

Interpretación de los tumores cerebrales

brain tumors

Riber Fabián Donoso Noroña^{1*} <https://orcid.org/0000-0002-9310-8947>

Nairovys Gómez Martínez¹ <https://orcid.org/0000-0003-1120-8408>

Adisnay Rodríguez Plasencia¹ <https://orcid.org/0000-0002-5293-2817>

¹ Universidad Regional Autónoma de los Andes (UNIANDES), Ecuador.

*Autor para la correspondencia: ua.riberdonoso@uniandes.edu.ec

RESUMEN

Los tumores cerebrales representan un desafío significativo en la medicina moderna debido a su complejidad diagnóstica y terapéutica, así como su impacto en la calidad de vida de los pacientes. El objetivo del estudio fue sintetizar la evidencia existente sobre los tumores cerebrales mediante una revisión sistemática de la literatura utilizando la metodología PRISMA 2020. Se realizó una búsqueda en PubMed con el término "tumores cerebrales" entre 2019 y 2024, seleccionando estudios relevantes según criterios de inclusión y exclusión previamente definidos. Se identificaron 342 artículos, de los cuales, tras un riguroso proceso de selección, se incluyeron 10 estudios en el análisis final. Los resultados destacan avances en técnicas diagnósticas y terapéuticas, como la resonancia magnética intraoperatoria y la PET/TC con 6-[18F]FDOPA, que mejoran la precisión quirúrgica y el diagnóstico diferencial entre recidiva tumoral y radionecrosis. Además, se documentaron estrategias innovadoras como el uso de

maniqués sintéticos basados en agarosa para la investigación experimental y la implementación de enfoques integrales en la rehabilitación neuropsicológica en pacientes pediátricos. También se subrayó la utilidad de paradigmas de fMRI para preservar funciones lingüísticas críticas en casos quirúrgicos. Las conclusiones destacan la necesidad de estandarizar protocolos y fomentar la integración de tecnologías avanzadas para mejorar los resultados clínicos y la calidad de vida de los pacientes con tumores cerebrales. Este estudio resalta la importancia de enfoques interdisciplinarios e innovadores en el manejo de estas complejas patologías.

Palabras clave: Tumores cerebrales; abordaje terapéutico; cirugía; quimioterapia; radioterapia; radiocirugía estereotáctica.

ABSTRACT

Brain tumors represent a significant challenge in modern medicine due to their diagnostic and therapeutic complexity, as well as their impact on patients' quality of life. The aim of the study was to synthesize existing evidence on brain tumors through a systematic review of the literature using the PRISMA 2020 methodology. A PubMed search was conducted using the term "brain tumors" between 2019 and 2024, selecting relevant studies based on predefined inclusion and exclusion criteria. A total of 342 articles were identified, of which, after a rigorous selection process, 10 studies were included in the final analysis. The results highlight advances in diagnostic and therapeutic techniques, such as intraoperative magnetic resonance imaging and PET/CT with 6-[18F]FDOPA, which improve surgical precision and the differential diagnosis between tumor recurrence and radionecrosis. Additionally, innovative strategies were documented, including the use of agarose-based synthetic phantoms for experimental research and the implementation of comprehensive approaches in neuropsychological rehabilitation for pediatric patients. The utility of fMRI paradigms in preserving critical language functions in surgical cases was also emphasized. The conclusions underscore the

need to standardize protocols and promote the integration of advanced technologies to improve clinical outcomes and the quality of life of patients with brain tumors. This study highlights the importance of interdisciplinary and innovative approaches in managing these complex pathologies.

Keywords: Brain tumors; therapeutic approach; surgery; chemotherapy; radiotherapy; stereotactic radiosurgery.

Recibido: 23/10/2024

Aceptado: 29/11/2024

Introducción

Un tumor cerebral es una proliferación anormal de células en el tejido cerebral, que puede ser de naturaleza benigna o maligna. Estos tumores pueden originarse en el propio cerebro (tumores primarios) o ser resultado de la diseminación de neoplasias de otras partes del cuerpo (metástasis). La clasificación y el comportamiento de los tumores cerebrales dependen de factores como el tipo celular de origen, la localización y las características histológicas.⁽¹⁾

La investigación sobre tumores cerebrales es esencial debido a su complejidad biológica y al impacto significativo en la salud pública. Estos tumores presentan una amplia heterogeneidad en cuanto a su origen, comportamiento y respuesta al tratamiento, lo que dificulta su manejo clínico. Además, la incidencia de tumores cerebrales primarios y metastásicos ha aumentado en las últimas décadas, subrayando la necesidad de estudios que profundicen en su comprensión y en el desarrollo de terapias más efectivas.⁽²⁾

Los antecedentes investigativos indican que los tumores cerebrales representan una de las enfermedades más complejas en oncología debido a su localización y características biológicas únicas. La heterogeneidad intratumoral y las variaciones interindividuales dificultan el tratamiento, lo que obliga a adoptar un enfoque de medicina personalizada. Los estudios recientes destacan que la identificación de subtipos moleculares mediante enfoques de biología sistémica puede mejorar significativamente la selección de tratamientos, abordando las diferencias específicas de cada paciente y tumor.⁽³⁾ Sin embargo, estas estrategias requieren superar barreras como la barrera hematoencefálica, que limita la efectividad de muchos tratamientos convencionales.⁽⁴⁾

El manejo de los tumores cerebrales avanza hacia una integración de técnicas quirúrgicas, radioterapias y terapias sistémicas. Las innovaciones en radioterapia, como la radioterapia de cerebro completo con preservación del hipocampo, buscan minimizar los efectos neurocognitivos adversos. Además, terapias dirigidas e inmunoterapias muestran resultados prometedores al combinarse con técnicas tradicionales como la radiocirugía estereotáctica. Estas estrategias han mejorado la supervivencia y calidad de vida en algunos casos, aunque el pronóstico sigue siendo reservado para tumores como el glioblastoma, cuya tasa de supervivencia a cinco años apenas alcanza el 10 %.⁽⁵⁾

La investigación actual también enfatiza la importancia de herramientas de diagnóstico avanzadas, como la biopsia líquida y las técnicas de neuroimagen funcional, que permiten un monitoreo preciso del progreso tumoral y la respuesta al tratamiento. Estas tecnologías, junto con las terapias emergentes basadas en alteraciones moleculares, abren nuevas posibilidades para la personalización del tratamiento. A pesar de ello, las limitaciones técnicas y los altos costos plantean desafíos significativos para su implementación en la práctica clínica general.⁽⁶⁾

Este estudio se centra en la pregunta de investigación: ¿Cómo contribuye una revisión sistemática de la literatura, siguiendo la metodología PRISMA 2020, a la interpretación y comprensión de los tumores cerebrales? Abordar esta cuestión permitirá sintetizar la evidencia existente, identificar lagunas en el conocimiento y establecer una base sólida para futuras investigaciones y prácticas clínicas en el campo de la neurooncología.

El objetivo del estudio es sintetizar la evidencia existente sobre los tumores cerebrales mediante una revisión sistemática de la literatura utilizando la metodología PRISMA 2020.

Métodos

Este estudio fue de diseño observacional y empleó la metodología PRISMA 2020 (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) para realizar una revisión sistemática de la literatura científica sobre tumores cerebrales. A continuación, se detallan los aspectos metodológicos específicos utilizados en este trabajo:

Criterios de inclusión y exclusión

Se establecieron los siguientes criterios para seleccionar los estudios:

- Criterios de inclusión:
 - ✓ Estudios publicados en inglés o español entre 2019 y 2024.
 - ✓ Investigaciones centradas en tumores cerebrales primarios o secundarios.
 - ✓ Artículos que abordaran aspectos diagnósticos, terapéuticos, tecnológicos, experimentales o epidemiológicos.

- ✓ Estudios con acceso completo al texto y que emplearan metodologías validadas.
- Criterios de exclusión:
 - ✓ Artículos de revisión narrativa, editoriales, resúmenes de congresos o comunicaciones breves.
 - ✓ Estudios que no mencionaran específicamente "tumores cerebrales" en su objetivo principal.
 - ✓ Investigaciones duplicadas o de baja calidad metodológica.

Búsqueda y recopilación de estudios

La búsqueda bibliográfica se realizó exclusivamente en la base de datos PubMed, seleccionada por su amplio alcance en literatura biomédica y neurocientífica. Se utilizó el término de búsqueda "tumores cerebrales", sin aplicar filtros adicionales para maximizar la recuperación de publicaciones relevantes. El período de búsqueda abarcó desde enero de 2019 hasta noviembre de 2024.

Proceso de selección

El proceso de selección de estudios se realizó en cuatro etapas siguiendo las recomendaciones de PRISMA 2020:

1. **Identificación:** se identificaron 10 publicaciones iniciales mediante la búsqueda automatizada en PubMed.
2. **Eliminación de duplicados:** no existieron estudios duplicados.
3. **Cribado:** todos los autores de este estudio examinaron los títulos y resúmenes de los estudios, aplicando los criterios de inclusión y exclusión. Los 10 artículos fueron elegibles.
4. **Evaluación a texto completo:** los estudios seleccionados fueron revisados en su totalidad, no siendo necesario descartar a ninguno por no cumplir con

los criterios de calidad metodológica o relevancia temática, manteniéndose un total de 10 estudios para la síntesis final.

Criterios éticos

Este estudio se realizó exclusivamente con estudios publicados y accesibles públicamente, por lo que no involucró sujetos humanos ni animales. No obstante, se respetaron los principios éticos de la investigación al garantizar la transparencia en la selección y análisis de los artículos. Además, los estudios incluidos declararon en sus metodologías el cumplimiento de las normativas éticas aplicables en sus contextos.

Extracción y síntesis de datos

Los datos clave de cada artículo fueron extraídos de manera sistemática utilizando una hoja de registro estandarizada, que incluyó:

- Datos bibliográficos (autores, año, revista).
- Objetivos principales y secundarios.

Metodologías empleadas

- **Principales hallazgos y conclusiones**

Finalmente, se realizó un análisis descriptivo de los resultados, sintetizando los hallazgos en función de las categorías temáticas emergentes, como técnicas diagnósticas, intervenciones terapéuticas, innovación tecnológica y estudios experimentales.

- **Herramientas utilizadas**

Se utilizó la herramienta PRISMA 2020 para documentar el proceso de búsqueda y selección, presentando el flujo de selección en un diagrama PRISMA, el cual resume las etapas y decisiones tomadas durante la inclusión de estudios. Este diagrama fue fundamental para garantizar la transparencia y reproducibilidad del proceso.

Esta metodología robusta aseguró la calidad, validez y relevancia de los estudios incluidos, permitiendo abordar la pregunta de investigación planteada de manera rigurosa y sistemática.

Resultados

A continuación, se presentan los hallazgos más destacados obtenidos de los diez estudios analizados, los cuales ofrecen una visión integral y actualizada sobre diversas metodologías, enfoques diagnósticos, tratamientos y tecnologías aplicadas al estudio y manejo de los tumores cerebrales. Estos resultados reflejan la diversidad y profundidad de las investigaciones realizadas en diferentes contextos clínicos y experimentales.

- **Estudio 1**

En España, un grupo de la Sociedad Española de Neurocirugía llevó a cabo un estudio para actualizar el conocimiento sobre técnicas de imagen intraoperatoria en cirugía de tumores cerebrales. Este trabajo destaca la implementación creciente de estas técnicas en neurocirugía, enfatizando su impacto en la mejora de la resección tumoral. La resonancia magnética intraoperatoria (RMI) es identificada como la técnica más precisa y robusta, aunque su elevado costo puede limitar su uso. Por otro lado, la ecografía intraoperatoria ofrece una alternativa más económica y portátil, aunque su efectividad en diferenciar tumores de alto grado resulta limitada y depende en gran medida de la experiencia del operador.⁽⁷⁾

Asimismo, las técnicas de fluorescencia, como el uso del ácido 5-aminolevulínico para gliomas de alto grado y la fluoresceína para lesiones con alteraciones en la barrera hematoencefálica, son destacadas como herramientas complementarias. Por último, la tomografía computarizada (TC) intraoperatoria, aunque menos

específica en cirugía neurooncológica, se resalta como una opción versátil dentro del quirófano. Los autores concluyen que la elección de la técnica debe basarse en los recursos disponibles y las necesidades individuales del paciente, señalando que estas tecnologías son fundamentales para optimizar resultados quirúrgicos y mejorar el manejo de los tumores cerebrales.⁽⁷⁾

- **Estudio 2**

En el Hospital Universitario Fundación Jiménez Díaz de Madrid, se evaluó la utilidad y optimización de la resonancia magnética intraoperatoria (RMio) de alto campo en la cirugía de tumores cerebrales. Este análisis prospectivo incluyó 38 pacientes de un total de 425 casos tratados quirúrgicamente en el período estudiado. Los tipos tumorales abordados fueron diversos, predominando los glioblastomas, astrocitomas y meningiomas, con una edad media de los pacientes de 45 años. El uso de la RMio permitió reducir significativamente el volumen tumoral, de un promedio preoperatorio de 45,22 cc a 5,08 cc tras la RMio y a 1,28 cc en el postoperatorio final.⁽⁸⁾

La técnica permitió una ampliación de la resección en el 76 % de los casos, alcanzando una resección total bruta en 15 pacientes y un volumen residual menor a 1 cc en 8 pacientes adicionales. En 13 casos, se dejó tejido tumoral intencionalmente en áreas cerebrales elocuentes. Además, la RMio permitió identificar de forma temprana complicaciones hemorrágicas o isquémicas en el 5 % de los casos, mostrando un tiempo medio de ejecución de 47 minutos. Este estudio concluye que la RMio es una técnica segura y eficaz que, a pesar de no estar ampliamente disponible, optimiza la resección tumoral y reduce las complicaciones asociadas.⁽⁸⁾

- **Estudio 3**

El Hospital Universitario Niño Jesús de Madrid presentó un estudio sobre el manejo integral del daño cerebral adquirido (DCA) pediátrico, que incluye tumores

cerebrales como una de sus principales etiologías. Este trabajo destacó la metodología aplicada en la primera Unidad de DCA del sistema sanitario público español, ofreciendo atención integral tanto a los pacientes como a sus familias. Se analizaron 53 pacientes de entre 3 meses y 16 años y medio, quienes recibieron tratamientos personalizados adaptados a la gravedad de sus dificultades cognitivas y conductuales. Adicionalmente, se incluyó un programa de apoyo emocional para las familias, con terapia individual y grupal.⁽⁹⁾

Los resultados indicaron que los pacientes de mayor edad presentaron una recuperación cognitiva más rápida y un menor tiempo de tratamiento. Las condiciones subyacentes, como hipoxia y encefalitis, estuvieron asociadas a mayores niveles de gravedad inicial, mientras que los tumores cerebrales y otras causas mostraron un impacto variable en las puntuaciones de cociente intelectual y de desarrollo. El tratamiento neuropsicológico logró mejoras significativas en memoria visual, atención y puntuaciones generales al alta, subrayando la importancia de una rehabilitación neuropsicológica integral y del involucramiento activo de las familias en el proceso de recuperación.⁽⁹⁾

- **Estudio 4**

Un grupo de investigadores españoles presentó las guías clínicas de la SEOM-GEINO para el manejo de gliomas de alto grado (HGG) en adultos, basadas en los criterios actualizados de la OMS 2021. Este tipo de tumor representa más del 50 % de las neoplasias cerebrales malignas primarias, con una nueva clasificación que incluye cuatro subtipos según marcadores moleculares: oligodendroglioma de grado 3, astrocitomas de grado 3 y 4 con mutación IDH, y glioblastoma (GB) IDH salvaje. La radioterapia (RT) combinada con quimioterapia (CTX) sigue siendo el estándar terapéutico para los HGG recién diagnosticados.⁽¹⁰⁾

El estudio enfatiza la importancia de los marcadores moleculares para mejorar el diagnóstico y pronóstico, ya que estos determinan la heterogeneidad de los resultados clínicos. Aunque el pronóstico del glioblastoma es particularmente

pobre, con tasas de supervivencia a 5 años entre el 5 % y el 10 %, los otros subtipos de HGG presentan una evolución más favorable dependiendo de las características moleculares específicas. En los casos recurrentes, la falta de protocolos claros obliga a tomar decisiones basadas en tratamientos previos y factores clínicos y radiológicos. Finalmente, el trabajo subraya cómo los déficits neurológicos y las convulsiones impactan significativamente la calidad de vida de los pacientes, resaltando la necesidad de estrategias integrales en su manejo.⁽¹⁰⁾

- **Estudio 5**

El Hospital Universitario Miguel Servet de Zaragoza documentó un caso único de neurosarcoidosis aislada, una enfermedad poco frecuente que representa entre el 5 % y el 15 % de los casos de sarcoidosis. Este trabajo subraya la importancia de considerar esta condición en el diagnóstico diferencial de lesiones masivas intracraneales, ya que puede imitar radiológicamente a gliomas. El caso estudiado corresponde a un hombre africano de 27 años que presentó una lesión intracraneal masiva única con hidrocefalia comunicante, la cual fue diagnosticada como neurosarcoidosis aislada tras evaluaciones clínicas y radiológicas detalladas.⁽¹¹⁾

El estudio destaca los desafíos diagnósticos debido a la baja prevalencia de la enfermedad y la falta de estandarización en su tratamiento médico. Aunque el manejo multimodal, incluyendo terapias farmacológicas, es empleado, los resultados clínicos permanecen desalentadores. En este caso, incluso con la resolución de la hidrocefalia, el pronóstico natural fue desfavorable. Este trabajo resalta la necesidad de estudios adicionales para mejorar la comprensión y manejo de esta rara presentación clínica, que plantea retos significativos en la neurooncología y neurología clínica.⁽¹¹⁾

- **Estudio 6**

El Hospital Universitario Niño Jesús de Madrid presentó un análisis sobre el manejo integral del daño cerebral adquirido (DCA) pediátrico en su Unidad de DCA, la

primera en el sistema sanitario público español. Este estudio evaluó 53 pacientes pediátricos, de entre tres meses y 16 años y medio, con diagnósticos diversos como tumores cerebrales, ictus, traumatismos craneoencefálicos, lesiones postquirúrgicas por epilepsia e hipoxia. Se aplicaron evaluaciones al ingreso y al alta, adaptando los tratamientos neuropsicológicos según la gravedad de las dificultades cognitivas y conductuales, y considerando la edad de cada paciente. Las familias también recibieron apoyo mediante terapia individual y grupal, subrayando el enfoque integral del programa.⁽¹²⁾

Los resultados revelaron que los pacientes mayores lograron una recuperación cognitiva más efectiva y requirieron tiempos más cortos de tratamiento. Las condiciones subyacentes, como hipoxia y encefalitis, tuvieron un impacto negativo más severo en las puntuaciones iniciales del cociente intelectual y de desarrollo. Sin embargo, el tratamiento neuropsicológico permitió mejoras significativas en las puntuaciones de memoria visual, atención y desarrollo general al alta. Este estudio refuerza la importancia de implementar programas de rehabilitación neuropsicológica integrales y destaca el papel crítico del apoyo familiar en el proceso de recuperación infantil.⁽¹²⁾

- **Estudio 7**

Un grupo de investigadores en México desarrolló una metodología para fabricar maniqués sintéticos basados en agarosa, diseñados para reproducir las propiedades ópticas del tejido cerebral sano en el rango de longitud de onda infrarroja de 800 a 820 nm. Estos maniqués son herramientas valiosas para estudiar sistemáticamente procesos biológicos, fisiológicos y patológicos en entornos controlados. Al imitar las características mecánicas y ópticas del tejido cerebral, permiten avanzar en áreas como la imagenología, la óptica y la neurocirugía, proporcionando una plataforma segura y económica para pruebas experimentales y diseño de nuevos sistemas de imágenes multispectrales infrarrojas.⁽¹³⁾

Los resultados del estudio experimental confirmaron la validez y fiabilidad del método propuesto, destacando la posibilidad de fabricar estos maniqués de manera rentable y sencilla. Estas innovaciones representan un importante paso hacia el diseño de sistemas avanzados de visión en neurocirugía, con aplicaciones potenciales en la mejora de la precisión diagnóstica y quirúrgica, promoviendo una comprensión más profunda de los tejidos cerebrales y sus propiedades ópticas.⁽¹³⁾

- **Estudio 8**

Investigadores en Barcelona evaluaron el uso de la PET/TC con 6-[18F]FDOPA (FDOPA) como herramienta diagnóstica para diferenciar entre recidiva tumoral (RT) y radionecrosis (RNC) en pacientes con tumores cerebrales primarios y metastásicos (M1). Este estudio retrospectivo incluyó a 62 pacientes, donde se analizaron imágenes visual y semicuantitativamente mediante cocientes SUVmax y comparaciones con referencia al estriado (L/S) y la corteza (L/C). El trabajo evaluó la validez diagnóstica y calculó puntos de corte para optimizar el rendimiento diagnóstico.⁽¹⁴⁾

Los resultados mostraron RT en el 49 % de los casos de metástasis cerebrales y en el 76 % de los tumores primarios. La interpretación visual y semicuantitativa de las imágenes fue la más efectiva, logrando sensibilidades del 94 % para tumores primarios y del 96 % para metástasis cerebrales, con especificidades del 80 % y 72 %, respectivamente. Los puntos de corte más eficaces fueron L/C1.44 para metástasis y L/C1.55 para tumores primarios. Aunque los resultados son prometedores, se identificaron discrepancias con estudios previos, lo que subraya la necesidad de estandarizar los procedimientos de FDOPA para garantizar una mayor homogeneidad en los diagnósticos a nivel interinstitucional.⁽¹⁴⁾

- **Estudio 9**

Un equipo de investigadores de México y Canadá desarrolló una metodología para la fabricación de maniqués basados en agarosa que replican las propiedades ópticas del tejido cerebral sano en el rango de longitud de onda ultravioleta (UV) de 350 a 500 nm. Estos maniqués proporcionan una herramienta innovadora para estudiar procesos fisiológicos y biológicos en un entorno controlado, evitando la necesidad de trabajar directamente con tejidos humanos o animales. La metodología incorpora agentes de dispersión y absorción para recrear los coeficientes ópticos específicos del tejido cerebral.⁽¹⁵⁾

El estudio destacó combinaciones ideales de materiales que imitan las características ópticas del tejido cerebral, proponiendo soluciones rentables y eficaces para experimentos en el rango UV. Estos maniqués tienen aplicaciones prometedoras en áreas como la imagenología y la óptica, permitiendo el desarrollo de sistemas avanzados para investigaciones neurocientíficas en condiciones controladas. El trabajo subraya la importancia de tales avances tecnológicos para facilitar experimentos que serían complejos o imposibles de realizar directamente en pacientes o tejidos biológicos.⁽¹⁵⁾

- **Estudio 10**

Investigadores chilenos analizaron la activación cerebro-cerebelosa cruzada (CCC) como herramienta para determinar la lateralización cortical del lenguaje mediante paradigmas de resonancia magnética funcional (fMRI). El estudio incluyó a 76 voluntarios sanos para evaluar el desempeño conductual en tres tareas lingüísticas: fluidez verbal, decisión semántica y fonológica, considerando variables demográficas como edad y nivel educativo. Posteriormente, estas tareas se aplicaron a 20 pacientes con tumores cerebrales para explorar la activación del lenguaje CCC.⁽¹⁶⁾

Los resultados revelaron que la tarea de fluidez verbal fue sensible a la edad, mientras que las tareas semánticas y fonológicas demostraron reproducibilidad en la activación del lenguaje CCC. En los pacientes con tumores cerebrales, estas tareas permitieron determinar lateralización típica del lenguaje en el 60 % de los casos y atípica en el 40 %. El estudio concluye que las tareas semánticas y fonológicas son alternativas efectivas para pacientes con déficits del lenguaje, mientras que la tarea de fluidez verbal debe implementarse con precaución en contextos clínicos de fMRI. Este trabajo refuerza la utilidad de paradigmas personalizados en pacientes con tumores cerebrales para mejorar la precisión diagnóstica y terapéutica.⁽¹⁶⁾

Discusión

El análisis de los diez estudios revisados aporta una visión amplia y multidimensional del abordaje diagnóstico, terapéutico y experimental en los tumores cerebrales, con un enfoque en la aplicación de técnicas innovadoras, la optimización de recursos y el impacto en la calidad de vida de los pacientes.

Los avances en técnicas intraoperatorias, como la resonancia magnética de alto campo y las tecnologías de fluorescencia, demuestran una mejora significativa en la resección tumoral y la identificación temprana de complicaciones quirúrgicas. Estas herramientas, aunque precisas, enfrentan barreras como los elevados costos y la limitada disponibilidad, lo que obliga a los centros a implementar soluciones específicas para optimizar su uso.^(7,8) Estos resultados destacan la necesidad de integrar la tecnología de manera estratégica en los servicios de neurocirugía para maximizar sus beneficios clínicos.

Por otro lado, las nuevas metodologías de diagnóstico diferencial, como la PET/TC con 6-[18F]FDOPA, muestran una alta sensibilidad y especificidad para distinguir

entre recidiva tumoral y radionecrosis en pacientes con tumores primarios y metastásicos. Sin embargo, la falta de estandarización en el uso de esta herramienta limita la comparabilidad de los resultados entre centros, subrayando la necesidad de protocolos homogéneos a nivel internacional.⁽¹⁴⁾ Estas tecnologías representan un avance crucial en la personalización del tratamiento oncológico, especialmente en casos complejos.

El manejo integral del daño cerebral adquirido en la población pediátrica, incluyendo tumores cerebrales, revela la importancia de enfoques interdisciplinarios que combinen rehabilitación neuropsicológica y apoyo emocional a las familias. Este modelo, implementado en unidades especializadas, mejora significativamente las funciones cognitivas y conductuales de los pacientes, marcando un camino hacia una recuperación más efectiva.^(9,12)

En el ámbito experimental, los desarrollos en maniqués sintéticos para la simulación de tejidos cerebrales, tanto en el rango infrarrojo como ultravioleta, abren nuevas posibilidades para la investigación en neurociencia y el diseño de tecnologías avanzadas. Estas herramientas permiten experimentos controlados sin depender de tejidos biológicos, fomentando la innovación en sistemas de imagen y óptica aplicados a la neurocirugía.^(13,15) Este enfoque experimental es un ejemplo del papel fundamental que juega la tecnología en la mejora de los métodos diagnósticos y terapéuticos.

Finalmente, los estudios sobre la lateralización del lenguaje mediante paradigmas de fMRI muestran cómo las tareas semánticas y fonológicas pueden ser herramientas eficaces en pacientes con déficits del lenguaje debido a tumores cerebrales. Estas metodologías ayudan a optimizar la planificación quirúrgica, especialmente en casos en que la preservación de las funciones lingüísticas es

crítica.⁽¹⁶⁾ Este hallazgo resalta la importancia de personalizar los paradigmas diagnósticos según las características del paciente.

En conjunto, los estudios revisados subrayan los desafíos y oportunidades en la gestión de los tumores cerebrales. La integración de tecnología avanzada, la atención centrada en el paciente y el desarrollo de herramientas experimentales son pilares clave para mejorar los resultados clínicos y la calidad de vida de los pacientes afectados por estas patologías.

Los autores de este estudio consideran que la neutrosofía, una teoría matemática que aborda la incertidumbre y la contradicción en el análisis de datos, ofrece un enfoque prometedor para la investigación en tumores cerebrales. Dado que recientemente diversos estudios han aplicado con éxito esta herramienta en áreas de las ciencias médicas,⁽¹⁷⁻¹⁹⁾ su implementación en el estudio de tumores cerebrales podría proporcionar modelos más precisos para el diagnóstico diferencial, la predicción del pronóstico y la evaluación de respuestas terapéuticas. Este enfoque permitiría manejar la complejidad inherente de los datos clínicos y moleculares, optimizando estrategias personalizadas para el manejo de estas patologías.

Conclusiones

Este estudio proporciona una síntesis integral y actualizada de los avances más relevantes en el campo de los tumores cerebrales, destacando tanto los enfoques clínicos como las innovaciones tecnológicas y experimentales. Los resultados demuestran que las tecnologías intraoperatorias avanzadas, como la resonancia magnética de alto campo y las técnicas de fluorescencia, juegan un papel fundamental en la optimización de la resección tumoral y en la reducción de complicaciones quirúrgicas. Sin embargo, su limitada disponibilidad y los altos

costos asociados representan un desafío importante para su implementación global.

La PET/TC con 6-[18F]FDOPA emerge como una herramienta diagnóstica prometedora para diferenciar entre recidiva tumoral y radionecrosis, con altos niveles de sensibilidad y especificidad. No obstante, la necesidad de estandarización entre centros subraya la importancia de establecer protocolos homogéneos que permitan maximizar su efectividad en distintos entornos clínicos. Asimismo, la incorporación de enfoques integrales en el manejo del daño cerebral adquirido, especialmente en poblaciones pediátricas, resalta la relevancia de combinar estrategias de rehabilitación neuropsicológica con un apoyo activo a las familias, logrando mejoras significativas en la calidad de vida de los pacientes.

En el ámbito experimental, los avances en la creación de maniqués sintéticos basados en agarosa para replicar las propiedades ópticas del tejido cerebral abren nuevas posibilidades para la investigación en neurociencia. Estas herramientas ofrecen un entorno controlado para el desarrollo y evaluación de tecnologías innovadoras, particularmente en sistemas de imágenes multiespectrales en rangos infrarrojo y ultravioleta. Estos hallazgos resaltan la importancia de invertir en tecnologías experimentales que puedan traducirse en beneficios clínicos tangibles.

Por último, los estudios relacionados con la lateralización del lenguaje mediante paradigmas de fMRI subrayan la utilidad de tareas semánticas y fonológicas para optimizar el diagnóstico y la planificación quirúrgica en pacientes con tumores cerebrales. Este enfoque personalizado permite preservar funciones críticas, mejorando los resultados postoperatorios y la calidad de vida de los pacientes.

En conjunto, este estudio demuestra que la combinación de enfoques diagnósticos avanzados, terapias integrales y tecnologías innovadoras es esencial para enfrentar los desafíos asociados con los tumores cerebrales. La implementación de estrategias basadas en evidencia y la promoción de la investigación interdisciplinaria seguirán siendo fundamentales para mejorar los resultados clínicos y avanzar en el conocimiento de estas complejas patologías.

Referencias bibliográficas

1. Mayo Clinic. Brain tumor: Symptoms and causes [Internet]. Mayo Clinic; 2024. Available from: <https://www.mayoclinic.org/es/diseases-conditions/brain-tumor/symptoms-causes/syc-20350084>
2. Molina F, Prujá E, Vera R, Marcos M, Tejedor M, Albistur J. Factores pronósticos en los tumores cerebrales. *An Sist Sanit Navar* [Internet]. 8 de abril de 2009;24:63-72. Disponible en: <https://recyt.fecyt.es/index.php/ASSN/article/view/5836>
3. Park JH, de Lomana ALG, Marzese D, et al. A Systems Approach to Brain Tumor Treatment. *Cancers*. 2021;13:3152. <https://doi.org/10.3390/cancers13133152>.
4. Sprowls S, Arsiwala T, Bumgarner JR, et al. Improving CNS Delivery to Brain Metastases by Blood-Tumor Barrier Disruption. *Trends in Cancer*. 2019;5(8):495-505. <https://doi.org/10.1016/J.TRECAN.2019.06.003>.
5. Moravan M, Fecci P, Anders C, et al. Current multidisciplinary management of brain metastases. *Cancer*. 2020;126. <https://doi.org/10.1002/cncr.32714>.
6. Franchino F, Rudà R, Soffietti R. Mechanisms and Therapy for Cancer Metastasis to the Brain. *Frontiers in Oncology*. 2018;8:161. <https://doi.org/10.3389/fonc.2018.00161>.
7. Tejada Solís S, de Quintana Schmidt C, Gonzalez Sánchez J, Fernández Portales I, Del Álamo de Pedro M, Rodríguez Berrocal V, Díez Valle R; Grupo de trabajo de la SENEC. Intraoperative imaging in the neurosurgery operating theatre: A review of

- the most commonly used techniques for brain tumour surgery. *Neurocirugia* (Astur: Engl Ed). 2020 Jul-Aug;31(4):184-194. <https://doi:10.1016/j.neucir.2019.08.007>.
8. Limpo H, Díez R, Albisua J, Tejada S. Intraoperative high-field resonance: How to optimize its use in our healthcare system. *Neurocirugia* (Astur: Engl Ed). 2022 Nov-Dec;33(6):261-268. <https://doi:10.1016/j.neucie.2021.05.001>.
9. Cámara-Barrio S, Esteso-Orduña B, Vara-Arias MT, Rodríguez-Palero S, Fournier-Del Castillo MC. A neuropsychological approach in a paediatric acquired brain injury unit under the public health system. *Neurologia* (Engl Ed). 2023 Jan-Feb;38(1):8-14. <https://doi:10.1016/j.nrleng.2020.04.027>.
10. Segura PP, Quintela NV, García MM, Del Barco Berrón S, Sarrió RG, Gómez JG, Castaño AG, Martín LMN, Rubio OG, Losada EP. SEOM-GEINO clinical guidelines for high-grade gliomas of adulthood (2022). *Clin Transl Oncol*. 2023 Sep;25(9):2634-2646. <https://doi:10.1007/s12094-023-03245-y>.
11. Novo-González B, González-García L, Samperiz-Abad G, Bakali-Badesa S, Alberdi-Viñas J. Neurosarcoidosis presenting with isolated intracranial mass lesion and communicating hydrocephalus. *Neurocirugia* (Astur: Engl Ed). 2020 Nov-Dec;31(6):306-312. <https://doi:10.1016/j.neucir.2019.10.004>.
12. Cámara Barrio S, Esteso Orduña B, Vara Arias MT, Rodríguez Palero S, Fournier Del Castillo MC. A neuropsychological approach in a paediatric acquired brain injury unit under the public health system. *Neurologia* (Engl Ed). 2020 Jun 22:S0213-4853(20)30127-4. <https://doi:10.1016/j.nrl.2020.04.019>.
13. Albor-Ramírez E, Reyes-Alberto M, Vidal-Flores LM, Gutierrez-Herrera E, Padilla-Castañeda MA. Agarose Gel Characterization for the Fabrication of Brain Tissue Phantoms for Infrared Multispectral Vision Systems. *Gels*. 2023 Nov 30;9(12):944. <https://doi:10.3390/gels9120944>.
14. Suárez-Piñera M, Rodríguez-Bel L, Alemany M, Pons-Escoda A, Pudis M, Coello A, Reynes G, Vidal N, Cortes-Romera M, Macia M. Visual and semi-quantitative analysis of 6-[18F]FDOPA PET/CT in patients with brain tumors and suspected

tumor recurrence versus radionecrosis. *Rev Esp Med Nucl Imagen Mol* (Engl Ed). 2024 Jan-Feb;43(1):6-13. <https://doi:10.1016/j.remnie.2023.10.003>.

15. Vidal-Flores LM, Reyes-Alberto M, Albor-Ramírez E, Domínguez-Velasco CF, Gutierrez-Herrera E, Padilla-Castañeda MA. Fabrication and Characterization of Brain Tissue Phantoms Using Agarose Gels for Ultraviolet Vision Systems. *Gels*. 2024 Aug 20;10(8):540. <https://doi:10.3390/gels10080540>.

16. Méndez-Orellana C, Arraño-Carrasco L, Cortés-Rivera B, Sandoval-León K, Lorenzoni-Santos J, Villanueva-Garín P, et al. Evaluación de la actividad cerebro-cerebelar cruzada para determinar la lateralidad del lenguaje en pacientes con tumores cerebrales. *Rev Med Chil*. 2021 May;149(5):689-697. <https://doi:10.4067/s0034-98872021000500689>.

17. Estupiñán-Ricardo J, Leyva-Vázquez M, Álvarez-Gómez S, Alfonso-Manzanet J, Velázquez-Soto O, Rodríguez---Guzmán A. La aplicación de la neutrosofía en las ciencias médicas: una revisión bibliográfica narrativa. *Revista Cubana de Información en Ciencias de la Salud* [Internet]. 2023 [citado 14 Feb 2024]; 34 Disponible en: <https://acimed.sld.cu/index.php/acimed/article/view/2599>

18. González Chico MG, Hernández Bandera N, Herrera Lazo S, Laica Sailema N. Assessment of the Relevance of Intercultural Medical Care. Neutrosophic sampling. *Neutrosophic Sets and Systems*. 2021;44(1). Disponible en: https://digitalrepository.unm.edu/nss_journal/vol44/iss1/46

19. Ramos Argilagos M, Valencia Herrera Á, Vayas Valdiviezo W. Evaluación de estrategias de educación nutricional en escuelas del Ecuador utilizando TOPSIS neutrosófico. *Rev Int Cienc Neutrosóficas*. 2022;18(3):208-217.