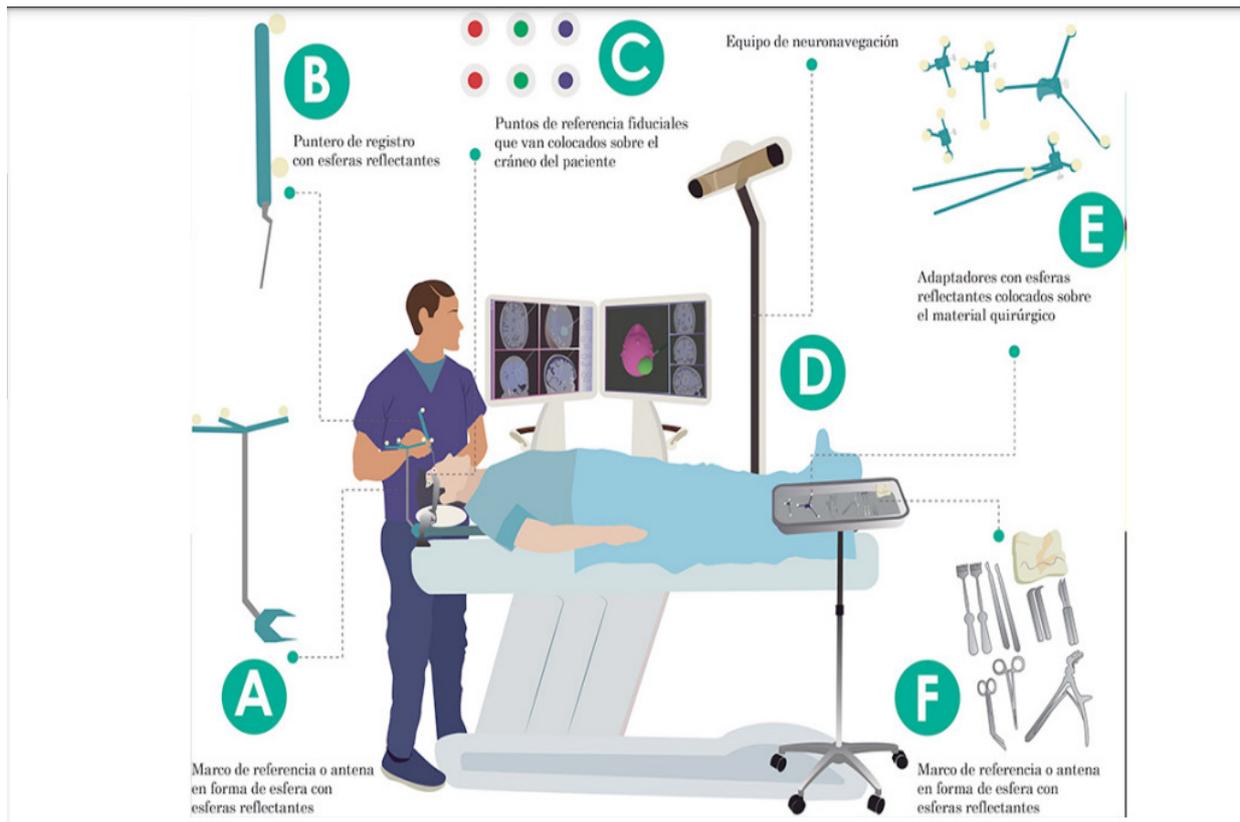


Figura 1. Elementos que componen al sistema de neuro-navegación.
Fuente: Stieglitz et al.⁽⁹⁾

Aplicaciones Clínicas

La neuronavegación se ha convertido en una herramienta fundamental en el tratamiento de pequeños tumores cerebrales profundos con contornos mal definidos y que afectan a grandes estructuras vasculares. Su principal ventaja es que acorta la duración de la cirugía. Además, se requiere una incisión más pequeña en el cráneo, lo que se traduce en un menor riesgo de infección de la herida quirúrgica, un menor volumen de hemorragia y una estancia hospitalaria más corta.⁽¹⁰⁾

En el caso del tratamiento de tumores cerebrales, se ha observado que su uso es especialmente relevante para el abordaje y delimitación de márgenes quirúrgicos en casos de gliomas de bajo grado, en los que es difícil definir los límites entre los tejidos normales del tumor y tejidos nerviosos. Esto se ve reforzado por el uso de técnicas de imagen funcional preoperatoria. La creciente evidencia de la relación entre el volumen de resección, la mortalidad y el riesgo de recurrencia convierte a la neuronavegación en una herramienta que tiene un impacto directo en el pronóstico de los pacientes con tumores cerebrales.^(3,4)

Sin embargo, se debe prestar especial atención a la técnica ya que, como se mencionó anteriormente, las lesiones intracerebrales pueden deformar localmente el tejido nervioso o el cirujano puede desplazar el cerebro durante la intervención, lo que altera los cálculos que realiza el sistema de navegación, por lo tanto, las imágenes intraoperatorias son necesarias para actualizar los datos y mejorar así la precisión del procedimiento.⁽⁹⁾

Además, en caso de tumores de rápido crecimiento, las imágenes preoperatorias deben tomarse inmediatamente antes de la cirugía, ya que, si se toman con demasiada anticipación, pueden ocurrir imprecisiones y mayor dificultad para correlacionar la información espacial con la reconstrucción de la imagen. Además de la resección de tumores intracraneales, la neuronavegación encuentra aplicaciones en el tratamiento de diferentes afecciones neurológicas y su precisión parece mayor en la cirugía de la base del cráneo debido a que las estructuras óseas están prácticamente inmóviles.⁽⁴⁾

De esta forma, su uso está ligado a mejores resultados en la resección de tumores hipofisarios porque permite planificar con más detalle el abordaje quirúrgico a través de diferentes estructuras óseas como la vía transesfenoidal. Además, permite realizar biopsias intracerebrales, endoscopia intracraneal y neurocirugía funcional con mayor precisión que otras técnicas convencionales gracias a la capacidad de integrar información de técnicas de imagen funcional para conseguir el mínimo riesgo de daño en regiones elocuentes y vías subcorticales. Finalmente, en los últimos años, ha crecido el uso de la neuronavegación para tratar trastornos

de la columna que requieren cirugía de columna.^(1,9,10)

CONCLUSIONES

La neuronavegación es una herramienta que disminuye considerablemente el tiempo quirúrgico, las dimensiones de la craneotomía y por ende disminuye las complicaciones y lesiones de estructuras adyacentes, mejorando el pronóstico y disminuyendo las secuelas en los pacientes estudiados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Choreño-Parra JA, Carnalla-Cortés M, Flores-Vázquez JC, Ruíz-Rivero CO, Guadarrama-Ortiz P. Neuronavegación: neurocirugía guiada por imagen. Rev Mex Neuroci [Internet]. 4 de septiembre de 2018 [citado 26/09/2022];19(4):83-93. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=81694>
2. Kanberoglu B, Moore NZ, Frakes D, Karam LJ, Debbins JP, Preul MC. Neuronavigation using three-dimensional proton magnetic resonance spectroscopy data. Stereotact Funct Neurosurg [Internet]. 2014 [citado 26/09/2022]; 92(5):306-14. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25247480/>
3. Valencia Calderón C, Bernal Carrillo R, Calderón Valdiviezo A, Vásquez Hahns C. Avances en el Manejo de la Patología Neuroquirúrgica en Ecuador. [Internet]. revecuatueneurol - Revista Ecuatoriana de Neurología. [citado 26/09/2022]. Disponible en: http://revecuatueneurol.com/magazine_issue_article/avances-manejo-patologia-neuroquirurgica-ecuador/
4. Valencia Calderón C, Castro Cevallos A, Calderón Valdiviezo A, Vásquez Hahn C. Utilidad de la neuronavegación en la planificación quirúrgica de tumores de fosa posterior. Neurol Arg [Internet]. 1 de octubre de 2015 [citado 26/09/2022];7(4):256-8. Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-neurologia-argentina-301-articulo-utilidad-neuronavegacion-planificacion-quirurgica-tumores-S1853002815000816>
5. Ramírez IH, Machín EI. Seguridad del paciente como fenómeno fundamental para la atención en la neuronavegación por imágenes. Journal Health NPEPS [Internet]. 1 de diciembre de 2021 [citado 26/09/2022];6(2). Disponible en: <https://periodicos2.unemat.br/index.php/jhnpeps/article/view/5055>
6. Achi XW, Chong C. Abordaje interhemisférico transcalsoso anterior guiado por neuronavegación para tumores ventriculares. Revista Argentina de Neurocirugía [Internet]. 29 de noviembre de 2021 [citado 26/09/2022];35(04). Disponible en: <https://www.ranc.com.ar/index.php/revista/article/view/193>
7. Mert A, Gan LS, Knosp E, Sutherland GR, Wolfsberger S. Advanced cranial navigation. Neurosurgery [Internet]. enero de 2013 [citado 26/09/2022];72 Suppl 1:43-53. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23254812/>
8. Martínez Mañas RM. Precisión y utilidad de la neuronavegación en la cirugía encefálica [Internet] [Ph.D. Thesis]. TDX (Tesis Doctorals en Xarxa). Universitat de Barcelona; 2004 [citado 26/09/2022]. Disponible en: <http://www.tdx.cat/handle/10803/1232>
9. Stieglitz LH, Raabe A, Beck J. Simple Accuracy Enhancing Techniques in Neuronavigation. World Neurosurg [Internet]. agosto de 2015 [citado 26/09/2022]; 84(2):580-4. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25819528/>
10. Daneri-Allis GM, Violante-Mejía J, Villa-Benites A, Anaya-Prado R, Zepeda-Ochoa JD, Daneri-Allis GM, et al. Instrumentación dorso-lumbar asistida con neuronavegación O-arm y cirugía mínimamente invasiva: resultados clínico-quirúrgicos. Cirugía y cirujanos [Internet]. octubre de 2021 [citado 26/09/2022]; 89(5):595-602. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2444-054X2021000500595&lng=es&nrm=iso&tlng=es

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Todos los autores participaron en la conceptualización, redacción - borrador inicial, redacción - revisión y edición.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

FUENTES DE FINANCIACIÓN

Los autores declaran no haber recibido financiación para el desarrollo de la presente.