

Octubre 2025

Atlas de Imagen Médica

Editorial velseris



Salomme Castaño Cuartas
Jessica Alexandra Acosta Tenemaza



Atlas de Imagen Médica

Autores

Salomme Castaño Cuartas

Médica General Universidad del Sinú Elías Bechara Zainúm

Médica General IPS Salud Darién

Jessica Alexandra Acosta Tenemaza

Médico Universidad de Guayaquil

Especialista en Salud Ocupacional Puce Manabí

Médico en Funciones Hospitalarias Hospital de
Especialidades (IESS) José Carrasco Arteaga

Indice

Diagnóstico por Imágenes en Tumores Cerebrales5

Salomme Castaño Cuartas -----5

Neuroimagen en Patologías Vasculares.....26

Jessica Alexandra Acosta Tenemaza -----26

Diagnóstico por Imágenes en Tumores Cerebrales

Salomme Castaño Cuartas

Resumen

El abordaje diagnóstico de los tumores cerebrales ha experimentado una revolución gracias a los avances en neuroimagen. Este capítulo presenta una revisión exhaustiva y actualizada de las modalidades de imagenología, desde las técnicas convencionales hasta las más avanzadas, que son fundamentales en la detección, caracterización, planificación terapéutica y seguimiento de las neoplasias del sistema nervioso central (SNC). Se detallan los principios y la utilidad clínica de la Tomografía Computarizada (TC) y la Resonancia Magnética (RM) convencional. Se profundiza en las técnicas de RM avanzada, como la espectroscopia, la perfusión, la difusión y la tractografía, que ofrecen información fisiológica y metabólica crucial para una "biopsia no invasiva". Asimismo, se analiza el papel de la Tomografía por Emisión de Positrones (PET) con radiotrazadores específicos. El objetivo es proporcionar al clínico una guía sólida para la interpretación y la integración de estos estudios en la práctica neuro-oncológica, en línea con la Clasificación de Tumores del SNC de la OMS de 2021 que integra marcadores moleculares.

Palabras clave: Neuro-oncología, Tumores Cerebrales, Resonancia Magnética, Neuroimagen Avanzada, Diagnóstico por Imagen, PET Cerebral.

Introducción

Los tumores cerebrales comprenden un conjunto heterogéneo de neoplasias con una amplia variedad de

comportamientos biológicos y pronósticos. La sospecha clínica, basada en síntomas como cefalea, crisis convulsivas, o déficits neurológicos focales, requiere una confirmación y caracterización precisas que hoy en día dependen casi exclusivamente de las técnicas de neuroimagen. Estas no solo confirman la presencia de una lesión ocupante de espacio, sino que también proporcionan información vital sobre su localización, extensión, relación con estructuras elocuentes, y cada vez más, sobre su biología subyacente.

La era moderna del diagnóstico por imagen en neuro-oncología busca ir más allá de la simple anatomía. El objetivo es obtener datos que sugieran el tipo histológico y el grado de malignidad, y que ayuden a diferenciar el tumor de otras lesiones no neoplásicas (los llamados "tumor mimics"). La Clasificación de Tumores del Sistema Nervioso Central de la Organización Mundial de la Salud (OMS) de 2021 ha marcado un hito al incorporar marcadores moleculares como parte integral del diagnóstico (p. ej., el estado de IDH, la codeleción 1p/19q). Este cambio de paradigma exige que la radiología evolucione hacia una "radiogenómica", donde los hallazgos de imagen puedan predecir el perfil molecular del tumor, guiando así las decisiones terapéuticas de una manera más personalizada.

Este capítulo se estructura para guiar al lector desde los fundamentos de las técnicas de imagen convencionales hasta las aplicaciones de vanguardia que están redefiniendo el manejo del paciente neuro-oncológico.

Modalidades de Imagen de Primera Línea

Tomografía Computarizada (TC)

A pesar del dominio de la Resonancia Magnética, la TC sigue siendo una herramienta indispensable, especialmente en el escenario de urgencias, por su rapidez, accesibilidad y robustez.

- **Principios y Técnica:** La TC utiliza rayos X para crear imágenes transversales del cerebro. Las densidades de los tejidos se miden en Unidades Hounsfield (UH). El protocolo estándar incluye una adquisición sin

contraste (TC simple) y, si es necesario, una con contraste yodado intravenoso.

- **Aplicaciones Clínicas en Neuro-oncología:**
 - **Evaluación Inicial Urgente:** Es el estudio de elección ante un paciente con deterioro neurológico agudo para descartar hemorragia, hidrocefalia obstructiva o efecto de masa significativo.
 - **Detección de Hemorragia y Calcificaciones:** La TC simple es superior a la RM para detectar hemorragia aguda y calcificaciones intratumorales, las cuales son características de ciertas estirpes tumorales como los oligodendrogliomas, craneofaringiomas o meningiomas.
 - **Evaluación Ósea:** Proporciona una definición inigualable de la bóveda craneal, siendo clave para evaluar la destrucción o hiperostosis ósea asociada a metástasis o meningiomas.
 - **Guía para Procedimientos:** Se utiliza para la planificación de biopsias estereotácticas y la colocación de sistemas de derivación ventricular.
- **Limitaciones:** Su principal desventaja es la menor resolución de contraste para los tejidos blandos en comparación con la RM, lo que limita la delineación precisa del tumor y el edema perilesional. Además, el uso de radiación ionizante es una consideración importante, particularmente en pacientes pediátricos o en aquellos que requieren seguimientos frecuentes.

Resonancia Magnética (RM) Convencional

La RM es el estándar de oro para la evaluación de los tumores cerebrales. Su superior contraste entre tejidos blandos permite una caracterización anatómica detallada sin el uso de radiación ionizante.

- **Protocolo Básico para Tumor Cerebral:** Un protocolo estándar debe incluir:
 - **Imágenes ponderadas en T1 (T1W):** Útiles para la anatomía general. Los tumores suelen ser hipointensos o isointensos respecto a la sustancia gris. Son la base para las imágenes post-contraste.
 - **Imágenes ponderadas en T2 (T2W):** Altamente sensibles a la presencia de agua, por lo que tanto el tumor como el edema vasogénico asociado aparecen hiperintensos (brillantes).
 - **FLAIR (Fluid-Attenuated Inversion Recovery):** Es una secuencia T2 que anula la señal del líquido cefalorraquídeo (LCR). Es crucial para identificar lesiones periventriculares y corticales, y para diferenciar el edema peritumoral de los espacios con LCR. La infiltración tumoral no realzante a menudo es visible solo en T2/FLAIR.
 - **Imágenes ponderadas en Difusión (DWI):** Miden el movimiento browniano de las moléculas de agua. La restricción a la difusión (visto como hiperintensidad en DWI e hipointensidad en el mapa de Coeficiente de Difusión Aparente - ADC) indica alta celularidad, característico de tumores de alto grado, linfomas o abscesos.
 - **Imágenes Ponderadas en Susceptibilidad (SWI - Susceptibility Weighted Imaging):** Esta secuencia, o su predecesora, la Eco de Gradiente (GRE), es extremadamente sensible a las distorsiones del campo magnético local causadas por sustancias como los productos de degradación de la sangre (hemosiderina), la

hemorragia aguda (desoxihemoglobina) y el calcio. En SWI, estas sustancias aparecen marcadamente hipointensas (puntos o áreas negras). Su inclusión en el protocolo es fundamental para:

- **Detectar microhemorragias intratumorales:** Hallazgo clave en metástasis de ciertos tumores primarios (como melanoma, carcinoma de células renales o coriocarcinoma) y en gliomas de alto grado.
 - **Identificar calcificaciones:** Ayuda a caracterizar tumores como los oligodendrogliomas o los meningiomas.
 - **Evaluar la neoangiogénesis tumoral:** Permite visualizar la red venosa intratumoral prominente y tortuosa, característica de tumores de alto grado como el glioblastoma.
 - **Diferenciar sangre de realce post-contraste:** Al comparar las imágenes pre y post-contraste, la SWI ayuda a confirmar si un área es una hemorragia preexistente o un verdadero realce tumoral.
- **Imágenes T1 ponderadas post-administración de Gadolinio (T1W+C):** El gadolinio es un contraste que se extravasa en áreas donde la barrera hematoencefálica (BHE) está rota. El patrón y la intensidad del realce proporcionan pistas diagnósticas clave. Un realce anular grueso e irregular sugiere un glioma de alto grado (glioblastoma), mientras que un realce intenso y homogéneo es típico de un meningioma o un linfoma.

La combinación de estas secuencias permite formular un diagnóstico diferencial sólido, como se resume en la siguiente tabla.

Tabla 1. Hallazgos en RM Convencional de Tumores Cerebrales Frecuentes

Tipo de Tumor	Hallazgos en Secuencias de RM	Claves Diagnósticas y Características
Glioblastoma	• T1: Heterogéneo, hipointenso. • T2/FLAIR: Hiperintenso con extenso edema. • Realce: Anular, grueso e irregular con necrosis central.	• Cruza la línea media ("en mariposa"). • Alta celularidad (restricción en DWI). • Hemorragia frecuente.
Astrocitoma IDH-mutado (Bajo Grado)	• T1: Iso a hipointenso. • T2/FLAIR: Hiperintensidad homogénea y bien definida. • Realce: Mínimo o ausente.	• Aspecto infiltrativo, sin necrosis. • Sugestivo el "signo de T2/FLAIR mismatch".
Meningioma	• T1: Isointenso a la corteza. • T2/FLAIR: Iso a ligeramente hiperintenso. • Realce: Intenso y homogéneo.	• Origen extra-axial, base dural ancha. • Presencia de "cola dural". • Puede causar hiperostosis ósea.
Metástasis	• T1: Variable. • T2/FLAIR: Hiperintenso, con edema desproporcionado al tamaño de la lesión. • Realce: Nodular o anular, a menudo múltiples.	• Localización típica en unión cortico-subcortical. • Antecedente de cáncer primario conocido.
Linfoma Primario del SNC	• T1: Iso a hipointenso. • T2/FLAIR: Iso a hiperintenso. • Realce: Sólido, homogéneo e intenso.	• Contacto ependimario o periventricular. • Muy alta celularidad (marcada restricción en DWI).

Fuente: Adaptado de Smits, M. (2021). MRI-based grading of glioma: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet Oncology*, 22(5), e211-e223.

Técnicas de Imagen Avanzada: Hacia una Biopsia Virtual

Las secuencias convencionales, aunque potentes, a menudo no logran diferenciar entre tumores de grados distintos o entre la recurrencia tumoral y los cambios post-

tratamiento. Las técnicas avanzadas proporcionan información fisiológica y metabólica que subsana estas limitaciones. Espectroscopia por Resonancia Magnética (ERM)

La ERM es una técnica no invasiva que analiza la composición neuroquímica de un volumen de interés (voxel) en el cerebro. Mide las señales de metabolitos clave:

- **N-acetilaspártato (NAA):** Marcador de viabilidad e integridad neuronal. Disminuye drásticamente en los tumores.
- **Colina (Cho):** Refleja el recambio de membranas celulares. Se encuentra muy elevada en tumores debido a la alta proliferación.
- **Creatina (Cr):** Marcador de metabolismo energético, se usa como referencia interna.
- **Lípidos y Lactato:** Presentes en condiciones de necrosis y metabolismo anaeróbico, respectivamente. Su presencia sugiere alta malignidad.

El análisis de los cocientes (p. ej., un índice Cho/NAA elevado) es un potente indicador de malignidad y puede ayudar a diferenciar un glioma de alto grado de uno de bajo grado, o de una lesión no tumoral como un absceso (que mostraría aminoácidos como valina, leucina e isoleucina).

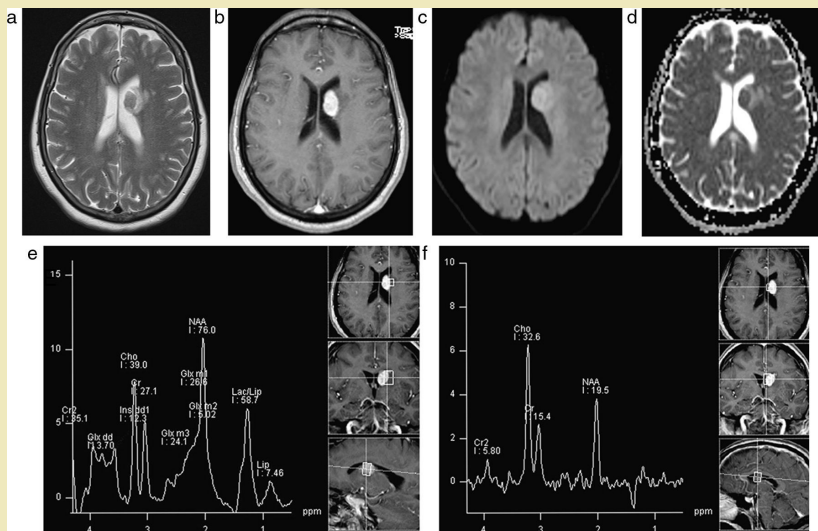


Figura 1. Biopsia virtual de un tumor cerebral de alto grado. La RM multimodal muestra el realce de la lesión (b) y su alta celularidad (restricción en c, d). La espectroscopia (e) confirma el perfil de malignidad con un pico elevado de Colina (Cho) y un descenso del N-acetilaspártato (NAA), en contraste con el espectro del tejido sano (f). **Fuente:** Migliaro, M., & Besada, C. (2014)

Perfusión por Resonancia Magnética (pRM)

La perfusión por RM evalúa la microvasculatura y la hemodinámica del tejido cerebral. La angiogénesis, o formación de nuevos vasos sanguíneos, es una característica fundamental de los tumores malignos.

- **Técnicas Principales:**

- **Contraste de Susceptibilidad Dinámica (DSC):** Mide la caída de señal durante el paso de un bolo de gadolinio para calcular mapas del Volumen Sanguíneo Cerebral (VSC). Un VSC elevado se correlaciona directamente con un mayor grado tumoral en gliomas. Es la técnica más utilizada para este fin.
- **Contraste Dinámico con Realce (DCE):** Evalúa la permeabilidad de la barrera hematoencefálica (medida por el parámetro Ktrans).

- **Aplicaciones Clínicas:**

- **Gradación Tumoral:** Diferenciar gliomas de alto grado (alto VSC) de los de bajo grado (bajo VSC).
- **Guía para Biopsia:** Identificar las áreas de mayor malignidad ("hot spots") dentro de un tumor heterogéneo para dirigir la toma de muestras.
- **Diferenciación entre Recurrencia y Radionecrosis:** Este es uno de sus usos más valiosos. La recurrencia tumoral presenta un VSC elevado debido a la neoangiogénesis, mientras que la radionecrosis (muerte de tejido por radiación) es un proceso avascular y muestra un VSC bajo.

Tabla 2. Diferenciación entre Recurrencia Tumoral y Radionecrosis mediante RM Multimodal

Característica	Recurrencia Tumoral	Radionecrosis
Realce (T1W+C)	Típicamente nodular, progresivo	Anular, irregular, a veces "en queso suizo"
Perfusión (VSC)	Elevado	Bajo o normal
Espectroscopia	Elevación de Colina (Cho), disminución de NAA	Ausencia de metabolitos o picos de lípidos/lactato
Difusión (ADC)	Típicamente bajo (alta celularidad)	Variable, a menudo alto
PET con Aminoácidos	Captación elevada (metabólicamente activo)	Captación baja (metabólicamente inactivo)

Fuente: Basado en los hallazgos de Shah, R., et al. (2022). A comprehensive review of advanced imaging in brain tumors. *Journal of Clinical Imaging Science*, 12, 34.

Si bien las técnicas avanzadas proporcionan datos cruciales para diferenciar la progresión tumoral de los efectos del tratamiento, la comunidad neuro-oncológica requiere un marco estandarizado para aplicar estos hallazgos de manera uniforme. Este es el papel de los criterios RANO.

Estandarización de la Evaluación: Criterios RANO (Response Assessment in Neuro-Oncology)

Los criterios RANO representan el estándar internacional para evaluar la respuesta al tratamiento en tumores cerebrales, especialmente en el contexto de ensayos clínicos, aunque su uso se ha extendido a la práctica diaria. Su objetivo es unificar la forma en que se define la progresión, la estabilidad y la respuesta tumoral, reduciendo la variabilidad entre observadores.

Los principios fundamentales de los criterios RANO para gliomas de alto grado incluyen:

- **Evaluación Multimodal:** La decisión no se basa únicamente en el realce de contraste. Se integra la

información de las secuencias T2/FLAIR (que reflejan la carga tumoral no realzante e infiltrativa), la aparición de nuevas lesiones y el estado clínico del paciente, incluyendo la dosis de corticoides que recibe.

- **Definición de Progresión:** La progresión se define por un aumento significativo ($\geq 25\%$) en el producto de los diámetros perpendiculares de las lesiones realzantes, un aumento notable en la lesión T2/FLAIR, o la aparición de cualquier nueva lesión.

Dentro de este marco, los criterios RANO reconocen dos fenómenos críticos que pueden simular una progresión y que son fundamentales para la correcta interpretación de las imágenes post-tratamiento:

1. **Pseudoprogresión:** Se refiere a un aumento transitorio del realce de contraste y de la alteración en T2/FLAIR que ocurre en los primeros meses tras la quimiorradioterapia. Este fenómeno no representa un crecimiento tumoral real, sino una reacción inflamatoria al tratamiento. Es indistinguible de una progresión verdadera en la RM convencional, por lo que las técnicas avanzadas (como la perfusión con VSC bajo o la ausencia de captación en PET con aminoácidos) son clave para su diagnóstico. Los criterios RANO recomiendan una reevaluación con un nuevo estudio de imagen en un corto plazo antes de cambiar un tratamiento potencialmente eficaz.
2. **Pseudorespuesta:** Ocurre típicamente con terapias anti-angiogénicas (p. ej., bevacizumab). Estas terapias "sellan" la barrera hematoencefálica, provocando una marcada disminución o desaparición del realce de contraste. Esto puede dar una falsa impresión de respuesta, mientras que la porción infiltrativa del tumor, visible en T2/FLAIR, puede seguir creciendo. Por ello, los criterios RANO insisten en la importancia de evaluar siempre la carga tumoral en T2/FLAIR.

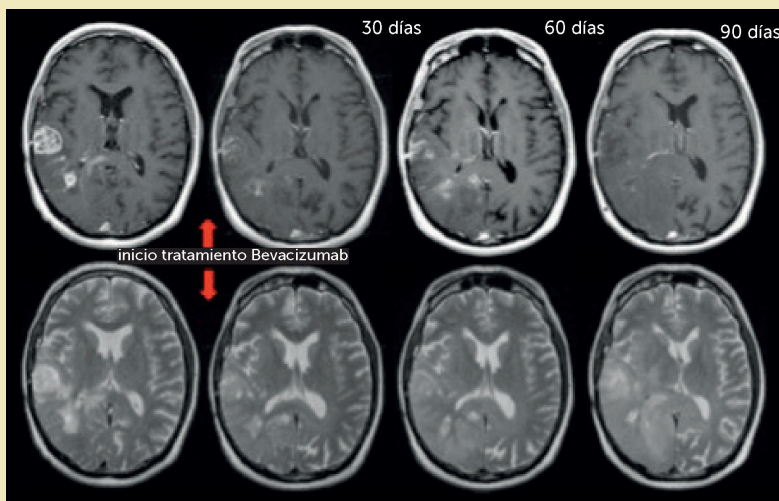


Figura 1. Pseudorespuesta a terapia anti-angiogénica. Seguimiento por RM que muestra la disociación característica de la pseudorespuesta en un paciente con glioblastoma. A pesar de la notable reducción del realce con contraste (T1, fila superior), se evidencia una progresión de la carga tumoral en la secuencia T2 (fila inferior) **Fuente:** Okuma C, Fernández R. Rev Med Clín Las Condes. 2017

La implementación de los criterios RANO es, por tanto, esencial para una correcta interpretación de las imágenes de seguimiento, evitando la interrupción prematura de terapias efectivas (en caso de pseudoprogresión) o la continuación de tratamientos ineficaces (en caso de pseudorespuesta).

Imagen por Tensor de Difusión (DTI) y Tractografía

La DTI es una técnica de RM avanzada que mide la direccionalidad del movimiento del agua a lo largo de los axones de la sustancia blanca. A partir de estos datos, se puede reconstruir en 3D la arquitectura de los principales fascículos cerebrales (tractografía).

- Aplicación Primordial: Planificación neuroquirúrgica. La tractografía permite al cirujano visualizar la relación espacial entre el tumor y los tractos de

sustancia blanca elocuentes (p. ej., el fascículo corticoespinal para la función motora, o el fascículo arqueado para el lenguaje). Esto es crucial para maximizar la resección tumoral minimizando el riesgo de déficit neurológico postoperatorio.

Medicina Nuclear: Tomografía por Emisión de Positrones (PET)

La PET proporciona información metabólica única que complementa los hallazgos anatómicos de la RM. Utiliza radiotrazadores que se acumulan en los tejidos según su actividad metabólica.

- **¹⁸F-FDG PET:** La Fluordesoxiglucosa (FDG) es un análogo de la glucosa. Los tumores con alto metabolismo, como los de alto grado, muestran una alta captación. Sin embargo, su utilidad en el cerebro es limitada porque la corteza cerebral normal también consume mucha glucosa, enmascarando la señal del tumor.
- **PET con Aminoácidos (¹⁸F-FET, ¹¹C-MET):** Estos son los radiotrazadores de elección en neuro-oncología. Los aminoácidos radiomarcados son transportados activamente al interior de las células tumorales, que tienen una alta tasa de síntesis proteica.
 - **Ventajas:** Ofrecen un contraste tumor/cerebro normal mucho mayor que la FDG.
 - **Aplicaciones:**
 1. **Delineación del Volumen Tumoral Biológico:** Es superior a la RM para definir la extensión real de un glioma infiltrativo, siendo una herramienta invaluable para la planificación de la radioterapia.
 2. **Diferenciación entre Recurrencia y Radionecrosis:** Al igual que la perfusión, una alta captación de aminoácidos es un fuerte indicador de recurrencia tumoral.

3. Evaluación de la Respuesta al Tratamiento:

Una disminución en la captación puede indicar una respuesta favorable antes de que se observen cambios en el tamaño del tumor en la RM.

Particularidades en Neuro-oncología Pediátrica: Un Espectro Tumoral Diferente

El abordaje diagnóstico de los tumores del SNC en la población pediátrica presenta desafíos y características únicas. A diferencia de los adultos, donde predominan las lesiones supratentoriales (como gliomas y metástasis), una gran proporción de los tumores pediátricos se localizan en la fosa posterior (infratentorial). Además, la estirpe histológica y molecular es distinta. A continuación, se describen los hallazgos de imagen de las neoplasias pediátricas más frecuentes.

1. Astrocitoma Pilocítico

Es el tumor cerebral primario más común en niños. Es una neoplasia de bajo grado (Grado 1 de la OMS), generalmente de crecimiento lento y con un pronóstico excelente tras la resección.

- **Localización Típica:** Fosa posterior (hemisferios cerebelosos), seguido de la región quiasmática/hipotalámica (glioma de la vía óptica), tálamo y tronco cerebral.
- **Características Clínicas:** Si es cerebeloso, causa síntomas de hipertensión intracraneal por hidrocefalia obstructiva (cefalea, vómitos) y ataxia. Si es de la vía óptica, provoca pérdida de visión y a menudo se asocia con Neurofibromatosis tipo 1 (NF1).
- Características en Neuroimagen (Claves Diagnósticas):
 - **Apariencia Clásica:** Lesión quística bien definida con un nódulo mural sólido que realza intensamente tras la administración de gadolinio. La pared del quiste puede o no realzar.

- **TC:** Lesión hipodensa (el quiste) con un nódulo isodenso que realza. Las calcificaciones son raras.
- **RM:** El contenido del quiste es hiperintenso en T2/FLAIR. El nódulo sólido es isointenso en T1 y T2 y muestra un realce ávido y homogéneo. Prácticamente no muestra restricción a la difusión.

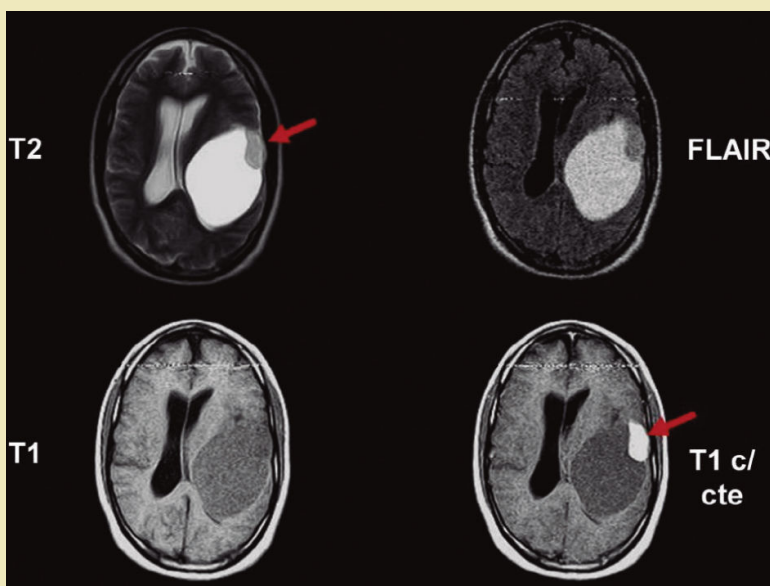


Figura 2. Astrocitoma Pilocítico. Resonancia Magnética (RM) cerebral en cortes axiales (T2, FLAIR, T1 simple y T1 post-contraste). Se identifica una lesión de morfología quística, hiperintensa en T2/FLAIR e hipointensa en T1. Asociado a la pared del quiste, se observa un nódulo mural sólido (flecha) que demuestra un realce intenso y homogéneo tras la administración de gadolinio. Estos hallazgos son la presentación característica de un astrocitoma pilocítico (OMS Grado 1). **Fuente:** Docampo J, González N, Muñoz A, Bruno C, Morales C. Rev Argent Radiol

2. Meduloblastoma

Es el tumor cerebral maligno más frecuente en la infancia. Es un tumor embrionario de alto grado (Grado 4 de la OMS) que se origina en el cerebelo y tiene una alta tendencia a diseminarse a través del líquido cefalorraquídeo (LCR).

- **Localización Típica:** Fosa posterior, originándose característicamente en el vermis cerebeloso y creciendo hacia el interior del cuarto ventrículo, causando hidrocefalia.
- **Edad de Presentación:** Pico entre los 5 y 7 años.
- **Características Clínicas:** Síndrome cerebeloso de línea media (ataxia troncal, inestabilidad para la marcha) y signos de hipertensión intracraneal.
- **Características en Neuroimagen (Claves Diagnósticas):**
 - **TC sin contraste:** Lesión espontáneamente hiperdensa en la línea media de la fosa posterior. Esta hiperdensidad se debe a su altísima celularidad y es un rasgo muy característico.
 - **RM:**
 - **T1:** Hipointenso respecto al parénquima cerebeloso.
 - **T2:** Variable, a menudo heterogéneo.
 - **DWI:** Muestra una marcada restricción a la difusión (hiperintenso en DWI, hipointenso en ADC) debido a su alta celularidad. Este es un hallazgo clave.

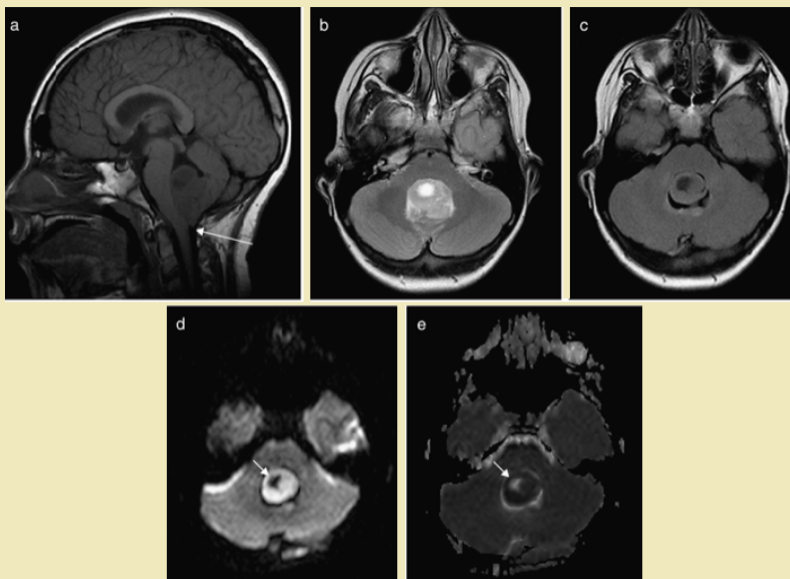


Figura 3. Medulloblastoma. Resonancia Magnética (RM) en cortes sagital (a) y axiales (b-e). Se observa una masa en la fosa posterior que ocupa el cuarto ventrículo y causa hidrocefalia obstructiva. La clave diagnóstica es la marcada restricción a la difusión, que se manifiesta como una señal hiperintensa en la secuencia de difusión (DWI, flecha en d) y una correspondiente hipointensidad en el mapa de ADC (flecha en e). Este hallazgo es un correlato de la alta celularidad del tumor y es característico del medulloblastoma (OMS Grado 4). **Fuente:** Martínez León MI. Radiología

- **T1+C:** Realce intenso pero a menudo heterogéneo.
- **Estudio Espinal:** Es mandatorio realizar una RM de todo el neuroeje (cerebro y médula espinal) para buscar metástasis leptomeningeas ("drop metastases"), que aparecen como nódulos realzantes en la superficie de la médula o las raíces de la cola de caballo.

3. Ependimoma

Se origina a partir de las células ependimarias que recubren los ventrículos y el canal central de la médula espinal. Su comportamiento puede ser de bajo o alto grado (Grado 2 o 3 de la OMS).

- **Localización Típica:** En niños, aproximadamente dos tercios se localizan en la fosa posterior, surgiendo del suelo del cuarto ventrículo.
- **Edad de Presentación:** Pico alrededor de los 5 años.
- **Características en Neuroimagen (Claves Diagnósticas):**
 - **Apariencia de "Tumor Plástico":** Tiende a ser un tumor blando que se amolda a las estructuras adyacentes, extruyéndose a través de los forámenes de Luschka y Magendie.
 - **TC:** Lesión isodensa que puede contener calcificaciones (hasta en un 50% de los casos) y áreas quísticas o hemorrágicas.
 - **RM:** Heterogéneo en todas las secuencias. El realce post-contraste es intenso pero también heterogéneo. La presencia de focos de hemosiderina (puntos negros en secuencias T2*/SWI) es común.

4. Craneofaringioma

Es un tumor benigno (Grado 1 de la OMS) de origen epitelial que surge de restos de la bolsa de Rathke. A pesar de su benignidad histológica, su comportamiento es localmente agresivo por su adherencia a estructuras vitales como el quiasma óptico, el hipotálamo y los vasos del polígono de Willis.

- **Localización Típica:** Región supraselar.
- **Edad de Presentación:** Tiene una distribución bimodal, con un pico en la infancia (5-15 años) y otro en la edad adulta.
- **Características Clínicas:** Disfunción endocrina (retraso del crecimiento), alteraciones visuales (hemianopsia bitemporal por compresión del quiasma) y cefalea.
- **Características en Neuroimagen (Claves Diagnósticas):**

- **Componentes Mixtos:** Es una lesión típicamente multicomponente: sólida, quística y calcificada.
- **TC:** La TC sin contraste es excelente para detectar las calcificaciones, que son su sello distintivo y están presentes en más del 90% de los casos pediátricos.
- **RM:**
 - Los quistes a menudo son hiperintensos en T1 debido a su alto contenido en proteínas, colesterol y/o hemorragia ("aceite de motor").
 - La porción sólida muestra un realce intenso tras la administración de gadolinio.

Tabla Resumen: Claves Diagnósticas en Tumores Pediátricos Frecuentes

Tipo de Tumor	Localización Más Común	Característica Clave en Imagen	Comportamiento / Grado OMS
Astrocitoma Pilocítico	Cerebelo	Lesión quística con nódulo mural que realza intensamente.	Benigno (Grado 1)
Meduloblastoma	Vermis Cerebeloso / 4º Ventrículo	Hiperdenso en TC, marcada restricción en DWI por alta celularidad.	Maligno (Grado 4)
Ependimoma	Suelo del 4º Ventrículo	Tumor "plástico" que se extiende por los forámenes. Heterogéneo con calcificaciones.	Variable (Grado 2 o 3)
Craneofaringioma	Supraselar	Lesión mixta con calcificaciones masivas, quistes y realce sólido.	Benigno (Grado 1)

El Futuro: Radiómica e Inteligencia Artificial

El campo de la neuroimagen oncológica se dirige hacia un análisis más cuantitativo y automatizado.

- **Radiómica:** Consiste en la extracción de una gran cantidad de características cuantitativas de las imágenes médicas utilizando algoritmos computacionales. Estas "firmas radiómicas" pueden analizar texturas, formas e intensidades que no son perceptibles al ojo humano. El objetivo es correlacionar estas firmas con el genotipo del tumor (p. ej., predecir el estado de IDH a partir de la RM), el pronóstico del paciente y la respuesta al tratamiento.
- **Inteligencia Artificial (IA) y Aprendizaje Profundo (Deep Learning):** Los algoritmos de IA están siendo entrenados para realizar tareas como:
 - **Segmentación automática de tumores:** Delinear el volumen del tumor y el edema de forma rápida y reproducible.
 - **Clasificación y gradación tumoral:** Asistir al radiólogo en el diagnóstico diferencial.
 - Predicción de supervivencia y respuesta terapéutica a partir de los datos de imagen iniciales.

Estas tecnologías prometen mejorar la precisión, la eficiencia y el valor pronóstico del diagnóstico por imágenes, acercándonos cada vez más a una medicina verdaderamente personalizada.

Conclusiones

El diagnóstico por imágenes en tumores cerebrales es un campo dinámico y en constante evolución. El abordaje actual es multimodal, integrando la información anatómica de la RM convencional con los datos fisiológicos y metabólicos de las técnicas avanzadas de RM y PET. Esta sinergia permite no solo un diagnóstico más preciso y una

mejor planificación quirúrgica y de radioterapia, sino también una evaluación más fiable de la respuesta al tratamiento, ayudando a resolver dilemas clínicos como la diferenciación entre recurrencia y radionecrosis. La incorporación de la inteligencia artificial y la radiómica en la práctica clínica es el siguiente paso lógico, prometiendo descifrar la complejidad de los tumores cerebrales de una forma no invasiva y abriendo nuevas fronteras en la neuro-oncología.

Bibliografía

1. Louis, D. N., Perry, A., Wesseling, P., Brat, D. J., Cree, I. A., Figarella-Branger, D., ... & von Deimling, A. (2021). The 2021 WHO Classification of Tumors of the Central Nervous System: a summary. *Neuro-oncology*, 23(8), 1231–1251.
2. Goyal, A., Goel, G., Singh, P., & Singh, K. (2023). Advanced MRI Techniques in the Evaluation of Brain Tumors. *Cureus*, 15(3), e36384.
3. Shah, R., Vadiya, S., Raja, A., Soni, N., & Suthar, M. (2022). A comprehensive review of advanced imaging in brain tumors. *Journal of Clinical Imaging Science*, 12, 34.
4. Smits, M. (2021). MRI-based grading of glioma: a systematic review and meta-analysis. *The Lancet Oncology*, 22(5), e211–e223.
5. Ellingson, B. M., Bendszus, M., Boxerman, J., Barboriak, D., Erickson, B. J., Ready, T., ... & Wen, P. Y. (2020). Consensus recommendations for a standardized brain tumor imaging protocol in clinical trials. *Neuro-oncology*, 22(8), 1083–1097.
6. Zadeh, G., et al. (2022). Radiomics and machine learning in neuro-oncology. *Nature Reviews Neurology*, 18(7), 455–472.

7. Galldiks, N., & Albert, N. L. (2022). PET Imaging in Patients with Brain Tumors. *Seminars in Nuclear Medicine*, 52(5), 623-635.
8. Artzi, M., Bressler, I., Ben-Bashat, D., & Liberman, G. (2020). Distinguishing between brain tumor progression and pseudo-progression using a deep learning-based approach. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 52(1), 248-257.
9. Law, M., Young, R. J., & Babb, J. S. (2020). Gliomas: predicting time to progression or survival with cerebral blood volume measurements at perfusion-weighted MR imaging. *Radiology*, 294(3), 639-646.
10. Wen, P. Y., Chang, S. M., Van den Bent, M. J., Vogelbaum, M. A., Macdonald, D. R., & Lee, E. Q. (2017). Response Assessment in Neuro-Oncology Clinical Trials. *Journal of Clinical Oncology*, 35(21), 2439-2449.
11. Pasquini, L., Rossi-Espagnet, C., & Napolitano, A. (2022). The radiogenomics of adult diffuse glioma: a review of the state of the art, controversies, and future directions. *Journal of Neuroradiology*, 49(3), 205-217.
12. Villanueva-Meyer, J. E., & Mabray, M. C. (2020). The role of amino acid PET in the management of gliomas. *Current Opinion in Neurology*, 33(6), 707-715.
13. Thust, S. C., van den Bent, M. J., & Smits, M. (2018). Pseudoprogression of brain tumors. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 48(3), 571-589.

Neuroimagen en Patologías Vasculares

Jessica Alexandra Acosta Tenemaza

Resumen

La neuroimagen es el pilar fundamental en el diagnóstico, manejo y pronóstico de las patologías vasculares del sistema nervioso central (SNC). Este capítulo ofrece una revisión integral y actualizada de las principales modalidades de imagen, desde las técnicas convencionales hasta los avances más recientes. Se discuten en detalle los fundamentos físicos y las aplicaciones clínicas de la Tomografía Computarizada y la Resonancia Magnética en sus múltiples variantes. Se realiza una inmersión profunda en los protocolos de imagen en el accidente cerebrovascular (ACV) isquémico agudo, la hemorragia cerebral, la trombosis venosa y otras vasculopatías como malformaciones y aneurismas. Se enfatiza el concepto de "imagen fisiológica" para guiar decisiones terapéuticas complejas, como la selección de pacientes para trombectomía mecánica en ventanas extendidas, basándose en la evidencia de ensayos clínicos pivotaes. Finalmente, se exploran las fronteras emergentes, incluyendo la inteligencia artificial, la imagen de pared vascular y la radiómica, que prometen revolucionar nuestra comprensión y manejo de estas devastadoras enfermedades.

Palabras Clave

Neuroimagen, Accidente Cerebrovascular, Angiografía por Tomografía Computarizada, Resonancia Magnética, Angiografía por Sustracción Digital, Perfusión Cerebral, Hemorragia Cerebral, Imagen de Pared Vascular, Trombosis Venosa Cerebral.

Introducción

Las enfermedades cerebrovasculares, un conjunto heterogéneo de patologías que afectan la irrigación del sistema nervioso central, constituyen una epidemia global y una de las principales causas de mortalidad y discapacidad a largo plazo. Según la Organización Mundial de la Salud, el ACV es la segunda causa de muerte y la tercera de discapacidad en el mundo. Su impacto se extiende más allá de la estadística, lo cual deja secuelas físicas, cognitivas y emocionales devastadoras en pacientes y familias. En este contexto de alta prevalencia y severidad, la neuroimagen ha emergido como la disciplina más influyente en la neurología vascular moderna.

Históricamente, el diagnóstico del ACV era puramente clínico. La llegada de la Tomografía Computarizada (TC) en la década de 1970 supuso la primera gran revolución, permitiendo por primera vez diferenciar de forma rápida y fiable entre un evento isquémico y uno hemorrágico, una distinción con implicaciones terapéuticas diametralmente opuestas. La posterior incorporación de la Resonancia Magnética (RM) refinó esta capacidad, ofreciendo una sensibilidad sin precedentes para detectar cambios isquémicos en cuestión de minutos.

No obstante, la transformación más profunda ha tenido lugar en las últimas dos décadas. El adagio 'tiempo es cerebro', que enfatiza la celeridad en la atención, ha sido complementado –y en ciertos escenarios, superado– por el paradigma de 'fisiología es cerebro'. La neuroimagen moderna trasciende la mera descripción anatómica de la lesión; su poder reside en la capacidad de mapear la fisiología y viabilidad del tejido. Técnicas avanzadas como la perfusión y la difusión permiten cuantificar con precisión el núcleo del infarto (tejido irrecuperable) y la penumbra isquémica (tejido en riesgo pero potencialmente salvable). Esta distinción fisiopatológica ha sido clave para extender la ventana terapéutica de la trombectomía mecánica de 6 hasta 24 horas, un avance consolidado por ensayos como DAWN y DEFUSE 3 que ha cambiado radicalmente el pronóstico de miles de pacientes.

Este capítulo tiene como objetivo proporcionar una guía exhaustiva y actualizada para el clínico. Iniciaremos con una discusión detallada de los fundamentos físicos y técnicos de las principales modalidades de imagen. Posteriormente, se abordará su aplicación sistemática en el ACV isquémico agudo, desde la fase hiperaguda hasta la evaluación de sus complicaciones. Se dedicarán secciones específicas a la hemorragia intraparenquimatosa y subaracnoidea, la trombosis venosa cerebral, y el diagnóstico y seguimiento de otras patologías vasculares estructurales como aneurismas y malformaciones. Finalmente, exploraremos el horizonte futuro, donde la inteligencia artificial y las técnicas de imagen a nivel de la pared vascular prometen llevar la medicina de precisión a un nuevo estándar en la neurología vascular.

Fundamentos de las Modalidades de Neuroimagen

La elección de la modalidad de imagen es una decisión clínica estratégica que depende de la estabilidad del paciente, la sospecha diagnóstica, la pregunta clínica a responder y los recursos disponibles.

Tomografía Computarizada (TC)

Basada en la atenuación diferencial de los rayos X por los tejidos, la TC sigue siendo el caballo de batalla en la neuroimagen de urgencia.

- **TC sin Contraste (TCSC):** Es el examen inicial por antonomasia en el código ACV. Su principal misión es descartar la presencia de sangre, que aparece espontáneamente hiperdensa (brillante) en las primeras 48-72 horas. Además, un radiólogo experto puede identificar signos precoces de isquemia:
 - **Signo de la arteria cerebral media (ACM) hiperdensa:** Visualización directa del trombo en el interior de la arteria. Tiene una alta especificidad pero baja sensibilidad.
 - **Pérdida de la diferenciación cortico-subcortical:** Borramiento de la distinción entre

sustancia gris y blanca por el incipiente edema citotóxico.

- **Hipoatenuación del parénquima:** Oscurecimiento del tejido afectado.
- **Borramiento de surcos corticales:** Por el efecto de masa del edema. Para estandarizar la evaluación de estos signos, se utiliza la escala ASPECTS (Alberta Stroke Program Early CT Score), que divide el territorio de la ACM en 10 áreas. Se resta un punto por cada área con cambios isquémicos tempranos. Un ASPECTS bajo (ej. < 6) se asocia a un mayor infarto establecido y a un peor pronóstico, pudiendo contraindicar ciertas terapias.
- **Angiografía por TC (ATC):** Es una adquisición helicoidal rápida durante la inyección intravenosa de un bolo de contraste yodado. Los protocolos modernos (ATC multifase) no solo muestran la anatomía vascular y el punto de oclusión, sino que también ofrecen una evaluación cualitativa de la circulación colateral. Una buena red de colaterales, que permite el llenado retrógrado de los vasos distales a la oclusión, es un potente predictor de un crecimiento más lento del infarto y de un mejor resultado funcional.
- **Perfusión por TC (PTC):** Esta técnica va un paso más allá de la anatomía, adentrándose en la fisiología. Tras la inyección de contraste, se realizan adquisiciones seriadas sobre un mismo corte cerebral para monitorizar el paso del contraste a través del tejido. Mediante complejos algoritmos de deconvolución, un software de post-procesado genera mapas paramétricos:
 - **Flujo Sanguíneo Cerebral (FSC):** Mide el volumen de sangre que irriga una masa de tejido por minuto (ml/100g/min).

- **Volumen Sanguíneo Cerebral (VSC):** Representa el volumen total de sangre en una región (ml/100g). Es el parámetro más robusto para definir el núcleo isquémico, ya que un tejido con VSC marcadamente reducido es considerado irrecuperable.
- **Tiempo de Tránsito Medio (TTM) y Tiempo al Pico (TTP):** Miden el tiempo que tarda la sangre en atravesar el tejido. Un TTM o TTP prolongado define el área total de hipoperfusión. El mismatch o discordancia se define como la diferencia entre el área total de hipoperfusión (TTM/TTP anormal) y el núcleo del infarto (VSC/FSC severamente reducido). Esta diferencia representa la penumbra isquémica.

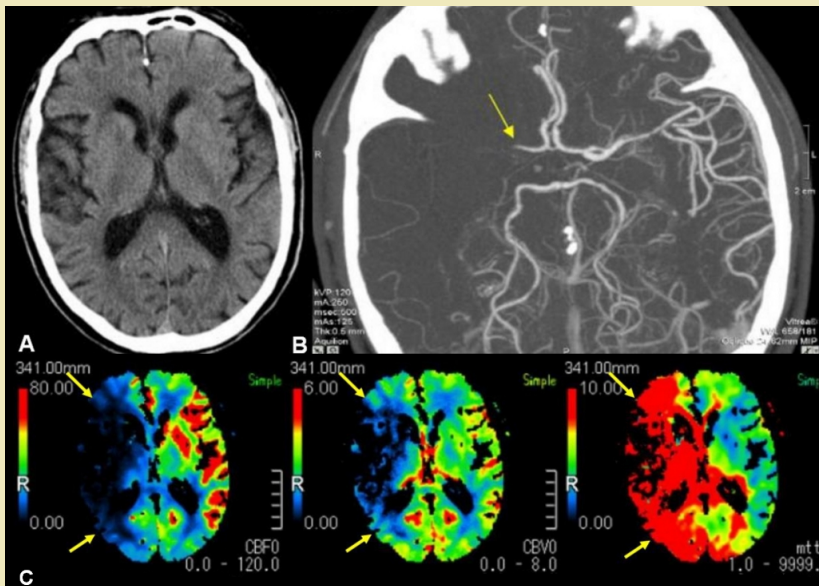


Figura 1. Identificación de la penumbra isquémica. Tras confirmar la oclusión de la ACM (B), los mapas de perfusión (C) revelan la penumbra como el mismatch entre un núcleo isquémico pequeño (bajo volumen sanguíneo) y una extensa área en riesgo (tiempo de tránsito prolongado). **Fuente:** Martínez León MI, et al. SERAM 2012

Resonancia Magnética (RM)

La RM utiliza potentes campos magnéticos y pulsos de radiofrecuencia para generar imágenes de altísima resolución, sin radiación ionizante. Es la técnica más sensible para la detección de patología isquémica y para la caracterización tisular.

- **Secuencia de Difusión (DWI):** Es la piedra angular del protocolo de RM de ACV. Detecta el movimiento browniano de las moléculas de agua. En un ACV hiperagudo, el fallo de la bomba Na^+/K^+ ATPasa provoca edema citotóxico (el agua se desplaza al interior de las células). Este hinchamiento celular restringe el movimiento de las moléculas de agua, lo que se traduce en una señal hiperintensa (brillante) en DWI. Esta alteración es visible a los pocos minutos del inicio de la isquemia. Para confirmar que esta hipersignal es real y no un artefacto ("T2 shine-through"), se debe corroborar con una señal hipointensa (oscura) en el mapa de Coeficiente de Difusión Aparente (ADC). La lesión visible en DWI/ADC se correlaciona de forma muy precisa con el núcleo del infarto.
- **Secuencias T2 y FLAIR (Fluid Attenuated Inversion Recovery):** Estas secuencias son sensibles al edema vasogénico y citotóxico, mostrando los infartos como áreas hiperintensas. El FLAIR es superior al T2 convencional al suprimir la señal del líquido cefalorraquídeo (LCR), lo que facilita la visualización de lesiones periventriculares y corticales. El concepto de mismatch DWI-FLAIR, donde una lesión es visible en DWI pero no (o apenas) en FLAIR, sugiere que el infarto ha ocurrido en las últimas 4.5 horas, siendo un criterio de imagen útil para administrar fibrinolíticos en pacientes con un tiempo de inicio desconocido ("wake-up stroke").
- **Secuencias Ponderadas en Susceptibilidad Magnética (SWI):** Esta secuencia es exquisitamente sensible a los productos de la degradación de la hemoglobina y al calcio. Es fundamental para detectar

microhemorragias cerebrales (asociadas a angiopatía amiloide o hipertensiva), hemorragia subaracnoidea cortical, y para caracterizar malformaciones cavernosas. En el contexto agudo, puede mostrar el trombo como una hipointensidad marcada dentro del vaso ocluido (el "signo del vaso susceptible").

- **Perfusión por RM (PRM):** Análoga a la PTC, evalúa la hemodinámica cerebral. La técnica más común es la DSC (Dynamic Susceptibility Contrast), que sigue el paso de un bolo de gadolinio y genera mapas de FSC, VSC y TTM/TTP. El mismatch DWI-PWI es el equivalente en RM al mismatch de perfusión en TC, y representa la penumbra isquémica como la diferencia entre el área de hipoperfusión (PWI) y el núcleo del infarto (DWI). Una técnica alternativa, ASL (Arterial Spin Labeling), no requiere contraste, ya que utiliza el agua de la propia sangre arterial como trazador endógeno.

Angiografía por Sustracción Digital (ASD)

Considerada el estándar de oro para la evaluación vascular, la ASD es un procedimiento invasivo que ofrece una resolución espacial y temporal inigualable. Permite visualizar el flujo sanguíneo en tiempo real, caracterizar la angioarquitectura precisa de aneurismas y malformaciones, y evaluar la dinámica del flujo colateral. Su principal ventaja es su capacidad simultáneamente diagnóstica y terapéutica, ya que permite realizar la trombectomía mecánica, la embolización de aneurismas o la oclusión de MAVs en el mismo acto.

Consideraciones Prácticas, Protocolos y Seguridad

La eficacia de la neuroimagen vascular no solo depende de la tecnología, sino también de su implementación rápida, protocolizada y segura.

- **Protocolos "Código Ictus":** El éxito en la fase aguda se basa en un protocolo de imagen preestablecido y optimizado para la velocidad. La mayoría de los centros establecen un "Código Ictus" que típicamente

incluye una TC sin contraste + Angio-TC (craneal y de troncos supraaórticos) como primer paso. Este enfoque "un-dos" permite en menos de 10 minutos excluir una hemorragia, evaluar signos isquémicos tempranos (ASPECTS) e identificar una oclusión de gran vaso, activando así al equipo de terapia endovascular. La adición de la perfusión por TC se reserva para pacientes en ventanas extendidas o con tiempo de evolución incierto.

- **El Rol Complementario del Ultrasonido:** Aunque este capítulo se centra en TC y RM, es crucial mencionar el papel del ultrasonido Doppler. El estudio de los troncos supraaórticos es fundamental en el work-up etiológico para detectar estenosis carotídea, y el Doppler transcraneal es una herramienta no invasiva y a pie de cama invaluable para monitorizar el vasoespasmo en la HSA o la recanalización de un vaso tras la fibrinólisis.
- **Seguridad y Manejo de Medios de Contraste:**
 - **Contraste Yodado (TC):** El principal riesgo es la nefropatía inducida por contraste, especialmente en pacientes con función renal previamente alterada. Es imperativo conocer la creatinina del paciente, aunque en la emergencia del ictus el beneficio de la imagen suele superar el riesgo.
 - **Contraste de Gadolinio (RM):** Aunque generalmente muy seguro, en pacientes con insuficiencia renal grave existe un riesgo (hoy muy bajo con los agentes modernos) de fibrosis sistémica nefrogénica. También se ha generado debate sobre los depósitos de gadolinio a largo plazo en el cerebro.

Aplicaciones Clínicas en el ACV Isquémico Agudo

El protocolo de imagen en el ACV agudo es una carrera contra el tiempo, pero guiada por la precisión.

Tabla 1. Comparativa de Modalidades de Neuroimagen en el ACV Isquémico Agudo

Modalidad	Objetivo Clínico Primario	Ventajas Clave	Limitaciones Principales
TC sin Contraste	1. Descartar hemorragia. 2. Identificar signos isquémicos tempranos (Score ASPECTS).	• Universal y ultrarrápida • Bajo costo • Primera línea indiscutible	• Baja sensibilidad para isquemia en las primeras horas.
Angio-TC (ATC)	Identificar oclusión de gran vaso (OGV) y evaluar la calidad de la circulación colateral.	• Rápida y de alta resolución • Se realiza junto a la TCSC • Esencial para decidir trombectomía	• Usa radiación ionizante • Riesgo de nefropatía por contraste y alergias.
Perfusión por TC (PTC)	Cuantificar el tejido salvable (penumbra) vs. el tejido ya infartado (núcleo isquémico).	• Guía para trombectomía en ventana extendida (hasta 24h) • Aporta información fisiológica	• Mayor dosis de radiación y contraste • Requiere software de post-procesado.
RM (DWI/ADC)	Detectar con máxima precisión la isquemia aguda (núcleo del infarto) a los pocos minutos del inicio.	• Máxima sensibilidad y especificidad • Sin radiación ionizante • Estándar de oro para diagnóstico de isquemia	• Menor disponibilidad y más lenta • Contraindicaciones (marcapasos, implantes metálicos) • Agitación del paciente.
Perfusión por RM (PRM)	Definir la penumbra isquémica (equivalente a la PTC) usando el mismatch DWI/PWI.	• Alta calidad de imagen • Se adquiere en la misma sesión que la DWI • No usa radiación ionizante	• Requiere contraste (gadolinio) • Susceptible a artefactos de movimiento.

Fuente: Elaboración propia, basado en las guías de manejo de ictus de la AHA/ASA (Powers et al., 2019).

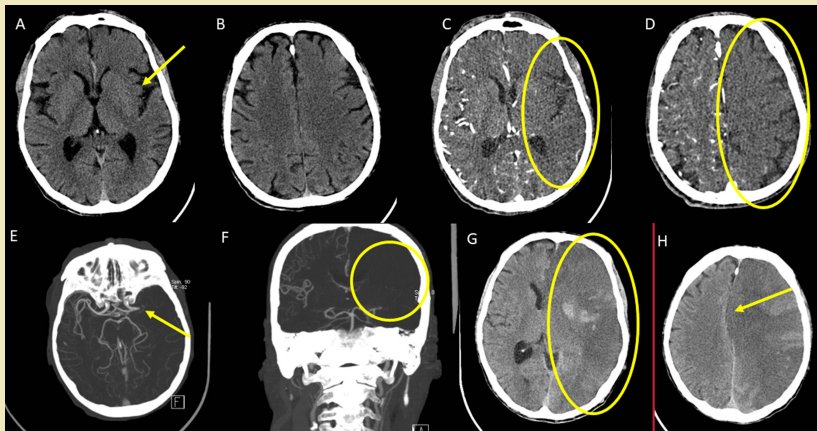


Figura 2. Protocolo de imagen en ictus isquémico agudo. La TC sin contraste (A) muestra signos precoces. La Angio-TC (E) confirma la oclusión de la arteria cerebral media (ACM), con una extensa penumbra en la perfusión (C). La TC de control (H) evidencia el infarto establecido. **Fuente:** Grau García M, et al. Radiología. 2023

La evidencia de los ensayos clínicos ha consolidado este enfoque multimodal. Mientras que la fibrinólisis intravenosa (IV-tPA) se guía principalmente por el tiempo (hasta 4.5 horas), la trombectomía mecánica (TM) se guía por la imagen. Los ensayos de 2015 (MR CLEAN, ESCAPE, etc.) establecieron el beneficio de la TM hasta 6 horas. Los revolucionarios ensayos DAWN y DEFUSE 3 de 2018 demostraron que, en pacientes seleccionados mediante imagen de perfusión (PTC o PRM) con un perfil de mismatch favorable (núcleo pequeño, penumbra grande), el beneficio de la TM se extiende hasta las 16 y 24 horas, respectivamente. Esto ha hecho que la imagen de perfusión sea un estándar de atención en centros de ACV avanzados.

El Desafío Diagnóstico del Ictus de Circulación Posterior

Si bien gran parte del desarrollo de protocolos de imagen se ha centrado en el territorio carotídeo, el ictus del sistema vertebrobasilar, que irriga el tronco cerebral, el cerebelo y los lóbulos occipitales, presenta particularidades que exigen una alta sospecha clínica y un enfoque de imagen adaptado. La clínica a menudo es atípica, con síntomas

como vértigo, ataxia, náuseas o alteración del nivel de conciencia, que pueden ser confundidos con patologías más benignas.

- **Limitaciones de la TC sin Contraste (TCSC):** La TCSC tiene una sensibilidad muy baja en la fase hiperaguda del ictus de fosa posterior. Esto se debe a los artefactos óseos generados por la base del cráneo, que oscurecen la visualización del tronco cerebral y el cerebelo. Sin embargo, un hallazgo de altísima especificidad y mal pronóstico es el "signo de la arteria basilar hiperdensa", que representa la visualización directa del trombo en la arteria basilar. Su búsqueda debe ser sistemática ante la sospecha clínica.
- **El Rol Crucial de la Angio-TC (ATC) y la RM:** Dada la baja sensibilidad de la TCSC, la Angio-TC es fundamental para confirmar o descartar una oclusión de la arteria basilar o de las arterias vertebrales, una verdadera emergencia neurológica. Sin embargo, la Resonancia Magnética es la modalidad de elección y el estándar de oro en este contexto. La secuencia de difusión (DWI) no se ve afectada por los artefactos óseos y detecta con una sensibilidad cercana al 100% los infartos agudos en el tronco cerebral o el cerebelo, por pequeños que sean.
- **Scores de Imagen Adaptados:** Para estandarizar la evaluación, se ha desarrollado el pc-ASPECTS (posterior circulation ASPECTS). Este score de 10 puntos evalúa los tálamos, los lóbulos occipitales, el mesencéfalo, el puente y los hemisferios cerebelosos, permitiendo cuantificar la carga isquémica temprana de forma análoga al ASPECTS de la circulación anterior. Un pc-ASPECTS bajo (ej. < 8) se asocia a un peor pronóstico, incluso tras una trombectomía mecánica exitosa.

Determinación Etiológica del Ictus Isquémico: El Rol de la Neuroimagen

Una vez superada la fase hiperaguda, la neuroimagen se convierte en una herramienta detectivesca fundamental para determinar la causa subyacente del ictus, un paso clave para la prevención secundaria. La clasificación etiológica, como el sistema TOAST, se apoya en gran medida en los hallazgos radiológicos.

- **Ateroesclerosis de Gran Vaso:** La Angio-TC y la Angio-RM son esenciales para identificar estenosis de alto grado (>50%) en las arterias carótidas internas, vertebrales o en los grandes vasos intracraneales (ACM, basilar). Más allá de la estenosis, la Imagen de Pared Vascular (VWI) puede caracterizar placas "vulnerables" o de alto riesgo que, aunque no sean hemodinámicamente significativas, presentan realce de contraste, un núcleo lipídico grande o ulceración, indicando un alto potencial embólico.
- **Cardioembolismo:** Aunque el diagnóstico definitivo requiere estudios cardiológicos, la neuroimagen ofrece pistas contundentes. Un patrón de infartos corticales en múltiples territorios vasculares (ej., un infarto en el territorio de la ACM izquierda y otro en el de la ACP derecha), a menudo de aspecto hemorrágico, es altamente sugestivo de una fuente embólica central, como la fibrilación auricular.

Disección Arterial (Carotídea y Vertebral)

Una de las principales causas de ictus en adultos jóvenes, la disección arterial ocurre cuando se produce un desgarramiento en la capa íntima de una arteria, permitiendo que la sangre entre y forme un hematoma intramural. Este hematoma puede causar isquemia por dos mecanismos: estenosis u oclusión del vaso, o bien por la formación de un trombo que emboliza distalmente. El diagnóstico por imagen es fundamental, ya que la clínica (dolor cervical o cefalea, a menudo asociado a un traumatismo leve) puede ser inespecífica.

- **Angio-TC y Angio-RM:** Estas técnicas no invasivas son a menudo el primer paso. Pueden mostrar una

estenosis larga, irregular y de afilamiento progresivo, conocida como el "signo de la llama de vela" o el "signo de la cuerda". También pueden identificar un pseudoaneurisma, que es una complicación de la disección.

- **RM de Pared Vascular (Estándar de Oro no Invasivo):** La secuencia clave es la T1 con supresión grasa (T1-FS o FAT-SAT). En esta secuencia, el hematoma intramural subagudo se visualiza como una señal hiperintensa (brillante) en forma de semiluna en la pared del vaso afectado. Este hallazgo es patognomónico y permite diferenciar la disección de otras causas de estenosis, como la aterosclerosis o la vasculitis. La supresión grasa es crucial para distinguir el hematoma de la grasa perivascular, que también es brillante en T1.
- **Oclusión de Pequeño Vaso:** (Ictus Lacunar) Esta etiología se sospecha ante la presencia de un infarto reciente, de pequeño tamaño (< 1.5 cm), localizado en las estructuras profundas irrigadas por arterias perforantes (ganglios basales, tálamo, cápsula interna, protuberancia). La RM, especialmente la secuencia DWI, es la modalidad de elección para su visualización. Estos hallazgos deben correlacionarse con factores de riesgo como la hipertensión arterial y la diabetes.

Neuroimagen en la Hemorragia Cerebral

Hemorragia Intraparenquimatosa (HIP)

El objetivo es doble: confirmar el diagnóstico y buscar la causa y los predictores de mal pronóstico. La TCSC es diagnóstica. La ATC subsecuente es crucial para buscar el "spot sign", un foco de extravasación de contraste dentro del hematoma que indica sangrado activo. La presencia del "spot sign" es un predictor independiente de la expansión del hematoma, mortalidad y mal resultado funcional, y puede guiar terapias hemostáticas más agresivas. La etiología se sospecha por la localización: las hemorragias profundas (ganglios basales, tálamo, tronco) suelen ser

hipertensivas, mientras que las lobares, especialmente en ancianos, sugieren angiopatía amiloide cerebral, que se caracteriza en RM (SWI) por la presencia de múltiples microhemorragias corticales/subcorticales.

Hemorragia Subaracnoidea (HSA)

La TCSC es la prueba de elección, con una sensibilidad >95% en las primeras 24 horas. Una vez confirmada, la ATC es el siguiente paso obligado para identificar un aneurisma roto. La ATC tiene una sensibilidad muy alta para aneurismas >3-4 mm. Si la ATC es negativa pero la sospecha de HSA aneurismática es alta, la ASD sigue siendo el estándar de oro. Tras asegurar el aneurisma, la neuroimagen se centra en monitorizar las complicaciones, principalmente el vasoespasmo, que puede diagnosticarse mediante Doppler transcraneal, ATC de perfusión (que muestra hipoperfusión en los territorios afectados) o ASD.

Diagnóstico de Otras Patologías Vasculares

Trombosis Venosa Cerebral (TVC)

Una causa a menudo subdiagnosticada de ACV, especialmente en jóvenes y mujeres. La TCSC puede mostrar signos directos (signo de la cuerda densa: trombo hiperdenso en un seno venoso) o indirectos (infartos venosos, que no respetan territorios arteriales y suelen ser hemorrágicos). El diagnóstico de certeza se obtiene con Venografía por TC (VTC) o Venografía por RM (VRM), que demuestran un defecto de llenado en un seno dural o una vena cortical. En RM, el "signo del delta vacío" en las imágenes con contraste es característico de la trombosis del seno sagital superior.

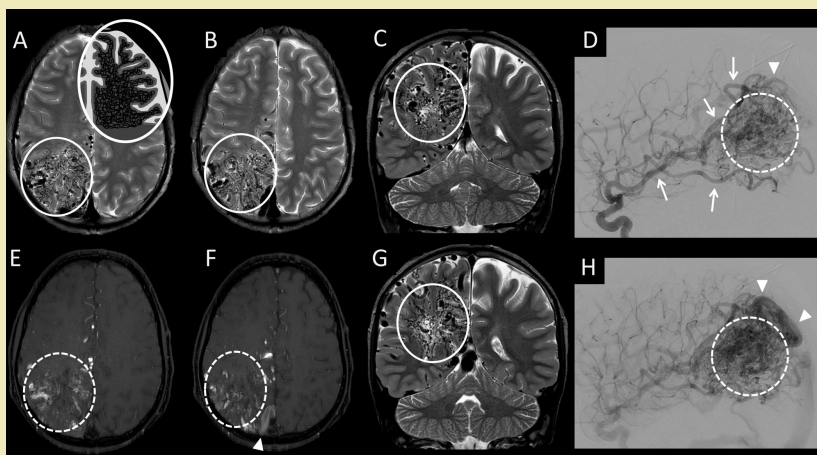


Figura 3. Estudio multimodal de una Malformación Arteriovenosa (MAV). La Angio-TC/RM (A, B) y la RM (E, F) localizan el nido vascular (círculos). La Angiografía por Sustracción Digital (C, D, I), el estándar de oro, caracteriza en detalle el ovillo de vasos anómalos y su drenaje venoso precoz (flechas). **Fuente:** Porta M, et al. Radiología. 2022

Tabla 2. Hallazgos Clave en Neuroimagen de Otras Patologías Vasculares

Patología	Modalidad(es) de Elección	Hallazgos Radiológicos Clave
Aneurismas no Rotos	Angio-TC / Angio-RM	- Dilatación sacular o fusiforme de la pared arterial. - En RM de pared vascular (VWI), el realce sugiere inflamación y mayor riesgo de ruptura.
Malformación Arteriovenosa (MAV)	Angio-RM / ASD (Estándar de oro)	- Nido vascular con ovillo de vasos anómalos (la clásica "bolsa de gusanos"). - Arterias aferentes dilatadas y venas de drenaje precoz. - La ASD es esencial para la clasificación de Spetzler-Martin.

Malformación Cavernosa (Cavernoma)	RM (T2 y SWI)	• Lesión lobulada con apariencia de "palomita de maíz" (<i>popcorn-like</i>). • Núcleo heterogéneo (sangre en diferentes estadios). • Anillo de hemosiderina hipointenso (oscuro) en T2/SWI. • No se visualizan en angiografía (lesión "oculta").
Enfermedad de Moyamoya	Angio-RM / ASD	• Estenosis progresiva de las carótidas internas distales y sus ramas principales. • Desarrollo de una red de finas arterias colaterales en la base del cerebro (signo del "puf de humo").
Vasculitis del SNC	RM con contraste (VWI) / ASD	• En VWI: Engrosamiento y realce concéntrico de la pared del vaso afectado. • En ASD: Estenosis multifocales y segmentarias, a veces con dilataciones (aspecto de "rosario" o arrosariado).

Fuente: Elaboración propia, basado en la revisión sistemática sobre Imagen de Pared Vascular Intracraneal (Mandell et al., 2017).

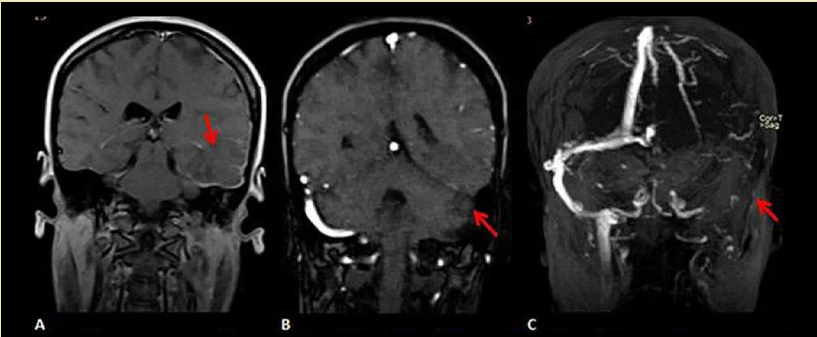


Figura X. Trombosis del seno venoso transverso y sigmoideo izquierdo. Las imágenes de RM coronal con contraste (A, B) muestran una señal anómala en el trayecto del seno venoso izquierdo (flechas). La Venografía por RM (C) confirma el diagnóstico al demostrar un defecto de llenado con ausencia de flujo en los senos afectados (flecha), en comparación con el lado derecho que se visualiza permeable.

Fuente: Ortiz Cortés, S. N. (s.f.)

Neuroimagen en la Enfermedad de Pequeño Vaso Cerebral (EPV)

La EPV es una patología de las arteriolas perforantes, capilares y vénulas cerebrales, siendo una causa principal de ictus lacunares y la segunda causa más común de demencia (demencia vascular). Su diagnóstico es eminentemente radiológico, basado en un conjunto de hallazgos característicos en la Resonancia Magnética.

Marcadores Clave de EPV en RM:

- **Hiperintensidades de la Sustancia Blanca (HSB):** Son el hallazgo más representativo. Se visualizan como áreas brillantes en secuencias FLAIR y T2. Suelen clasificarse según su localización (periventriculares o subcorticales profundas) y su severidad, utilizando escalas como la de Fazekas, para estandarizar su impacto.
- **Infartos Lacunares:** Son pequeñas cavidades (< 1.5 cm) residuales de infartos antiguos en los ganglios basales, tálamo, tronco cerebral o sustancia blanca profunda.
- **Microhemorragias Cerebrales:** Se observan como pequeños focos puntiformes oscuros en secuencias de susceptibilidad magnética (SWI/GRE). Su localización es clave para la etiología: las profundas se asocian a la angiopatía hipertensiva, mientras que las estrictamente lobares sugieren angiopatía amiloide cerebral.
- **Espacios Perivasculares Dilatados:** Son espacios llenos de líquido que rodean los vasos. Cuando son muy numerosos, especialmente en los ganglios basales (estado criboso), indican una alteración del drenaje intersticial del cerebro.

El reconocimiento y reporte estandarizado de estos marcadores es crucial, ya que la carga global de EPV en la neuroimagen de un paciente es un potente predictor de futuros ictus, deterioro cognitivo y trastornos de la marcha.

Neuroimagen en el Seguimiento y las Complicaciones del Ictus

La utilidad de la neuroimagen no termina en la fase aguda. Las imágenes de seguimiento son vitales para monitorizar la evolución de la lesión, detectar complicaciones y guiar decisiones terapéuticas en la fase subaguda.

- **Transformación Hemorrágica:** Es una de las complicaciones más temidas del ictus isquémico, especialmente tras la terapia de reperfusión. La TC puede mostrar una nueva hiperdensidad dentro del área del infarto. Sin embargo, la RM, con la secuencia SWI, es mucho más sensible para detectar desde pequeñas petequias hasta hematomas constituidos.
- **Edema Cerebral Maligno:** En infartos extensos, como los de la arteria cerebral media, el edema citotóxico puede ser tan severo que cause un efecto de masa, borramiento de surcos y desviación de la línea media, llevando a la herniación cerebral. La TC de seguimiento en las primeras 24-72 horas es crucial para su detección precoz y para valorar la necesidad de una hemicraniectomía descompresiva.
- **Hidrocefalia:** Es una complicación frecuente tras una hemorragia subaracnoidea o una hemorragia intraparenquimatosa con extensión intraventricular. La TC sin contraste es la herramienta de elección para evaluar el tamaño de los ventrículos y la necesidad de un drenaje ventricular.

Avances Futuros y Nuevas Fronteras

El futuro de la neuroimagen vascular es vibrante y se centra en la medicina de precisión.

1. **Imagen de la Pared Vascular (Vessel Wall Imaging - VWI):** Esta técnica de RM de alta resolución ha cambiado el paradigma del diagnóstico de las estenosis intracraneales. Al visualizar la pared del vaso, podemos diferenciar entre una placa de ateroma (realce excéntrico) y una vasculitis (realce concéntrico). Esto

permite un diagnóstico etiológico preciso y no invasivo, guiando terapias inmunosupresoras o antiagregantes de forma específica.

2. **Inteligencia Artificial (IA):** La IA está automatizando y acelerando el diagnóstico. Plataformas de software (como RAPID.ai, Viz.ai, Brainomix) utilizan algoritmos de aprendizaje profundo para analizar automáticamente las imágenes de TC y RM en minutos. Pueden detectar oclusiones de gran vaso, cuantificar el núcleo isquémico y la penumbra, y enviar alertas automáticas a los teléfonos de los equipos de ACV, reduciendo drásticamente los tiempos puerta-aguja y puerta-punción.
3. **RM de Ultra-Alto Campo (7 Tesla):** Aunque todavía en el ámbito de la investigación, la RM de 7T ofrece una resolución espacial extraordinaria que permite visualizar las arterias perforantes lenticuloestriadas, identificar microinfartos y evaluar la integridad de la barrera hematoencefálica con una precisión sin precedentes, lo que será clave para entender la enfermedad de pequeño vaso y la demencia vascular.
4. **Radiómica:** Consiste en la extracción de una gran cantidad de características cuantitativas de las imágenes médicas, imperceptibles para el ojo humano. Estos datos pueden ser analizados para crear modelos predictivos. Por ejemplo, la "firma" radiómica de un hematoma en la TC inicial podría predecir la probabilidad de expansión o el resultado funcional del paciente a los 3 meses.

Conclusión

La neuroimagen es el lenguaje con el que el cerebro vascular nos comunica su estado." o "La neuroimagen es el lenguaje del cerebro vascular. Ha evolucionado de ser una herramienta para visualizar la anatomía post-mortem del daño a ser una ventana en tiempo real a la fisiopatología del tejido en riesgo. La práctica neurológica y radiológica moderna exige no solo el conocimiento de qué técnica

solicitar, sino una profunda comprensión de la información que cada secuencia y cada mapa paramétrico nos proporciona. Una correcta interpretación de estos estudios es crucial, pues permite aplicar la terapia adecuada al paciente correcto y en el momento preciso. La integración de la imagen fisiológica avanzada, acelerada por la inteligencia artificial y refinada por técnicas de ultra-alta resolución, define el presente y el futuro del manejo de las enfermedades cerebrovasculares, con el objetivo final de preservar no solo la vida, sino la función y la calidad de vida de nuestros pacientes.

Bibliografías

1. Powers WJ, Rabinstein AA, Ackerson T, Adeoye OM, Bambakidis NC, Becker K, et al. Guidelines for the Early Management of Patients With Acute Ischemic Stroke: 2019 Update to the 2018 Guidelines for the Early Management of Acute Ischemic Stroke: A Guideline for Healthcare Professionals From the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*. 2019;50(12):e344-e418.
2. Albers GW, Marks MP, Kemp S, Christensen S, Tsai JP, Ortega-Gutierrez S, et al. Thrombectomy for Stroke at 6 to 16 Hours with Selection by Perfusion Imaging. *N Engl J Med*. 2018;378(8):708-718.
3. Nogueira RG, Jadhav AP, Haussen DC, Bonafe A, Budzik RF, Bhuva P, et al. Thrombectomy 6 to 24 Hours after Stroke with a Mismatch between Deficit and Infarct. *N Engl J Med*. 2018;378(1):11-21.
4. Campbell BCV, Majoie CBLM, Albers GW, Menon BK, Yassi N, Sharma G, et al. Penumbra imaging and functional outcome in patients with anterior circulation ischaemic stroke treated with endovascular thrombectomy versus medical therapy: a meta-analysis of individual patient-level data. *Lancet Neurol*. 2019;18(1):46-55.

5. Saba L, Saam T, Jäger HR, Yuan C, Hatsukami TS, Saloner D, et al. Imaging of the Vulnerable Carotid Plaque. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2019;12(5):896-911.
6. Turk AS, Siddiqui A, Fifi JT, De Leacy RA, Fiorella D, Guenego A, et al. Aneurysm Treatment With Flow Diverters: A Multicenter, Retrospective, Pooled, Cohort Study. *Stroke*. 2021;52(9):2871-2880.
7. Hemphill JC 3rd, Greenberg SM, Anderson CS, Becker K, Bendok BR, Cushman M, et al. Guidelines for the Management of Spontaneous Intracerebral Hemorrhage: A Guideline for Healthcare Professionals From the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*. 2015;46(7):2032-60.
8. Boulouis G, van den Schaaf IC, Loirat A, Riou-Comte N, Diallo G, Gascou G, et al. The spot sign as a predictor of 3-month functional outcome in intracerebral hemorrhage: a systematic review and meta-analysis. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2021;92(1):47-53.
9. Rava RA, Catanese L, Ringer AJ, Kanter D. Artificial Intelligence in Stroke: A Narrative Review. *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2021;30(11):106044.
10. Zijlmans JL, van der Kallen BFW, de Heij J, van Oostenbrugge RJ, Backes WH, Jansen JFA. 7T MRI for clinical neuro-applications: A review. *J Magn Reson Imaging*. 2020;52(2):362-378.
11. Saposnik G, Barinagarrementeria F, Brown RD Jr, Bushnell CD, Cucchiara B, Cushman M, et al. Diagnosis and management of cerebral venous thrombosis: a statement for healthcare professionals from the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke*. 2011;42(4):1158-92.
12. Mandell DM, Mossa-Basha M, Qiao Y, Hess CP, Hui F, Matouk C, et al. Intracranial Vessel Wall Imaging: A

Systematic Review. AJNR Am J Neuroradiol.
2017;38(5):860-869.

Descargo de Responsabilidad y Términos de Publicación

La presente publicación ha sido concebida como una fuente de consulta y referencia académica. La información contenida en sus capítulos no reemplaza, bajo ninguna circunstancia, la evaluación y el manejo clínico por parte de un profesional médico certificado. La aplicación de cualquier conocimiento aquí expuesto es responsabilidad última del lector.

Velseris Editores actúa únicamente como casa editorial; por tanto, el rigor científico, las posturas y las conclusiones vertidas en cada artículo son de exclusiva incumbencia de los autores firmantes.

ISBN: 978-9942-7441-7-3

Una producción de Velseris Editores

Octubre 2025

Quito, Ecuador

Esta obra está protegida por la legislación ecuatoriana sobre derechos de autor y propiedad intelectual, así como por los tratados internacionales aplicables. No se permite su reproducción, almacenamiento en sistemas recuperables de información, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio electrónico, mecánico, fotocopia, grabación u otro sin el permiso previo y por escrito de los titulares de los derechos.