

**37** Congreso  
Nacional  
CENTRO DE  
CONVENCIONES  
INTERNACIONALES

Barcelona  
22/25  
MAYO 2024

**seram**  
Sociedad Española de Radiología Médica

**FERM**  
FUNDACIÓN ESPAÑOLA DE RADIOLOGÍA MÉDICA

**RC** | RADIOLEGS  
DE CATALUNYA



# Experiencia del primer año del primer hospital público español en realizar radiocirugía Gamma Knife

Francisco Javier Pérez García<sup>1</sup>, Mónica Crespo Balbuena<sup>1</sup>, M<sup>a</sup> del Carmen Pérez García<sup>1</sup>, David Luengo Gómez<sup>1</sup>, Elvira Ruiz Castellano<sup>1</sup>, José Pablo Martínez Barbero<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Hospital Universitario Virgen de las Nieves, Granada (España).

## Objetivo

- 1) Detallar la metodología de la puesta en marcha de la tecnología Gamma Knife en una unidad de referencia nacional en radiocirugía, con más de 5000 pacientes tratados desde 1995.
- 2) Analizar los resultados obtenidos durante este primer año de actividad.

## Material y métodos

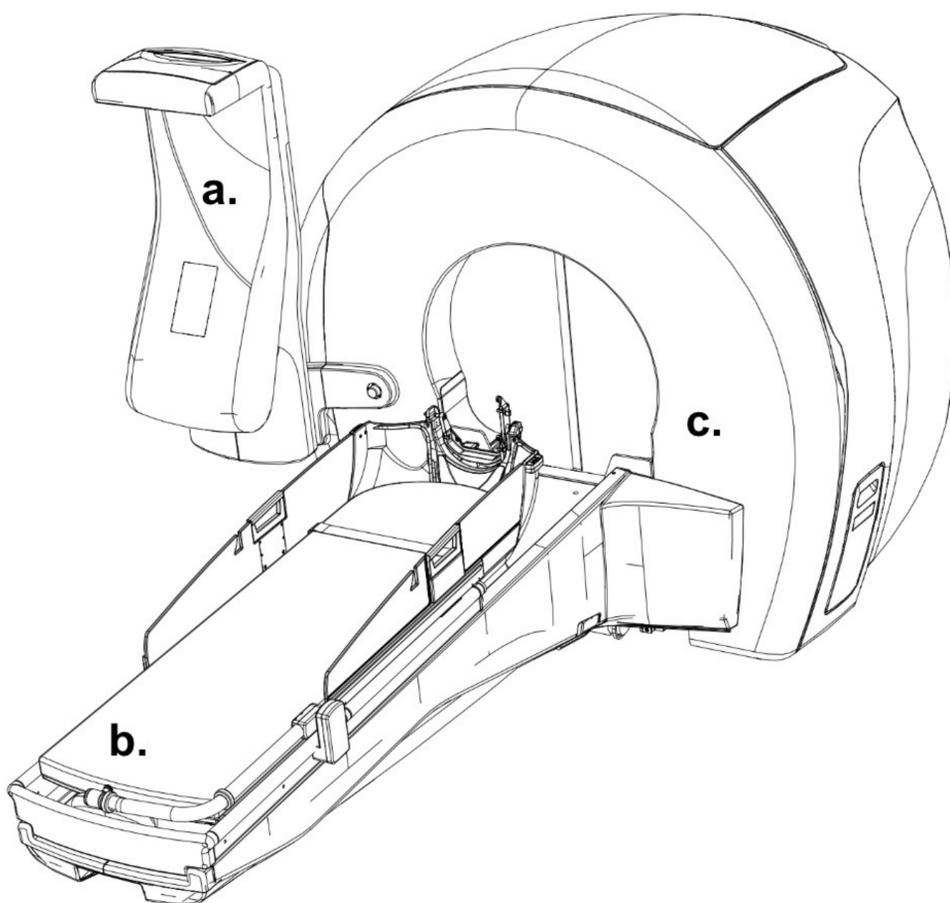
La tecnología Gamma Knife se ha utilizado de forma creciente en los últimos años como una valiosa opción terapéutica para tumores, malformaciones vasculares y otras patologías del sistema nervioso central (SNC), incluidos trastornos funcionales [1], [2], [3], [4].

Es una forma de radiocirugía estereotáctica que utiliza altas dosis de radiación con máxima precisión en el tratamiento, para lograr la resolución más completa de las lesiones tratadas, al mismo tiempo que se minimizan los efectos secundarios en el tejido sano circundante [5].

En la actualidad, se emplean diversos sistemas en la práctica de la radiocirugía. Específicamente, el Gamma Knife optimiza la precisión del volumen irradiado. A diferencia de otros dispositivos con brazos móviles, consta de una estructura fija con una cama y una pequeña ventana o *cone beam* donde el paciente coloca su cabeza. Este dispositivo rodea la cabeza con las fuentes de radiación, evitando errores de precisión debido al movimiento del sistema o al desgaste de las piezas.

Además, el Gamma Knife incorpora un *cone beam* CT para verificar la adecuación del tratamiento una vez que el paciente está posicionado en la cama del Gamma Knife justo antes de comenzar el procedimiento terapéutico (Figura 1).

Para evitar movimientos, se inmoviliza la cabeza del paciente antes del procedimiento con un casco estereotáctico para tratamientos en sesión única o con una máscara termoplástica personalizada para sesiones fraccionadas (Figura 2). Ambos dispositivos sirven como localizadores para ayudar a establecer las coordenadas de tratamiento junto con el co-registro de imágenes, que será procesado por el Gamma Knife.



**FIGURA 1.** Sala de tratamiento Gamma Knife.  
a) *Cone beam* TC.  
b) Mesa de posicionamiento del paciente.  
c) Cámara de la fuente de irradiación.

*Figura obtenida con permiso del documento técnico del fabricante*



**FIGURA 2.** Casco estereotáctico sobre a un modelo de cabeza de paciente.

*Figura obtenida con permiso del documento técnico del fabricante.*

La radiación gamma utilizada para la radiocirugía es un tipo de radiación electromagnética que consiste en fotones y es producida por elementos radiactivos. En el caso del Gamma Knife, el material radiactivo consiste en muchas fuentes de radioisótopos de cobalto-60 que tiene una vida media de 5 años, lo que requiere su reemplazo tras este período de tiempo.

Un equipo multidisciplinar formado por especialistas en Neurorradiología diagnóstica e intervencionista, Neurocirugía, Física Médica y Oncología Radioterápica evalúa las lesiones propuestas para el tratamiento con Gamma Knife en sesiones clínicas semanales. Los casos son revisados por al menos 4 expertos para garantizar el mejor tratamiento posible. Todo el procedimiento sigue las recomendaciones y guías de práctica clínica de la Sociedad Internacional de Radiocirugía Estereotáctica (ISRS).

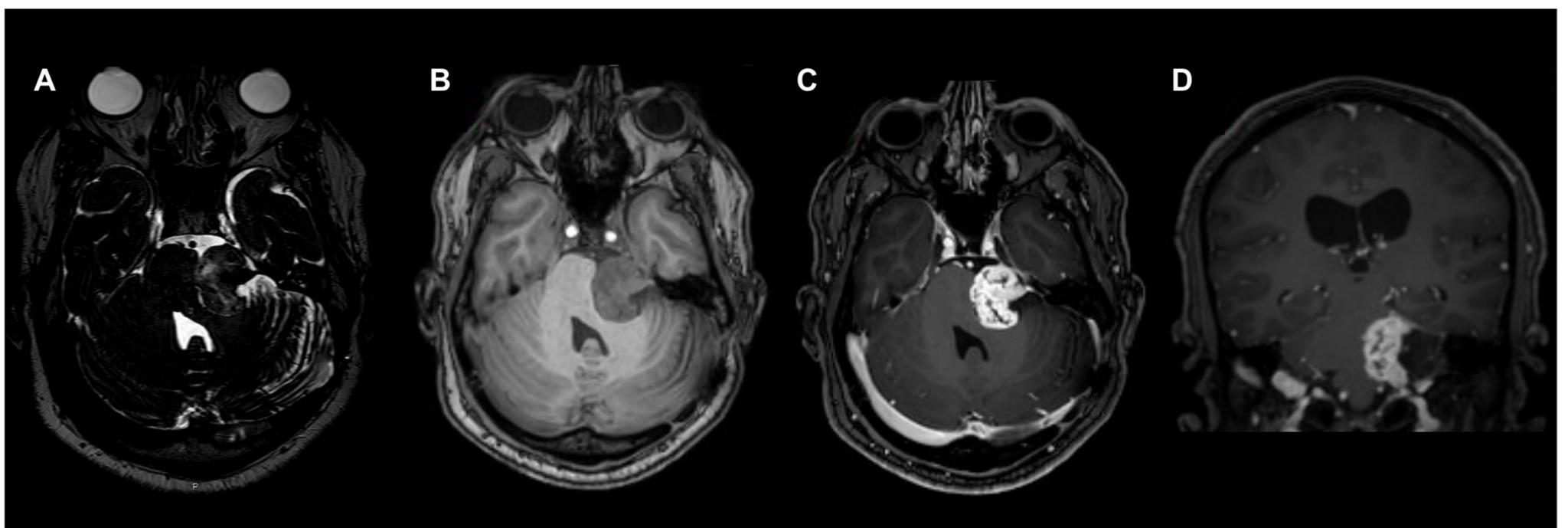
# Resultados

## Procedimiento

En nuestro centro se ha constituido una unidad específica denominada Unidad Multidisciplinar de Radiocirugía de Gamma Knife. Los especialistas deben disponer de todos los estudios de imagen previos de las lesiones, debiendo ser los últimos tan actualizados como sea posible.

Cada caso se presenta en una sesión clínica, prestando especial atención al volumen de la lesión, su relación con órganos críticos y otros tratamientos alternativos o complementarios, aspectos esenciales en la toma de decisiones.

Para llevar a cabo la planificación se realiza un estudio de resonancia magnética (RM) con secuencias volumétricas isotrópicas de alta resolución ponderadas en T1 (sin y con contraste) y T2 (Figura 3).



**FIGURA 3. Protocolo de planificación del tratamiento por RM.** El protocolo habitual comprende secuencias volumétricas isotrópicas de alta resolución ponderadas en T2 y T1, como se muestra en A y B. También se realizan secuencias T1-3D con contraste para lograr una mejor delimitación de las lesiones (C y D).

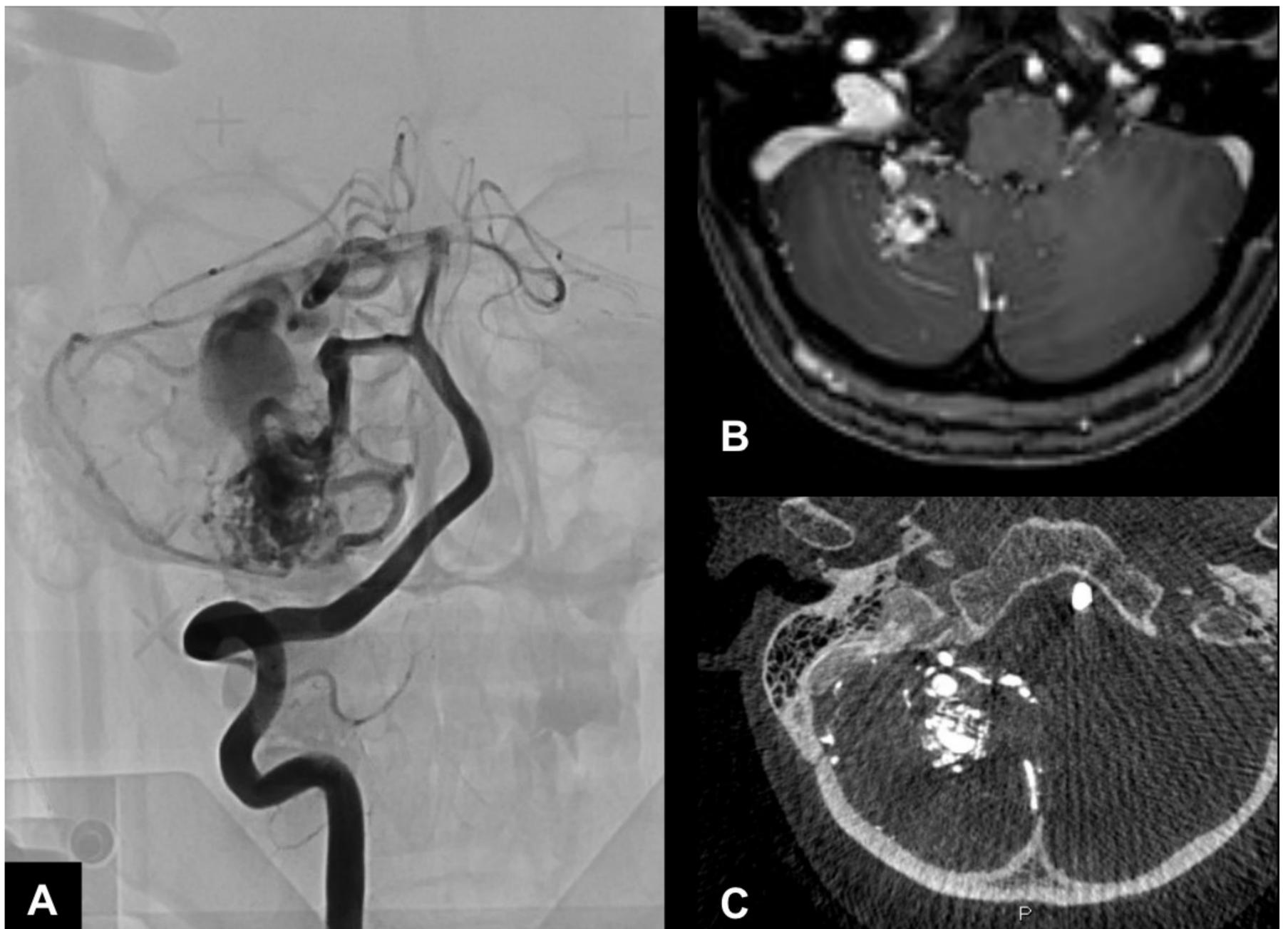
De forma periódica se realizan controles de calidad de las secuencias en el equipo de RM con el uso de un fantoma para adquirir las imágenes de planificación, asegurando la mínima distorsión posible (Figura 4).



**FIGURA 4.** Fantoma utilizado para la calibración periódica de las secuencias de RM.

Una vez que un paciente está programado para el tratamiento de radiocirugía Gamma Knife, el procedimiento tiende a realizarse de forma preferente en una sola sesión. Ese mismo día, el paciente tiene programado un estudio de RM con las secuencias necesarias. Posteriormente, el paciente es trasladado a la sala de Gamma Knife, donde se le coloca un marco estereotáctico (en sesión única) o una máscara termoplástica (en sesiones fraccionadas).

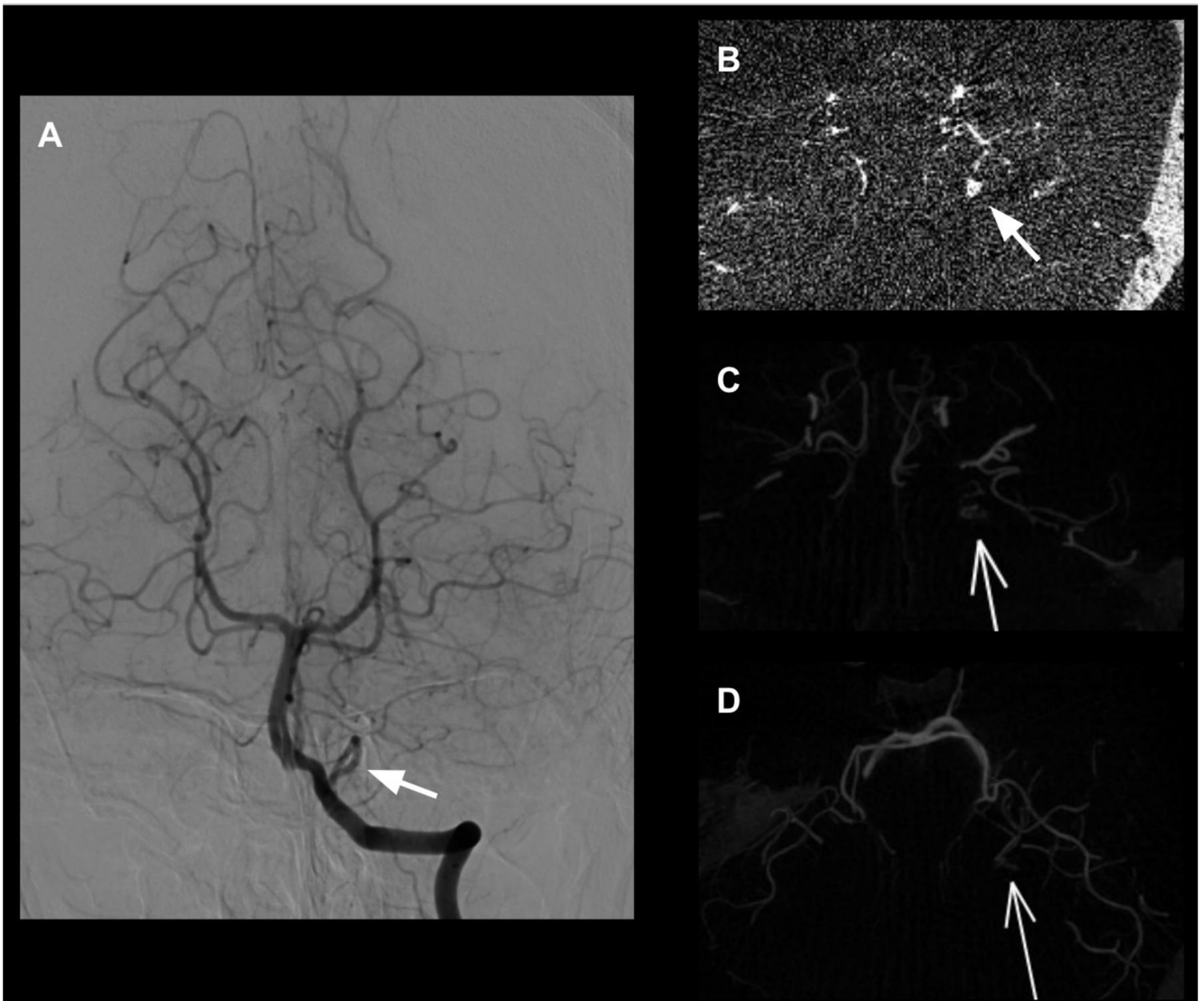
Los pacientes con malformaciones vasculares que requieren un estudio angiográfico son programados después de la RM para la realización de una angiografía diagnóstica. En este caso, el casco estereotáctico se coloca inmediatamente antes del estudio angiográfico. Después del procedimiento, los neurorradiólogos intervencionistas procesan las imágenes obteniendo una reconstrucción tridimensional que se utiliza para la planificación del tratamiento (Figura 5).



**FIGURA 5. MAV cerebelosa derecha.**

Malformación arteriovenosa en hemisferio cerebeloso derecho con varios *feeders*, como se muestra en A. La planificación previa al tratamiento de las lesiones vasculares incluye secuencias T1 con contraste 3D y reconstrucciones tridimensionales de angiografía para una mejor delimitación de la lesión, como se muestra en B y C.

Actualmente, también se adquieren imágenes de angiografía 4D con reconstrucciones planares en adquisición de cone beam que permiten la delimitación de las lesiones en la mejor fase angiográfica posible (Figura 6).



**FIGURA 6. Planificación de tratamiento de MAV cerebelosa.**

Malformación arteriovenosa en hemisferio cerebeloso izquierdo, suministrada por una rama lateral de la arteria cerebelosa anterior ipsilateral, como se muestra en las imágenes de angiografía en A. También se obtienen imágenes en 4D (B), lo que permite el post-procesamiento para una mejor localización espacial de la lesión (C y D).

Durante la planificación del tratamiento en las estancias de la Unidad de Gamma Knife, el neurorradiólogo diagnóstico o intervencionista delimitan con máxima precisión la lesión a tratar y las estructuras críticas que no deben recibir radiación (órbitas, quiasma óptico, glándula pituitaria, cócleas o tronco cerebral, entre otros, dependiendo de la ubicación de la lesión).

En ciertos casos, se utilizan secuencias de RM funcional y tractografía para definir áreas corticales elocuentes o tractos de materia blanca de especial relevancia como órganos en riesgo. Los físicos médicos y los oncólogos radioterápicos también tienen un papel esencial en este punto, realizando cálculos dosimétricos y ajustes pertinentes para maximizar la efectividad del tratamiento y minimizar el daño no deseado en los tejidos circundantes.

Una vez que el paciente está situado en la mesa del Gamma Knife, se realiza una cone beam TC para localizar las coordenadas preestablecidas por los especialistas basadas en puntos de referencia en el marco estereotáctico o la máscara termoplástica. Finalmente, el Gamma Knife emite haces específicos de radiación gamma de acuerdo con el plan de tratamiento establecido.

Al finalizar el tratamiento, se retira el marco y, después de estabilizar al paciente, se realiza el alta con una cita de seguimiento en consulta.

## **Patologías tratadas en nuestro centro**

En el primer año de experiencia con Gamma Knife en nuestras instalaciones, se han tratado un total de 288 pacientes y 455 lesiones. En la figura 7 se detalla su procedencia.

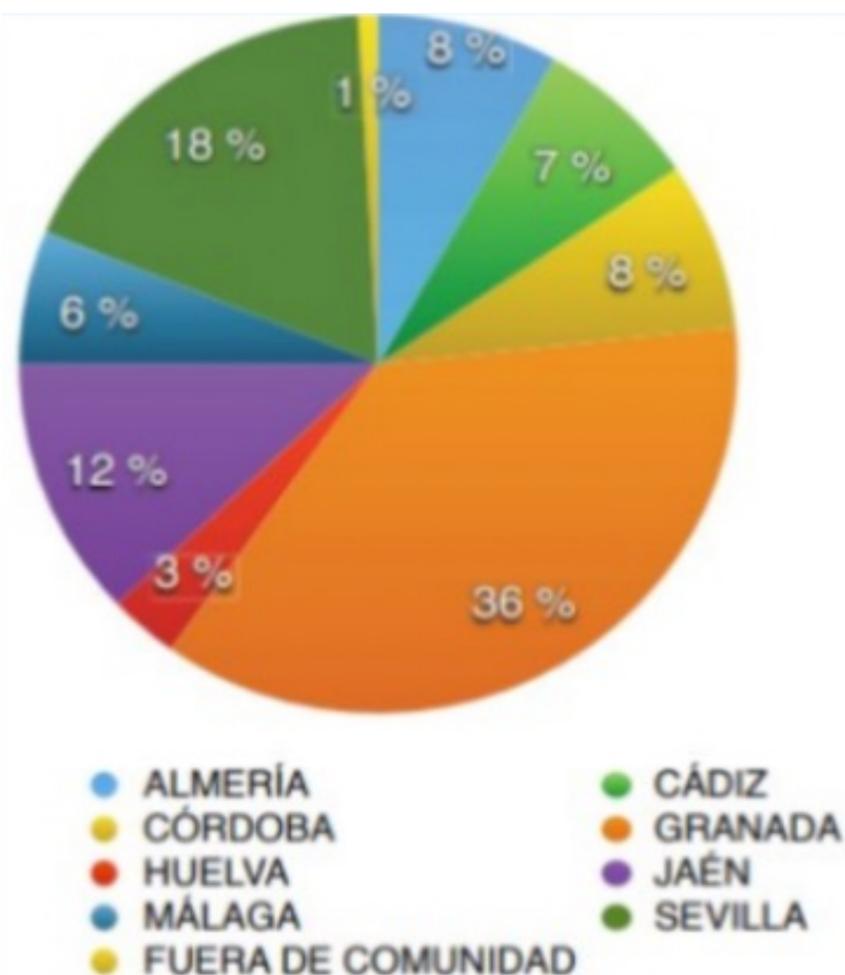
Las patologías tratadas abarcan un espectro que incluye schwannomas vestibulares, meningiomas, cavernomas, malformaciones arteriovenosas, tumores hipofisarios, tumores glómicos, patología trigeminal, metástasis y tumores cerebrales primarios. Los schwannomas vestibulares y las metástasis cerebrales fueron las patologías más prevalentes, con un número notable de MAV y neuralgias del trigémino (Tabla 1). Las dosis administradas y las duraciones del tratamiento se alinean con las referidas en la literatura.

## **Resultados**

La evolución post-tratamiento de las lesiones tratadas en nuestro centro es paralela a la descrita en la evidencia científica disponible.

Las MAV y otras lesiones vasculares pueden mostrar una disminución significativa de tamaño que puede llevar a una eliminación casi completa de la lesión, aunque pueden tener un tiempo de latencia largo hasta su desaparición angiográfica (Figura 8).

Los schwannomas vestibulares a menudo experimentan fenómenos de necrosis durante largos periodos después del tratamiento, y tienden a estabilizarse o incluso disminuir ligeramente en tamaño (Figura 9).



**FIGURA 7. Procedencia de los pacientes tratados.** Los pacientes provienen de todas las provincias de Andalucía, siendo Granada (48%) y Sevilla (15%) las que más pacientes aportan. El porcentaje de pacientes procedentes del resto de CCAA es aún escaso.

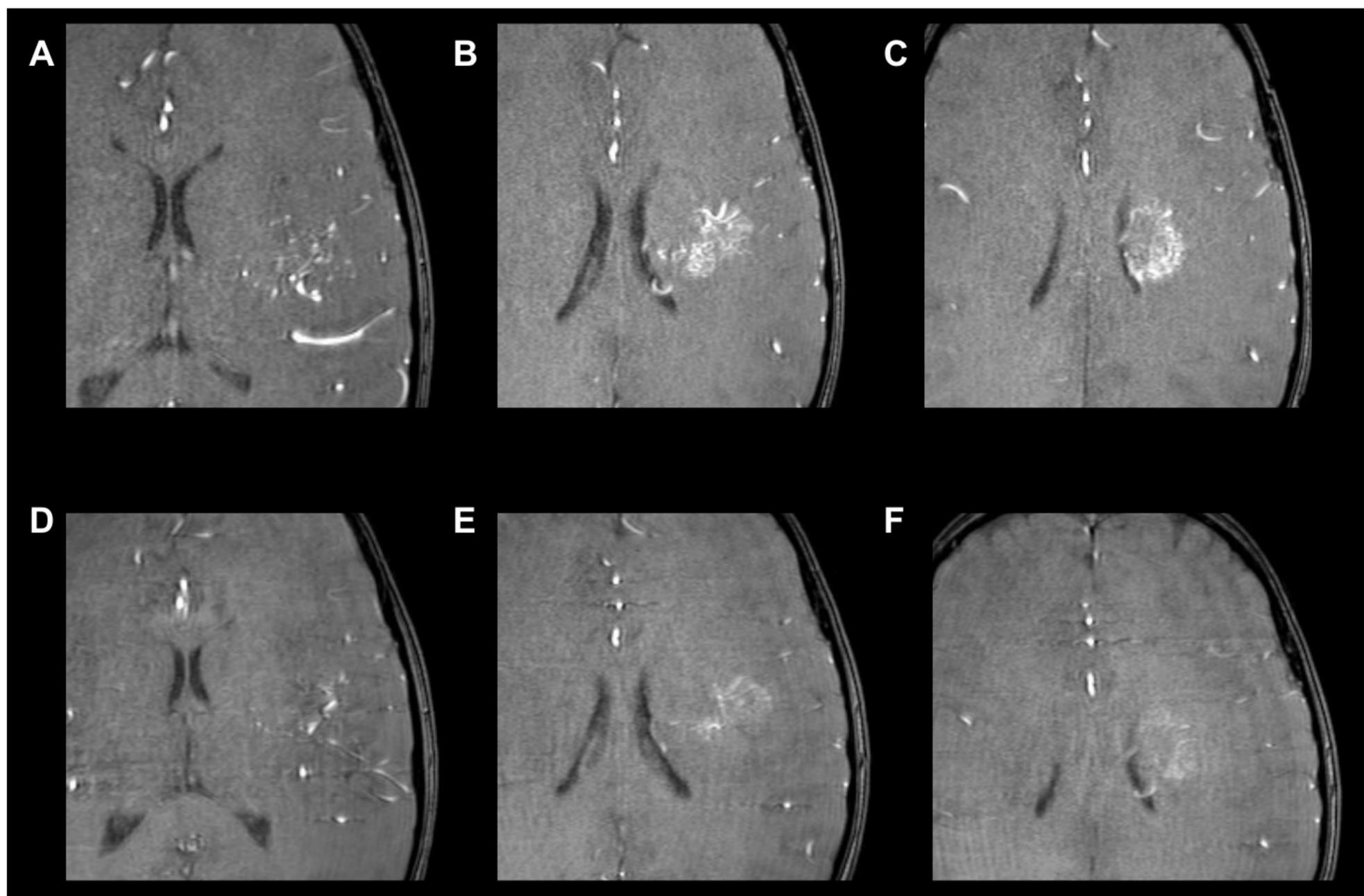
**Sesión única**

**Sesión fraccionada**

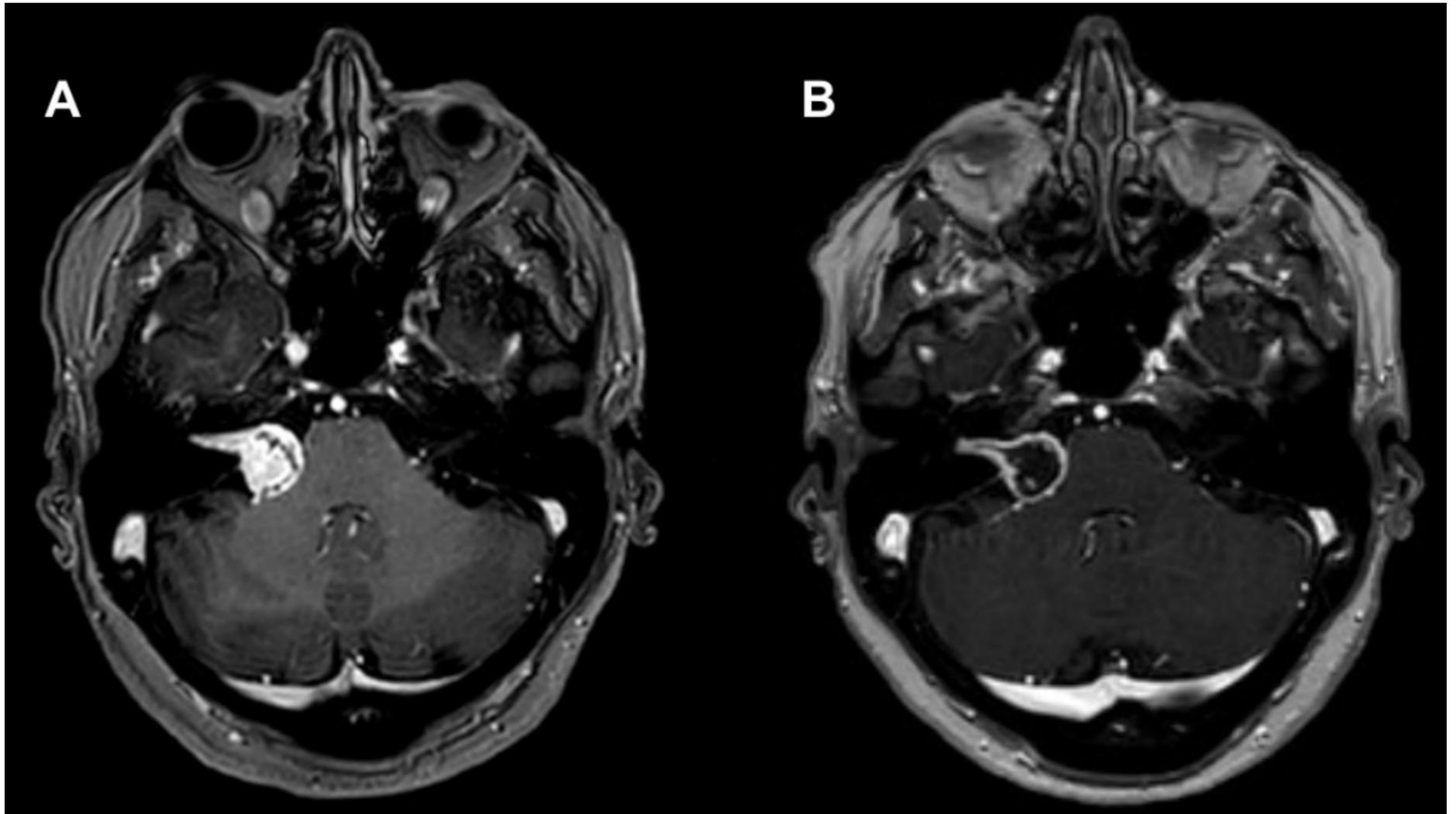
Lesión	n (pacientes)	Nº de lesiones tratadas en una sesión	Dosis media (Gy)	Tiempo de media (min)	n (pacientes)	Nº de lesiones	Dosis media (Gy)	Tiempo de media (min)
Schwannoma vestibular	90	1	12	31,5	3	1	18	34
Metastasis múltiples	36	5,3*	18,7	69	6	2*	23	36,6
Vascular	34	1	17,8	37,7	-	-	-	-
Meningioma	27 2	1 2-3	13,9 16,6	37,7 40,1	8	1	20,6	36,6
Neuralgia trigeminal	26	1	63	44,2	-	-	-	-
Metástasis única	23	1	19,1	40,8	7	1	26,1	28,4
Adenoma hipofisario	10	1	17	37,2	6	1	22,2	29,1
Astrocitoma	2	1	18	24,4	-	-	-	-
Hemangiopericitoma	2	3	16	58	1	1	21	17
Glioblastoma	1	1	20	32,3	1	1	27	55,6
Hemangioblastoma	1	1	14	53	2	1	24	30

\* media

**TABLA 1. Distribución de las patologías tratadas en nuestra institución con dosis media de radiación y tiempo medio de tratamiento.**



**FIGURA 8. Estudio de planificación para Gamma Knife de MAV y control a los tres meses.**  
Las imágenes de TOF angio-RM en A, B y C muestran una **MAV** ubicada en la corona radiada izquierda en diferentes niveles antes del tratamiento. Las imágenes TOF angio-RM a los **tres meses post-tratamiento** en D, E y F muestran una reducción significativa en el tamaño y el flujo de la MAV en esos niveles.

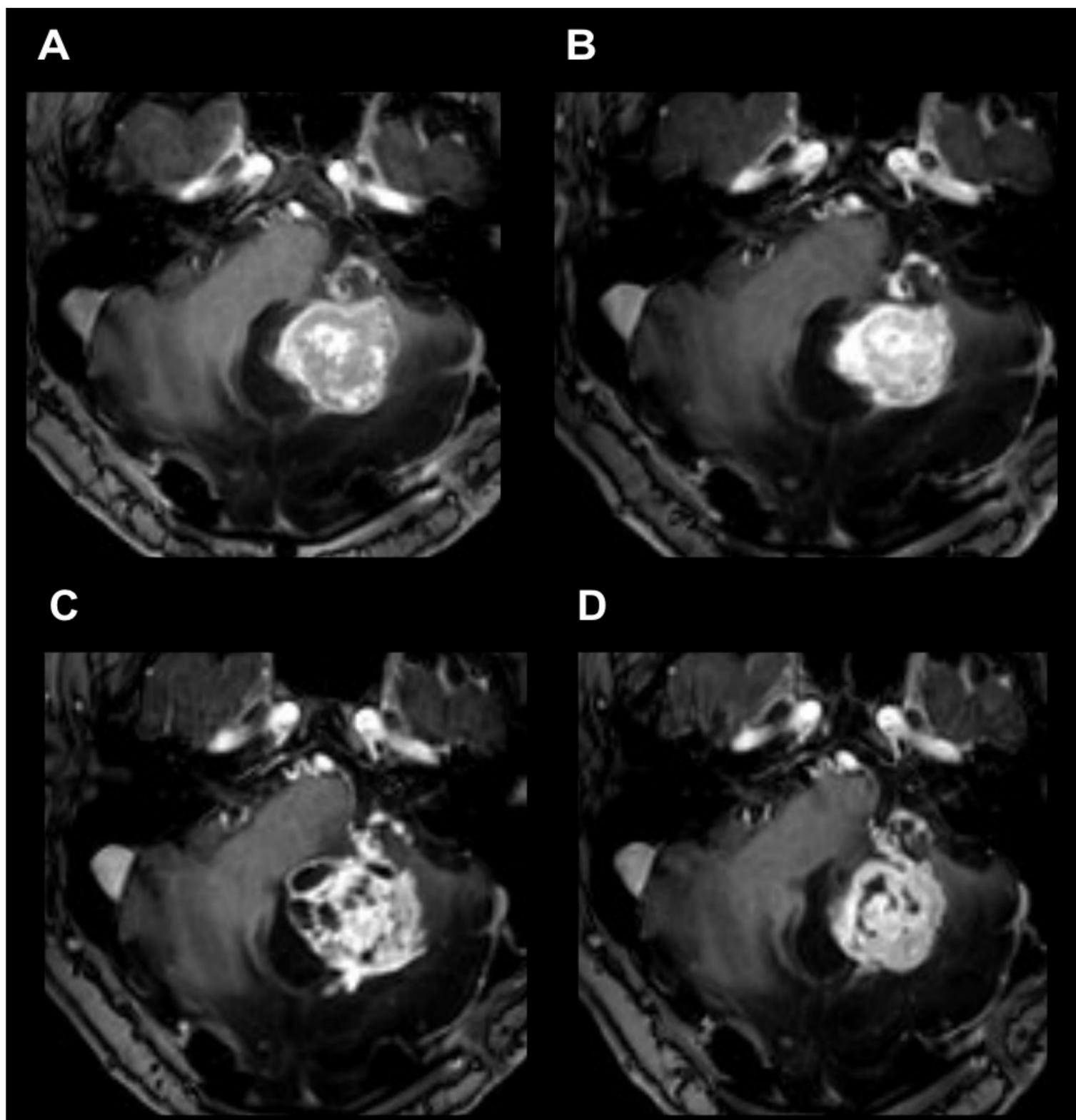


**FIGURA 9. Estudio de planificación para Gamma Knife de schwannoma vestibular y control a los cuatro meses.**

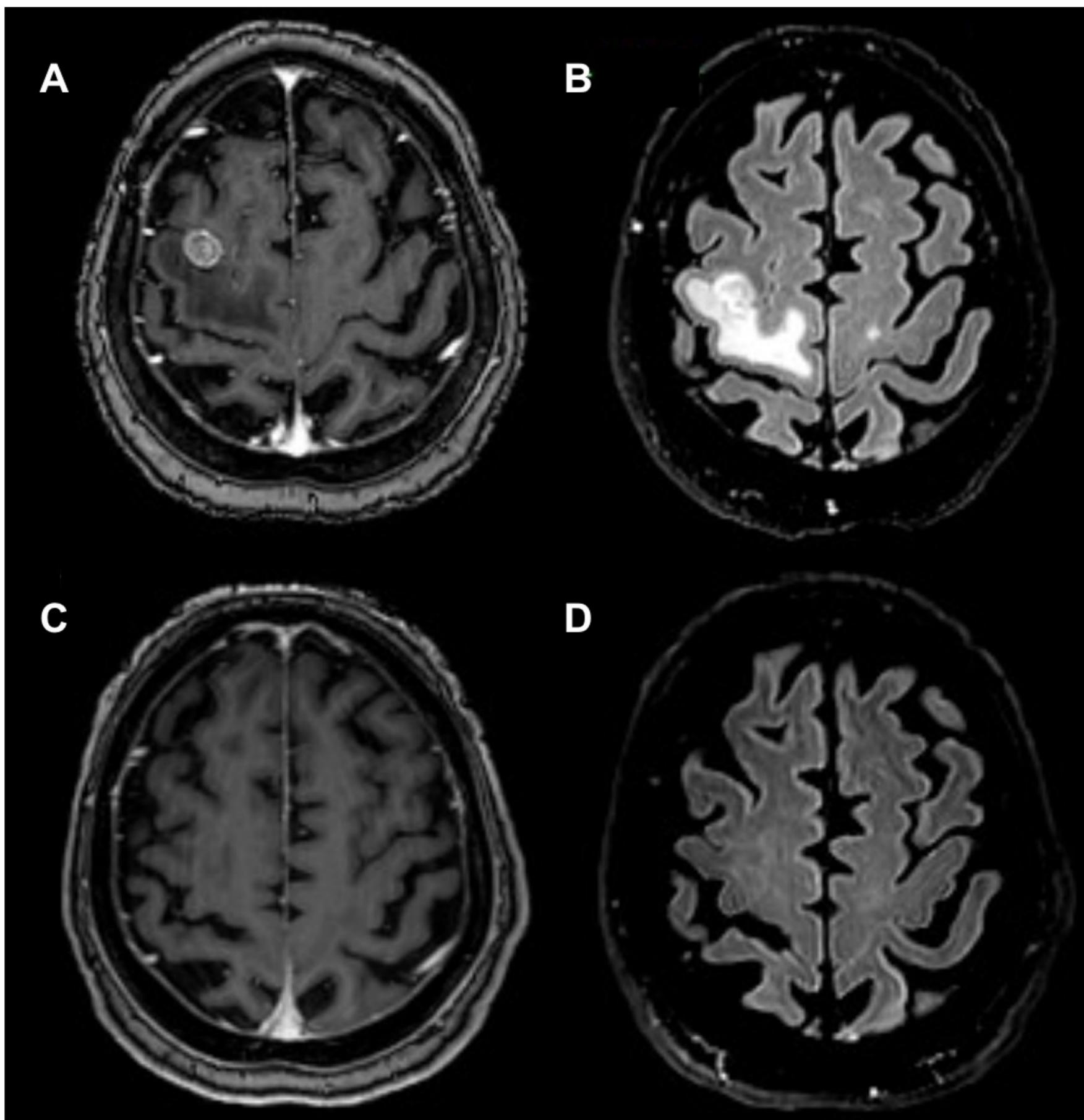
El T1-3D con contraste muestra un schwannoma vestibular derecho con realce homogéneo en A. En el control por RM a los cuatro meses en B se observan importantes fenómenos necróticos dentro de la lesión.

Los tumores cerebrales exhiben diferentes patrones según su evolución. La pseudoprogresión se caracteriza por cambios radiológicos transitorios que pueden imitar el crecimiento del tumor pero se atribuyen a respuestas inflamatorias relacionadas con el tratamiento en lugar de a una progresión real de la enfermedad (Figura 10). Por el contrario, la progresión implica el crecimiento continuo del tumor a pesar de las intervenciones terapéuticas.

La respuesta tumoral, por otro lado, indica un resultado positivo con regresión o estabilización del tumor debido al tratamiento (Figuras 11 y 12). El seguimiento es, por tanto, crucial en la evaluación integral de la efectividad y el impacto de las intervenciones terapéuticas en los tumores cerebrales.



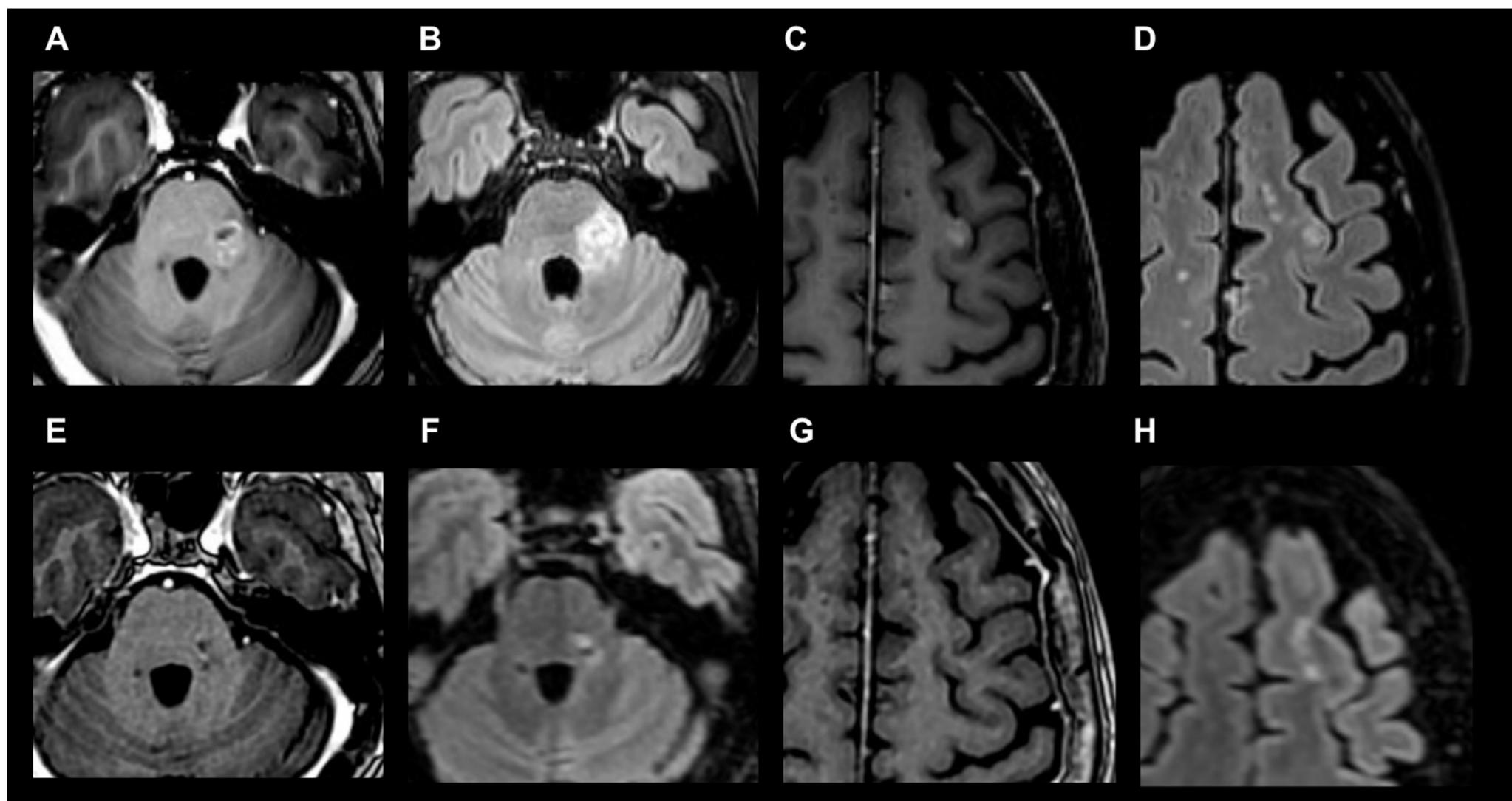
**FIGURA 10. Pseudoprogresión en hemangioblastoma cerebeloso tratado en un paciente con VHL.** El T1-3D con contraste en A muestra un hemangioblastoma cerebeloso izquierdo. En la RM de control a los **dos meses** en B se observa una reducción mínima en el tamaño de la lesión. En C, el control a los **tres meses** muestra un aumento en el tamaño y fenómenos quísticos-necróticos en la lesión. En D, a los **cinco meses** se aprecia una reducción en el tamaño de la masa.



**FIGURA 11. Respuesta en metástasis de adenocarcinoma de pulmón.**

En A, el T1-3D con contraste de planificación pre-tratamiento muestra una metástasis con realce localizada en el área posterior del giro frontal superior derecho, rodeada de edema vasogénico como se muestra en el FLAIR en B.

El control a los **tres meses** muestra la desaparición de la metástasis, como se aprecia en el T1-3D con contraste en C, junto con la resolución completa del edema circundante en FLAIR, en D.



**FIGURA 12. Respuesta en dos metástasis de carcinoma de pulmón neuroendocrino de células grandes.**

Las imágenes en A y B muestran una metástasis con realce periférico situada en el pedúnculo cerebeloso medio izquierdo, que asocia edema perilesional. En C y D se observa otra lesión metastásica situada sobre el giro frontal superior izquierdo. Se realizó tratamiento mediante Gamme Knife de ambas lesiones.

En las imágenes del estudio de control a los **4 meses** mostradas en E, F , G y H se observa disminución de tamaño importante de la primera y desaparición de la segunda, además de una significativa disminución del edema perilesional en ambas.

## Complicaciones

Una complicación infrecuente pero potencialmente grave que puede surgir es una forma aguda de radionecrosis, que puede manifestarse como extensas áreas de edema dentro del volumen tratado y su periferia, y puede producir síntomas neurológicos agudos (Figura 13).

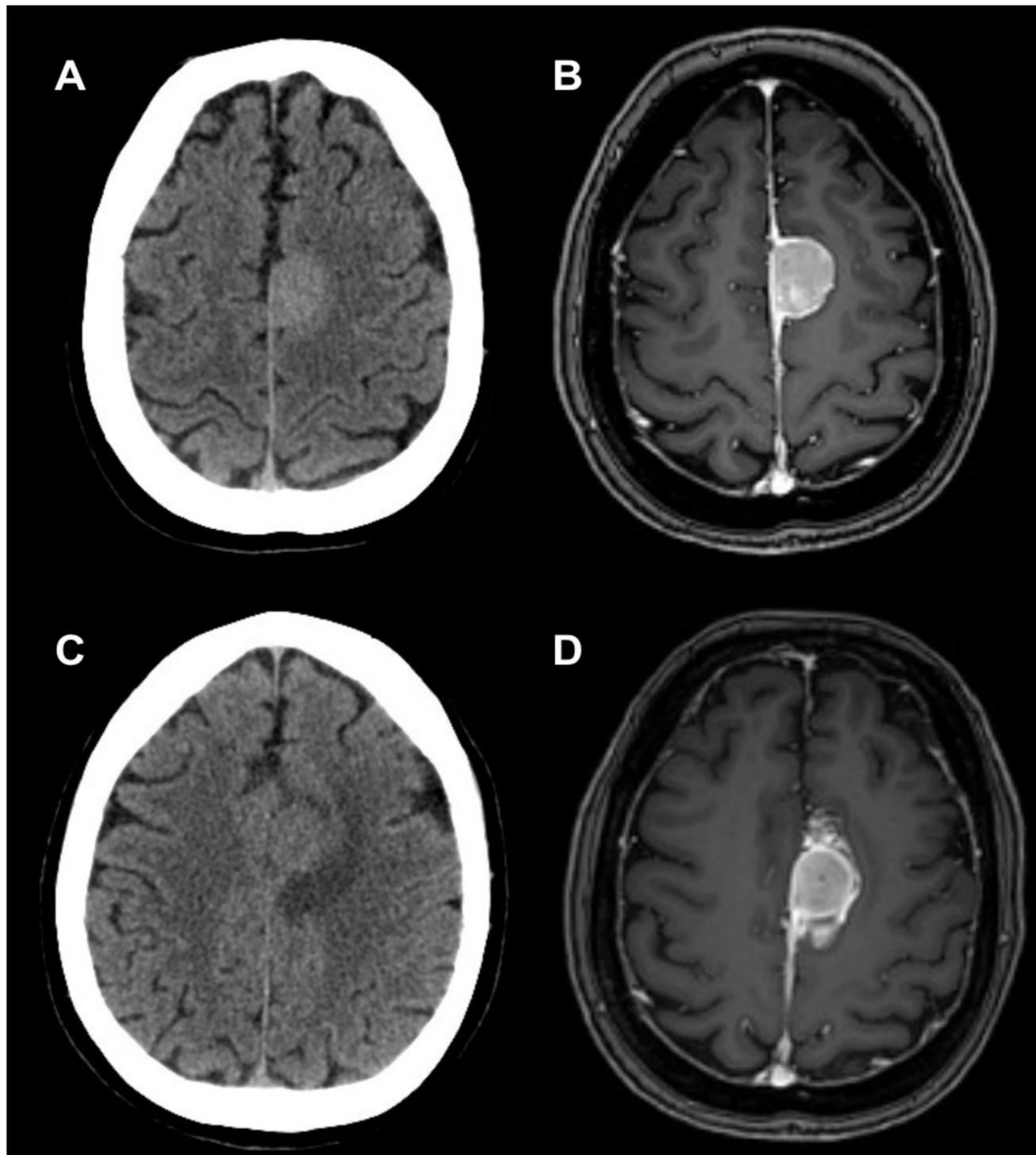
La aplicación del marco estereotáctico debe realizarse por parte de Neurocirugía, ya que no está exenta de complicaciones. En nuestro primer año de experiencia, detectamos una pequeña fractura de la calota craneal debida a la colocación del marco estereotáctico.

## Perspectiva Futura

Después del primer año de experiencia, estamos estableciendo nuevos objetivos a corto plazo:

- La ampliación de la gama de patologías tratadas mediante Gamma Knife, centrándonos principalmente en diversos trastornos funcionales (TOC, trastornos del movimiento, dolor y otros).

- La optimización de procesos para aumentar el número de procedimientos terapéuticos diarios. Esto permitiría la inclusión de un mayor número de pacientes procedentes de otras regiones y centros privados, permitiéndoles beneficiarse de un enfoque terapéutico que, en numerosas ocasiones, representa la única opción curativa.



**FIGURA 13. Radionecrosis aguda tras tratamiento con Gamma Knife.**

En el TC sin contraste en A y el T1-3D con contraste en B se muestra un **meningioma** típico parafalcino izquierdo antes del tratamiento con Gamma Knife.

Dos meses después del tratamiento, el paciente acudió al Servicio de Urgencias por desorientación, mareos y cambios bruscos de comportamiento. Se realizó una TC sin contraste (C), que mostraba un extenso edema alrededor de la lesión, que había disminuido ligeramente de tamaño en comparación con el último control disponible, como se muestra en la imagen de RM realizada un día después (D). En esta se observa también áreas de realce parcheado en el edema perilesional.

## Conclusiones

Nuestra experiencia tras este primer año como primer hospital público español que ofrece radiocirugía Gamma Knife constituye un buen ejemplo de una implementación y gestión exitosa por parte de la Unidad especializada dedicada a esta modalidad de tratamiento.

La multidisciplinariedad del equipo, compuesto por neurorradiólogos, neurocirujanos, físicos médicos y oncólogos radioterápicos, es un aspecto esencial y permite garantizar un enfoque integral alineado con las pautas internacionales.

El espectro de lesiones tratadas es amplio, destacando en número los neurinomas y las metástasis cerebrales.

Nuestro hospital tiene como objetivo extender la gama de patologías tratadas, con un enfoque específico en trastornos funcionales, y optimizar los procedimientos para ofrecer un mayor volumen de intervenciones terapéuticas.

Este primer año establece una sólida base para el éxito y el crecimiento continuo, dando una importancia capital a la atención avanzada, integral y efectiva al paciente.

## Referencias

- [1] J. R. Pérez-Sánchez et al., “Gamma Knife® stereotactic radiosurgery as a treatment for essential and parkinsonian tremor: long-term experience,” *Neurologia*, vol. 38, no. 3, 2023, doi: 10.1016/j.nrl.2020.05.014.
- [2] B. Karaaslan, “Gamma knife radiosurgery for central arteriovenous malformations: a single-center experience,” *Pamukkale Medical Journal*, vol. 16, no. 2, pp. 162–167, Apr. 2023, doi: 10.31362/PATD.1228220.
- [3] A. Shimizu et al., “Results of surgical treatment after Gamma Knife radiosurgery for cerebral arteriovenous malformations: patient series,” *Journal of Neurosurgery: Case Lessons*, vol. 1, no. 25, 2021, doi: 10.3171/CASE21181.
- [4] A. AbdelSalam, A. Elshazly, A. Tobar, A. Elsabaa, and S. Tawadros, “Gamma Knife Radiosurgery Role in the managment of brain stem cavernous angiomas,” *Ain Shams Med J*, vol. 71, no. 3, 2020, doi: 10.21608/asmj.2020.141250.
- [5] S. Kamal, “Gamma Knife Radiosurgery - A Revolutionary Modality in the Treatment of Brain Tumors,” *National Journal of Health Sciences*, vol. 7, no. 4, pp. 142–143, Dec. 2022, doi: 10.21089/njhs.74.0142.