



# UTILIDAD DE LA RESONANCIA MAGNÉTICA FUNCIONAL Y TRACTOGRAFÍA EN LA PLANIFICACIÓN Y RESECCIÓN QUIRÚRGICA DE LESIONES CEREBRALES

De Pino G.<sup>1</sup>, López Guzmán L.A.<sup>2</sup>, Klass I.<sup>3</sup>,  
Miquelini L.A.<sup>3</sup>, Rugilo C.A.<sup>3</sup>, Garcia T.A.<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Física-médica, especialista en Resonancia Magnética, Hospital Británico de Buenos Aires, Argentina

<sup>2</sup> Residente, servicio de Diagnóstico por Imágenes, Hospital Británico de Buenos Aires, Argentina

<sup>3</sup> Médico de Staff, servicio de Diagnóstico por Imágenes, Hospital Británico de Buenos Aires, Argentina

<sup>4</sup> Jefa de servicio de Diagnóstico por Imágenes, Hospital Británico de Buenos Aires, Argentina

# Objetivos de Aprendizaje

- Describir las ventajas de incorporar imágenes de resonancia magnética funcional y de tractografía en pacientes con lesiones cerebrales que son candidatos a cirugía.
- Ilustrar con casos de nuestra institución.

# Introducción

- Un eje fundamental en la neurocirugía es resecar la mayor parte de la lesión y minimizar el déficit neurológico postoperatorio (postCx)
- Mayor desafío: casos donde la lesión compromete o está lindante a áreas elocuentes y/o a fibras nerviosas funcionalmente relevantes.
- Existen métodos “gold standard” para el mapeo de las áreas corticales funcionales y de la sustancia blanca subyacente o próxima a la lesión, pero no están exentos de limitaciones.
- La resonancia magnética funcional (IRMf) y la tractografía de la sustancia blanca pueden ser útiles para la planificación y resección quirúrgica.

# Resección quirúrgica

- La resección quirúrgica es el tratamiento más efectivo para la mayor parte de las lesiones cerebrales
  - La supervivencia y calidad de vida están vinculadas con la extensión de la resección y el resguardo de las áreas elocuentes
- **Objetivo: ↑ resección + ↓ pérdida de funciones cognitivas.**

# Métodos «gold standard»

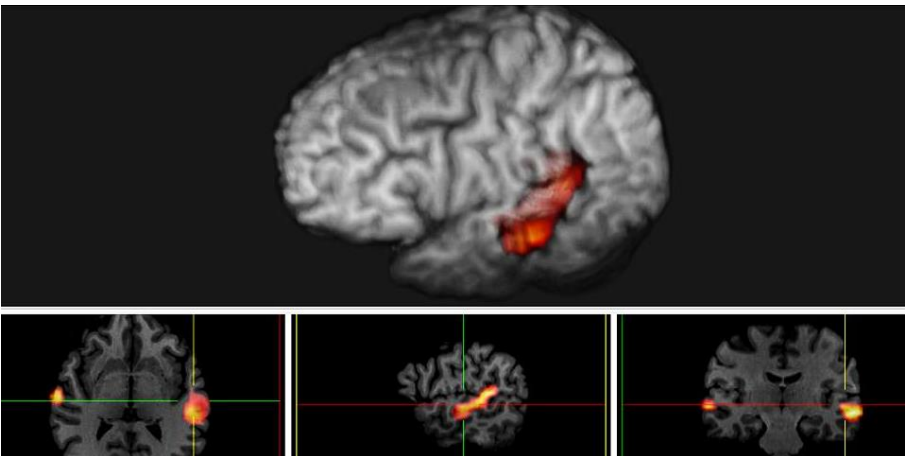
- **Localización de áreas elocuentes:**
  - ✓ Mapeo cortical intraCx (estimulación cortical directa con electrodo bipolar, grilla de electrodos, electrocortico-grafía, etc)
  - ✓ Mapeo cortical extraCx (electrodos subdurales/profundos)
  - ✓ Potenciales evocados
  - ✓ Test de amobarbital (Wada) → PreCx
  - ✓ EEG
  - ✓ Ultrasonido
  - ✓ Criterio anatómico
  - ✓ Cirugía despierto para mapeo de lenguaje

# Métodos «gold standard»

- **Limitaciones:**
  - ✓ Requieren Cx para obtener información funcional (no aptos para planificación quirúrgica previa, o bien el paciente se somete a Cx en dos tiempos)
  - ✓ Invasivos
  - ✓ Temporalmente costosos
  - ✓ Examen conductual breve (pocas tareas)
  - ✓ Dificultad test-re test
  - ✓ Áreas corticales limitadas al campo quirúrgico
  - ✓ No todos los pacientes son candidatos a realizar cirugía despierto
  - ✓ Las áreas funcionales pueden reorganizarse, desplazarse o deformarse debido a la lesión, imposibilitando un criterio anatómico preciso.

# Imágenes de resonancia magnética funcional (IRMf)

- Es una técnica no invasiva que mapea indirectamente la actividad neuronal
- Objetivo: hacer un **MAPA CORTICAL**
- El paciente realiza una tarea mientras se adquieren imágenes de RM
- Las áreas cerebrales involucradas con la tarea aumentan el consumo de oxígeno, provocando un aumento del flujo sanguíneo hacia esas áreas.
- Los cambios en los niveles de oxígeno en sangre (BOLD, por sus siglas en inglés) modifican la señal de RM
- Esta señal se analiza matemáticamente, obteniendo el **MAPA CORTICAL**



# IRMf

- **Ventajas**

- ✓ Mapa de activación cortical individual
- ✓ No invasivo
- ✓ Rápido
- ✓ Admite test-retest
- ✓ Implica el cerebro completo (incluye sustancia gris profunda)
- ✓ puede integrarse en sistemas de guía quirúrgica (neuronavegación)

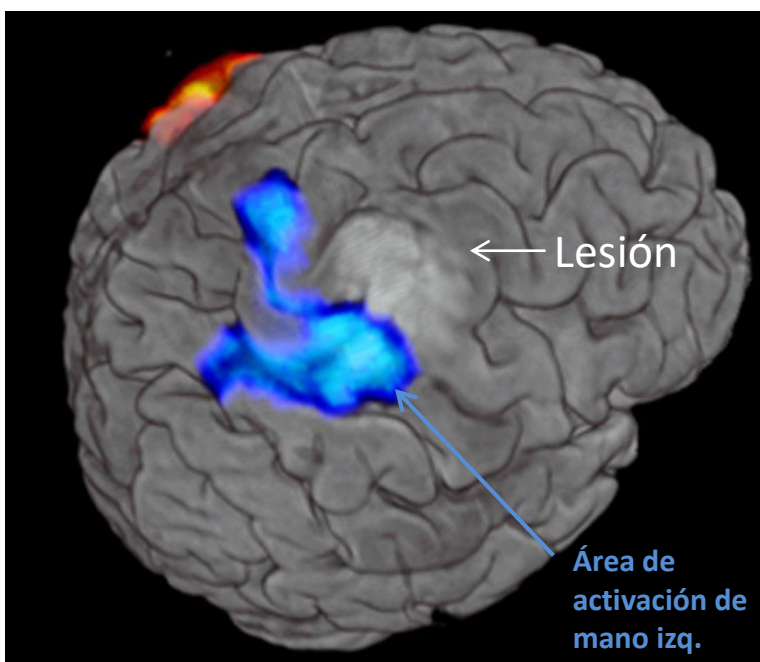
- **Limitaciones/Desventajas**

- ✓ Análisis e interpretación muy demandantes (reorganización cortical, movimiento durante adquisición, etc)
- ✓ Efectos de perfusión en la lesión
- ✓ No todas las áreas activadas son funcionalmente elocuentes
- ✓ Áreas no activadas podrían ser funcionalmente elocuentes (falsos negativos)



# IRMf en planificación y resección quirúrgica

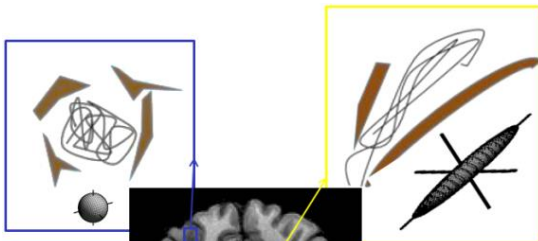
- Identifica áreas funcionalmente elocuentes y las combina con imágenes estructurales de alta resolución → **relación espacial entre lesión y funcionalidad.**



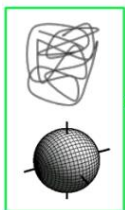
# Imágenes de difusión (IRMd)

- La señal de RM es sensible a la difusión del agua.  
→ IRMd

En SG, desorganizada  
→ difusión  
isotrópicamente  
restringida



En LCR, el agua se  
mueve más  
libremente (no hay  
barreras) → difusión  
isotrópica

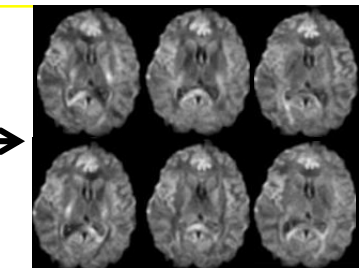


En SB, altamente organizada,  
con barreras como la mielina, la  
densidad y el diámetro de los  
axones, y la integridad de la  
membrana axonal → difusión  
anisotrópica, **se mueve paralela  
a las fibras nerviosas**

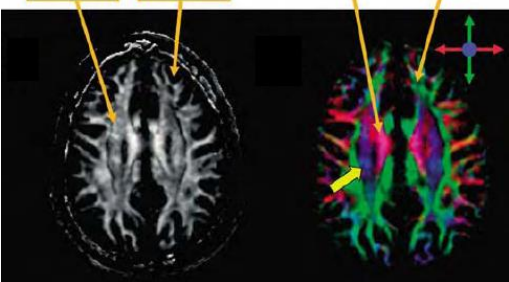
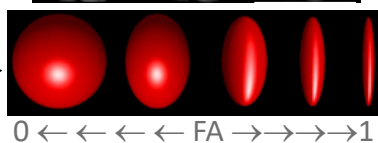
Al adquirir IRMd midiendo  
la difusión en varias  
direcciones espaciales  
diferentes...



...se puede determinar la forma, el  
grado o factor de anisotropía (FA)



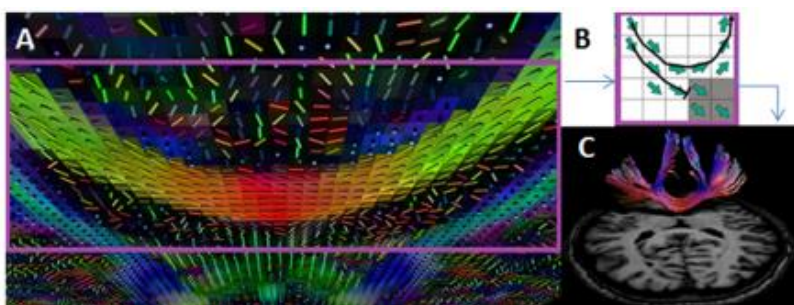
y la dirección en la que se mueve el  
agua...



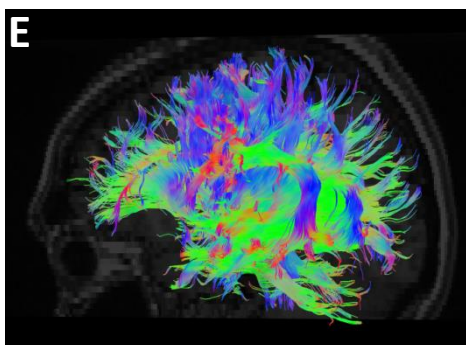
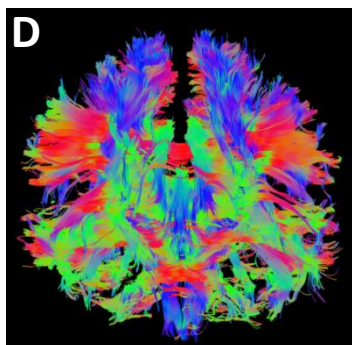
... y calcular el mapa de FA en  
escala de grises (grado de  
anisotropía), o a color  
(dirección de movimiento).  
Rojo: fibras de derecha-  
izquierda. Verde antero-  
posteriores. Azul los cráneo-  
caudales

# Tractografía

- Es una representación tridimensional de las fibras nerviosas
- Se obtiene a partir de imágenes de RM de difusión (IRMd)
- La tractografía parte de la dirección de las fibras de un voxel (A, mapa FA color) y proyecta una línea que la une a la orientación de las fibras del voxel vecino (B), y así sucesivamente, formando la representación tridimensional de las fibras nerviosas (C, D, E)



**Es el único método no invasivo capaz de mostrar la arquitectura de la sustancia blanca (SB) in vivo**



# Tractografía

- **Ventajas**

- ✓ Imagen estructural de la SB
- ✓ No invasivo
- ✓ Rápido
- ✓ Test-re test
- ✓ Implica el cerebro completo
- ✓ la información puede ser integrada en sistemas de guía quirúrgica (neuronavegación)

- **Limitaciones/Desventajas**

- Entrecruzamiento de fibras
- ↓ FA dentro de la lesión por:
  - ✓ Edema y células tumorales que infiltran espacio entre axones
  - ✓ Necrosis
- Movimiento

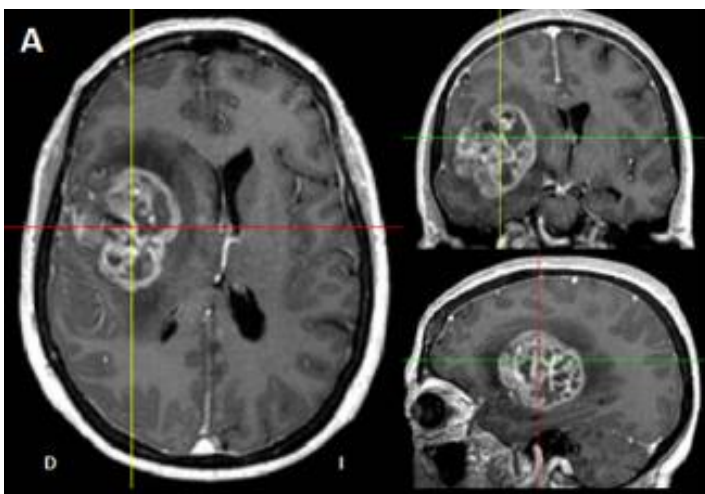
# IRMf y tractografía en planificación y resección quirúrgica

Colabora en la toma de decisiones:

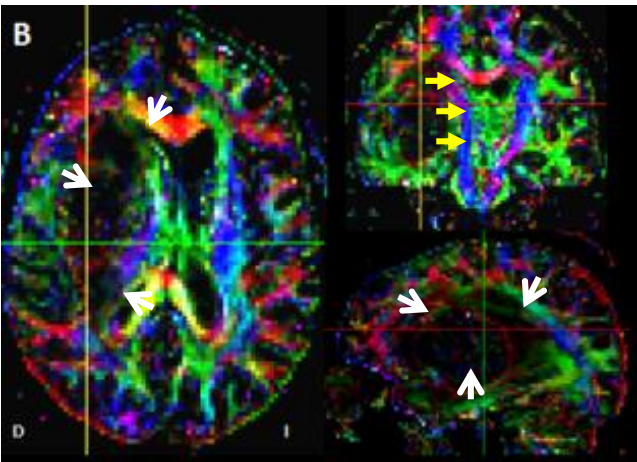
- **¿El paciente es candidato a cirugía?**
  - ✓ Resección resulta en daño en corteza o SB elocuente/resección completa vs parcial/biopsia esterotáctica/RT/etc.
- **¿Cómo debe llevarse a cabo la cirugía?**
  - ✓ Guían abordaje y trayectoria quirúrgica
  - ✓ Guían márgenes seguros de resección
- **¿Requiere EEG/mapeo intra y/o extraoperatorio?**
  - ✓ Mapa cortical, de SG subcortical y trayectoria de fibras nerviosas de todo el cerebro
- **Además:**
  - ✓ ↓ tiempo Cx y anestesia
  - ✓ ↓ tamaño craneotomía
  - ✓ Guía la estimulación eléctrica cortical intraCx en vez de mapeo «de novo»

# Caso 1

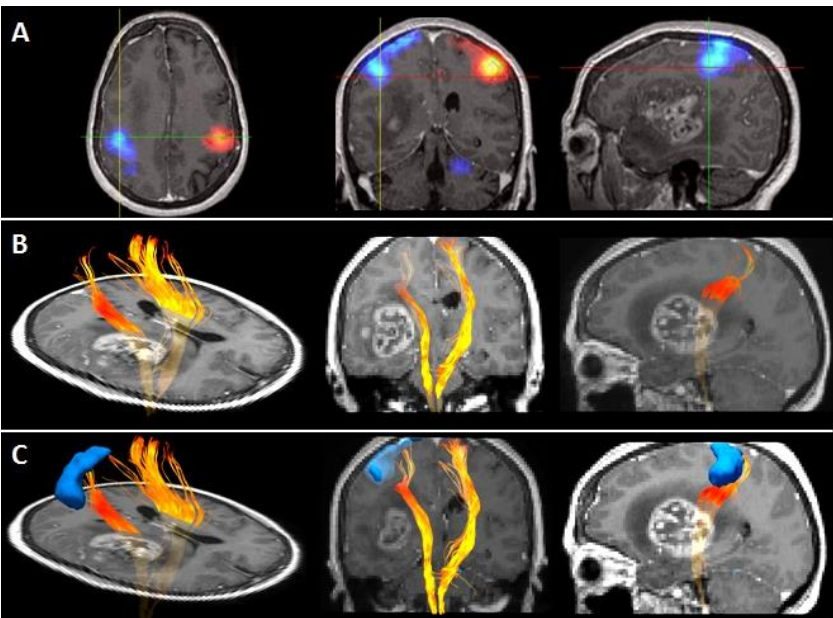
- Paciente diestra de 61 años
- Formación sólida fronto-temporo-insular derecha con áreas necrótico/quísticas
- Edema vasogénico y/o infiltración tumoral circundante
- Efecto de masa sobre estructuras adyacentes con desviación de la línea media, borramiento de los surcos y colapso casi total del sistema ventricular derecho
- Compatible con **glioblastoma**



# Caso 1



Mapa de colores de FA:  
 - pérdida de estructura de la SB debido a la naturaleza infiltrativa de la lesión (flechas blancas)  
 - desplazamiento de las fibras nerviosas (flechas amarillas)



A) Activación cortical motora de manos.

B) Tractos córtico-espinales.

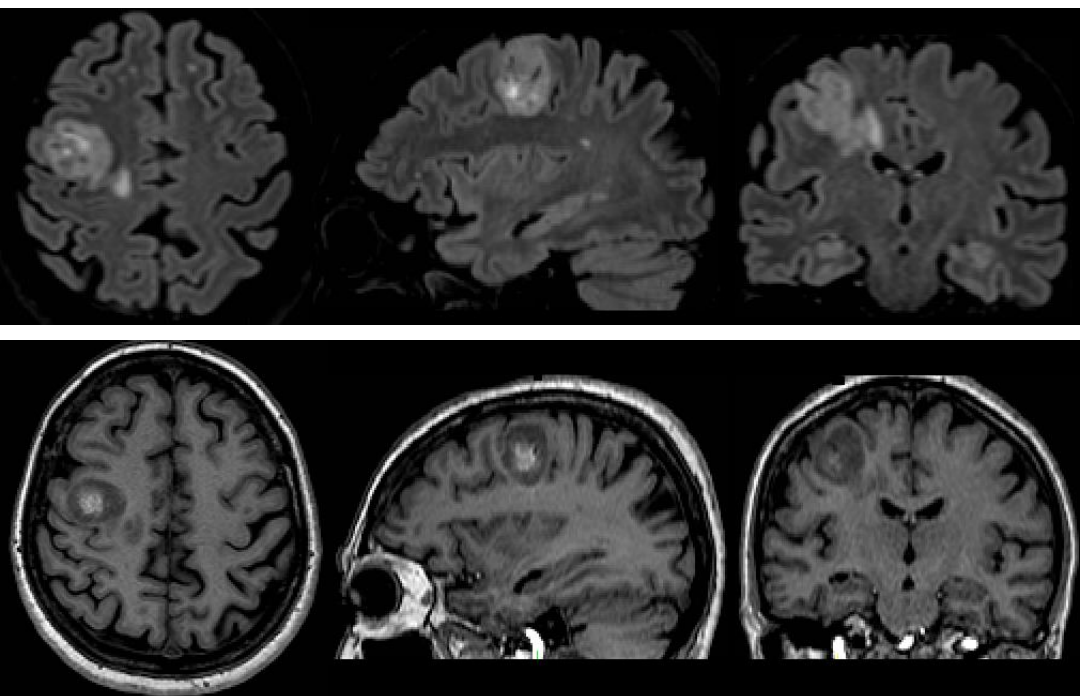
C) Fusión de A)+ B)

## IRMf + tractografía, ayudan a planificar:

- trayectoria de la Cx para no dañar la corteza motora de la mano izquierda (azul)
- márgenes seguros de resección para no dañar las fibras nerviosas corticospinales

## Caso 2

- Paciente de 71 años
- Formación de aspecto infiltrante córtico-subcortical derecha ubicada a nivel precentral y en situación inmediatamente caudal al surco frontal superior y rodilla del surco central, de aspecto necrótico/quístico
- Efecto de masa sobre estructuras adyacente
- Compatible con **glioblastoma**



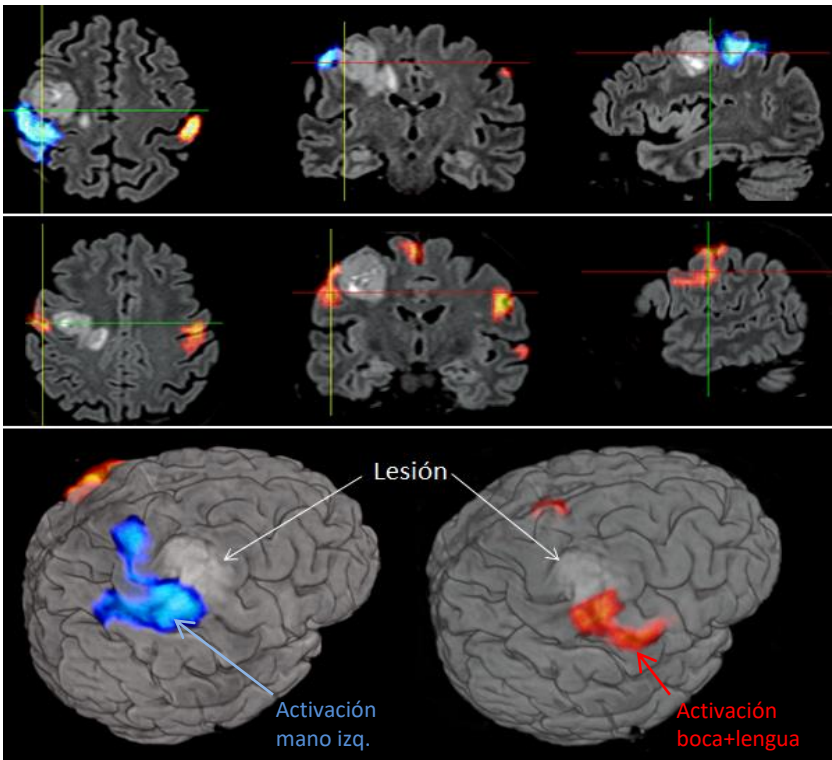


## Caso 2

A) IRMf motora de manos.

B) IRMf motora de boca y lengua

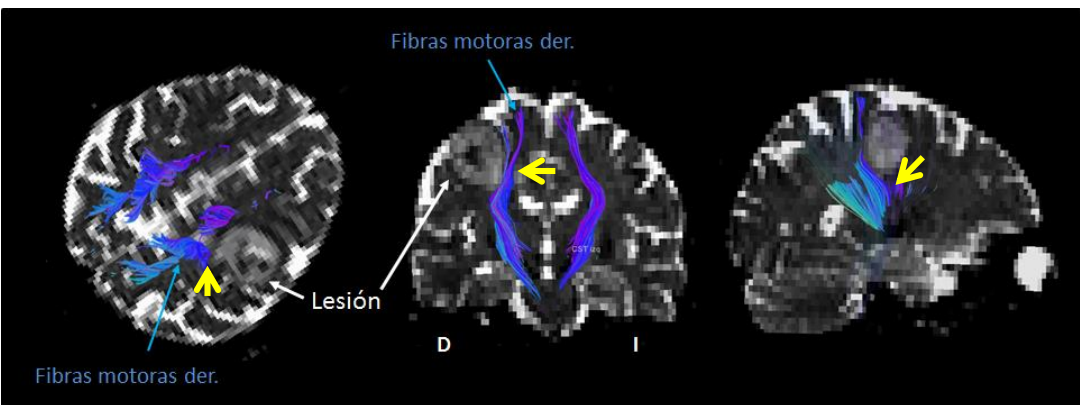
C) Lesión próxima a corteza motora de mano izq. y de lengua y boca



### Estos hallazgos colaboran en:

- ✓ decisión del abordaje quirúrgico para evitar daños motores de mano izq., lengua y boca.
- ✓ trayectoria y márgenes de resección seguros
- ✓ ↓ tamaño de la craneotomía
- ✓ guían estimulación cortical intraCx sin necesidad de mapeo de la corteza “de novo” →
  - ↓ tiempo de estimulación
  - ↓ tiempo de Cx
  - ↓ tiempo anestesia.

## Caso 2



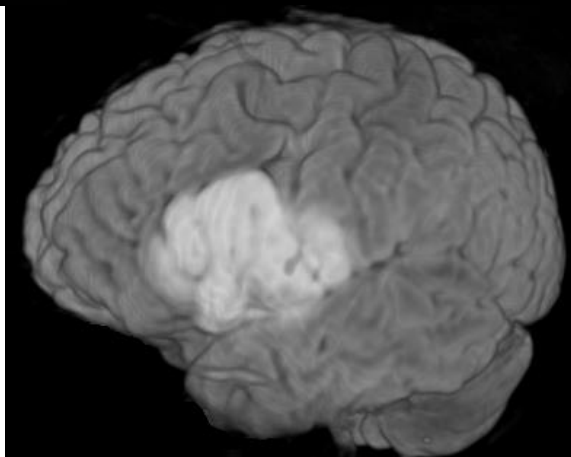
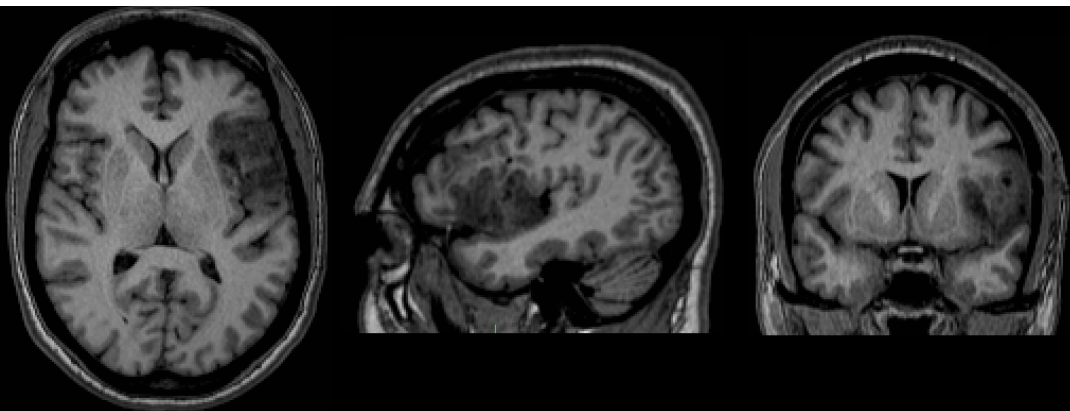
Tractografía de las fibras motoras, en íntima relación con la lesión.

El recorrido de las fibras está en contacto con el borde interno e inferior de la lesión (flechas amarillas), mostrando:

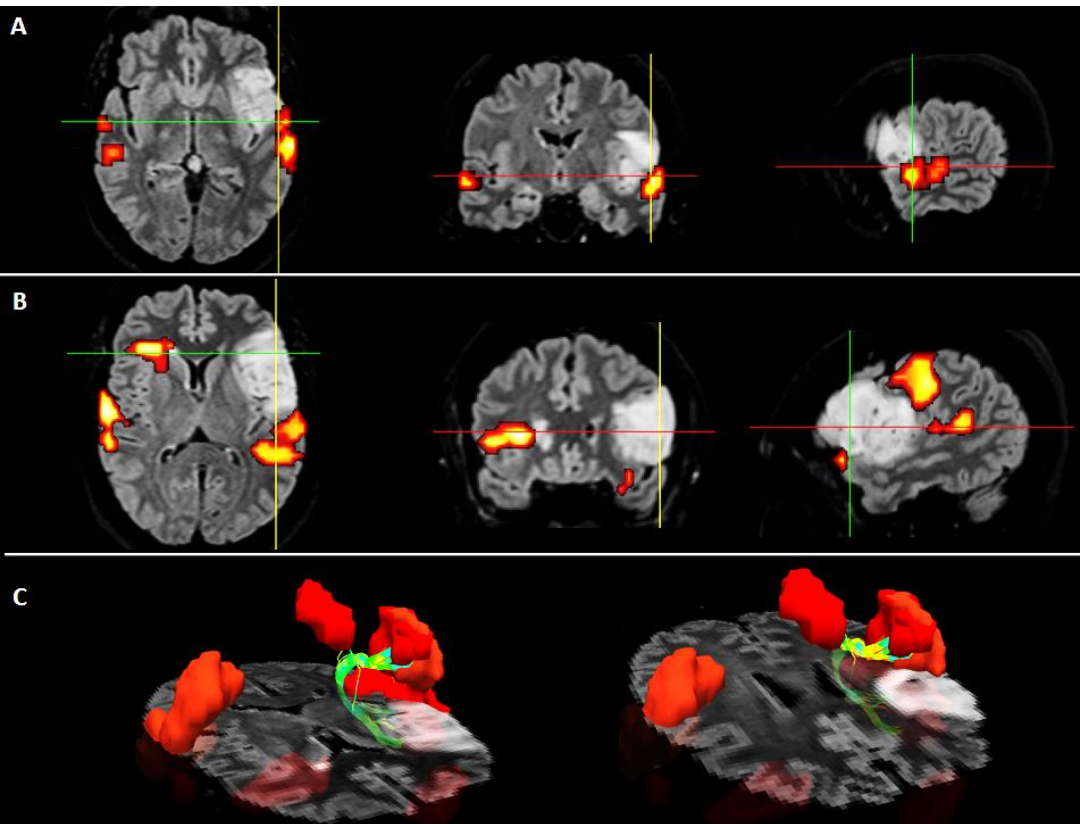
- necesidad del monitoreo intraCx a nivel de la SB profunda
- márgenes seguros de resección para no dañar fibras motoras

## Caso 3

- Paciente diestra de 44 años
- Lesión córtico-subcortical, en topografía fronto-insular anterior izquierda
- Sin bordes definidos, vinculable a proceso expansivo e infiltrante.
- Compatible con **tumor glial de bajo grado**



## Caso 3



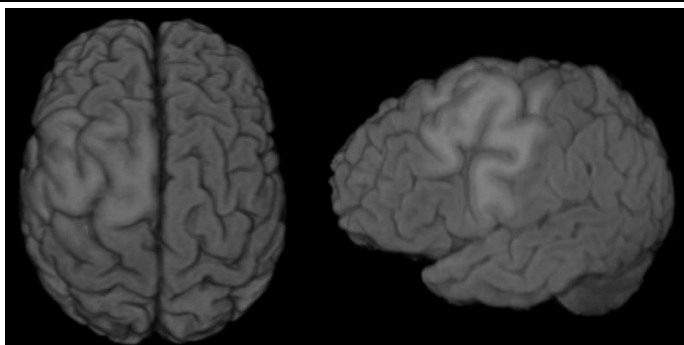
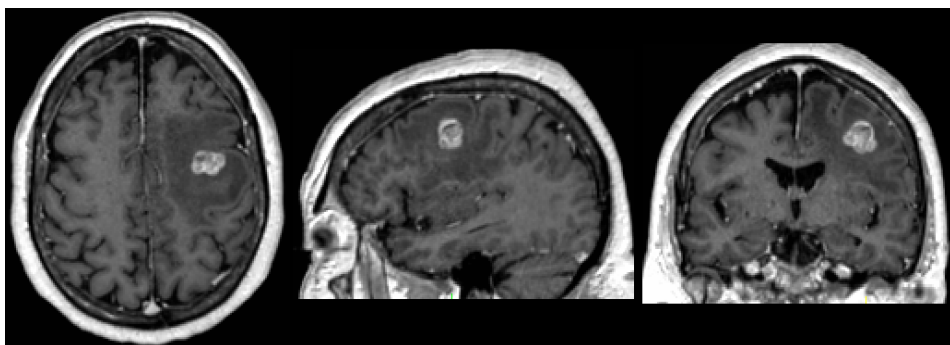
- IRMf de lenguaje (A y B) bilateral, compatible con lesión de lento crecimiento, donde la paciente pudo reclutar áreas del hemisferio sano para compensar. Áreas elocuentes adyacentes a la lesión

→ ¿se despierta al paciente durante la cirugía?

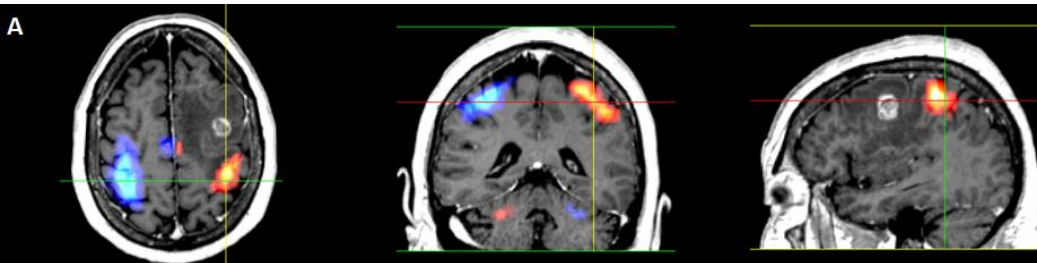
- IRMf + tractografía (C) muestra que el fascículo arcuato izquierdo (verde) se ubica en situación profunda a lesión, dejando poco margen seguro de resección.

## Caso 4

- Paciente diestra de 64 años
- Formación nodular córtico-subcortical en la convexidad frontal izquierda
- Rodeada de edema vasogénico
- Efecto de masa con borramiento de los espacios subaracnoideos corticales circundantes, compresión del ventrículo lateral adyacente y leve desviación de la línea media.
- Antecedentes: carcinoma de pulmón
- Compatible con **metástasis**



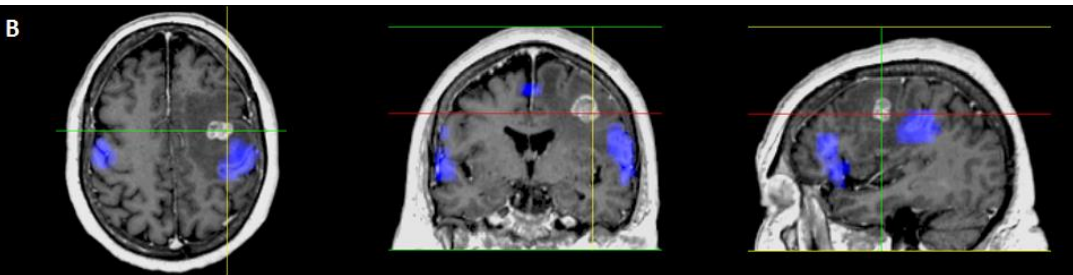
## Caso 4



IRMf de manos. Las activaciones se encuentran en áreas anatómicas esperables (no hubo remodelación cortical).

- La mano derecha (rojo) separada a más de 2 cm de la lesión, por el surco central:

→ se descarta necesidad de monitoreo intraCx motor.

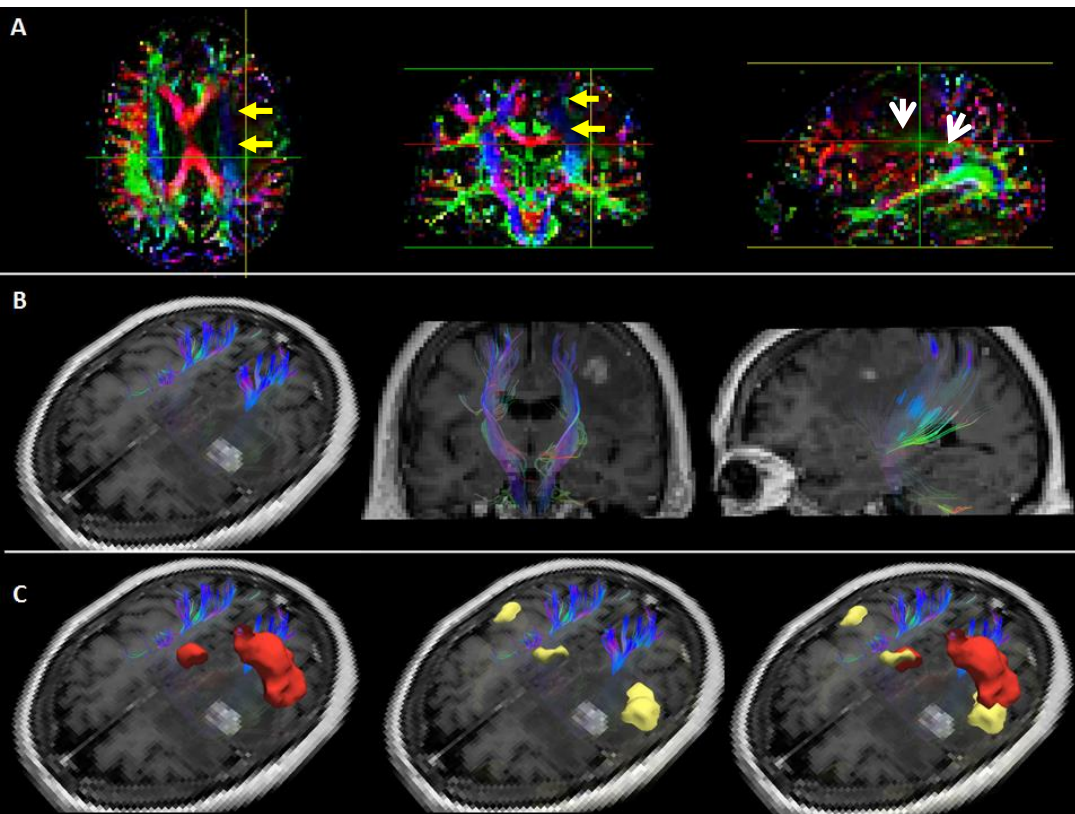


IRMf de lenguaje: lateralización a predominio izquierdo.

- Activación en la periferia del edema vasogénico circundante a la lesión:

→ hay margen seguro hasta los bordes del nódulo.

## Caso 4



Mapa color de FA (A):

- alteración en la integridad de la SB producida por el edema, evidente a nivel del fascículo arcuato (A, flechas blanca) y de la porción anterior del tracto corticospinal (A, flechas amarillas).

Reconstrucción del tracto corticospinal (B):

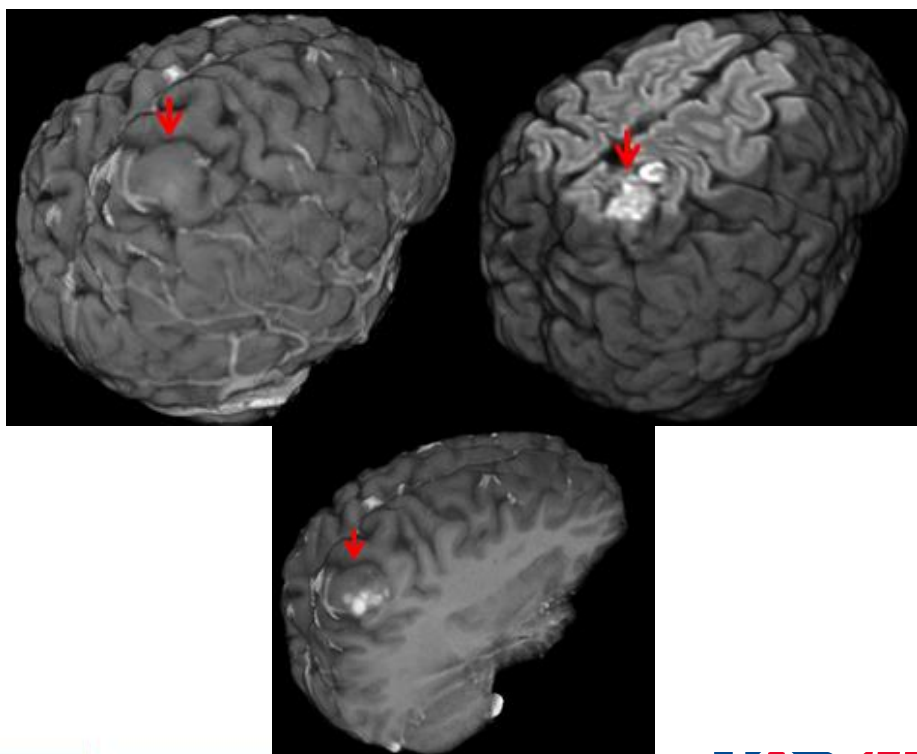
- distancia a la lesión > 1 cm, pero NO SE LOGRA RECONSTRUIR COMPLETO POR INFILTRACIÓN O LIMITACIÓN DE LA TÉCNICA?  
→ se considera monitoreo intraCx para verificar el estado y trayectoria de los tractos.

IRMf + tractografía (C):

- aparenta distancia segura para la resección del nódulo

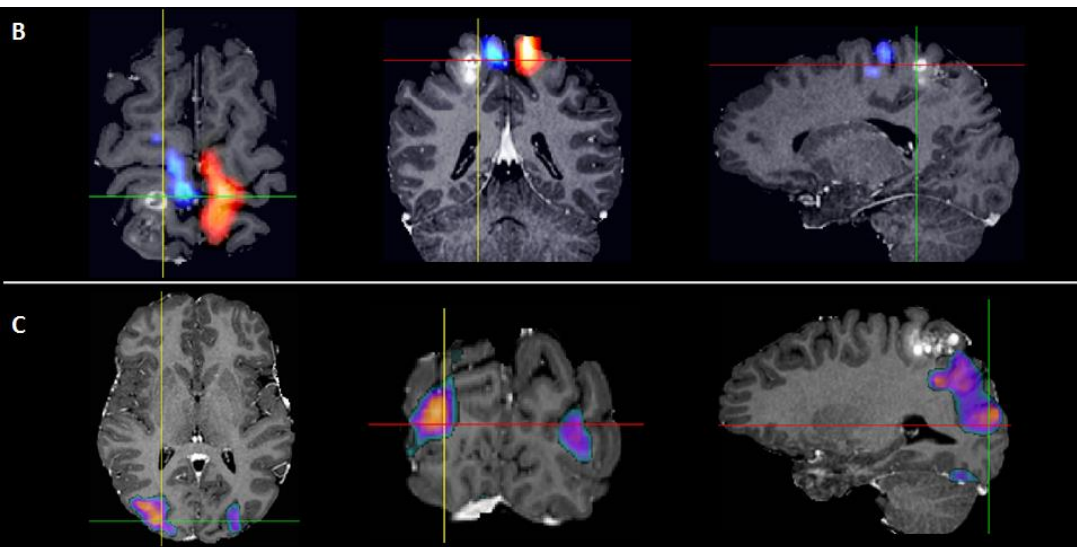
## Caso 5

- Paciente de 16 años
- Lesión córtico subcortical en la convexidad parietal derecha, a nivel de la circunvolución parietal superior
- Contornos irregulares con áreas de hemorragia en etapa subaguda-crónica.
- Mínimo efecto de masa por colapso de algunos surcos adyacentes
- Compatible con **malformación venosa cavernomatosa**



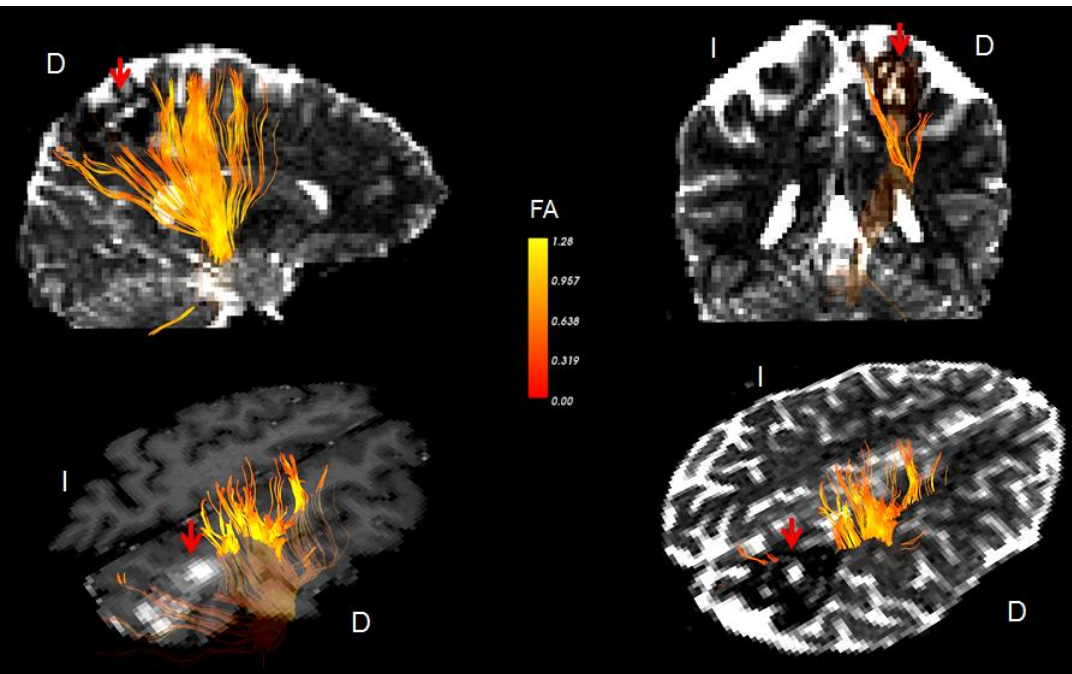


## Caso 5



- IRMf motora del pie izquierdo (B, azul) en gran proximidad al borde anterior de la lesión. Se observa desplazamiento del área funcional hacia delante y hacia la línea media con respecto al pie derecho (B, rojo)
- IRMf visual (C) en corteza visual secundaria y terciaria, en estrecho contacto con borde pósteroinferior de la lesión.

## Caso 5



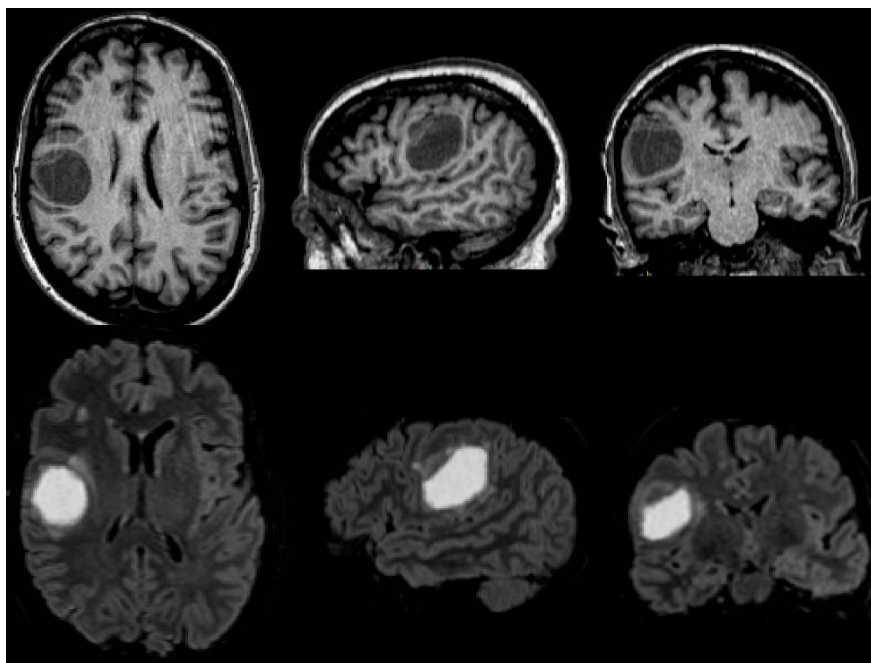
Tractografía de la vía corticospinal, predominantemente ventral y anterior a la lesión.

### IRMf + tractografía:

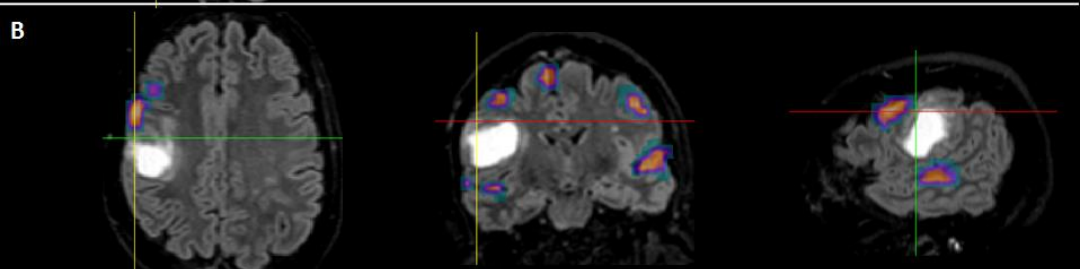
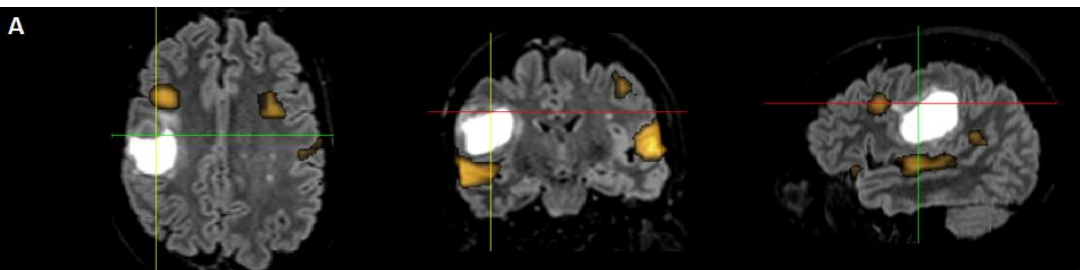
- indicarían desplazamiento de corteza funcional y de vías nerviosas asociadas principalmente por delante de la lesión
  - guía mapeo eléctrico hacia ese lugar, sin buscarlo «de novo», que llevaría más tiempo
  - disminuye tiempos (Cx, anestesia, etc)
  - minimiza extensión de craneotomía porque ya se sabe que la mano está lejos (>2 cm, no se muestra) y que pie y vías motoras por delante y medial)
  - define márgenes seguros de resección

## Caso 6

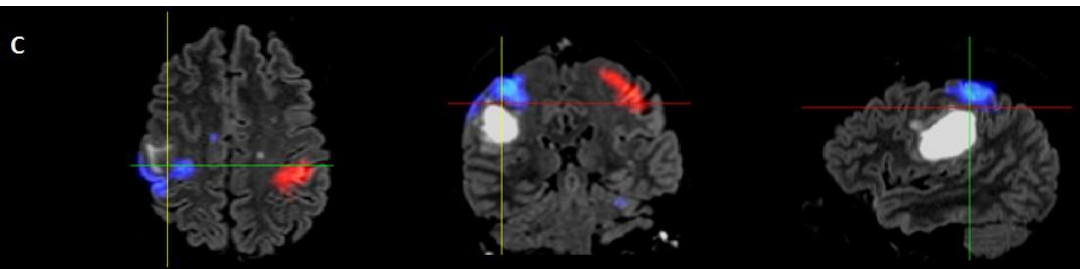
- Paciente zurda de 61 años
- Lesión mixta ocupante de espacio frontoparietal derecha
- Leve efecto de masa sobre las estructuras adyacentes
- Antecedentes: carcinoma neuro-endócrino de vejiga
- Compatible en primer término con **metástasis**
- Paresia facio-braquio-crural izquierda que mejora con corticoides



## Caso 6

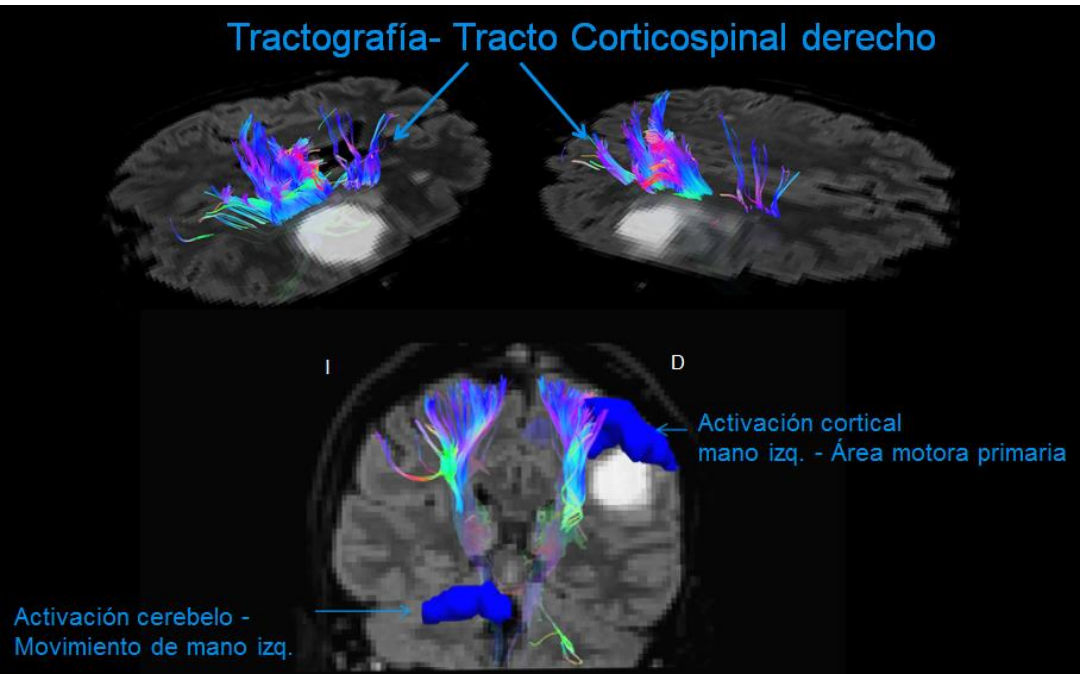


- IRMf del lenguaje sin clara lateralización, con áreas de Broca próximas al borde anterior de la lesión (A)
- IRMf de boca y lengua próximas al borde súpero-anterior de la lesión (B), consistente con paresia facial inicial.



- IRMf motora de mano izq. (C, azul) en relación al borde pótero-superior de la lesión
- IRMf motora de pie izq. resultó a más de 2cm de la lesión (no se muestra imagen) → se asume paresia crural inicial vinculada a daño en SB → se hace tractografía.

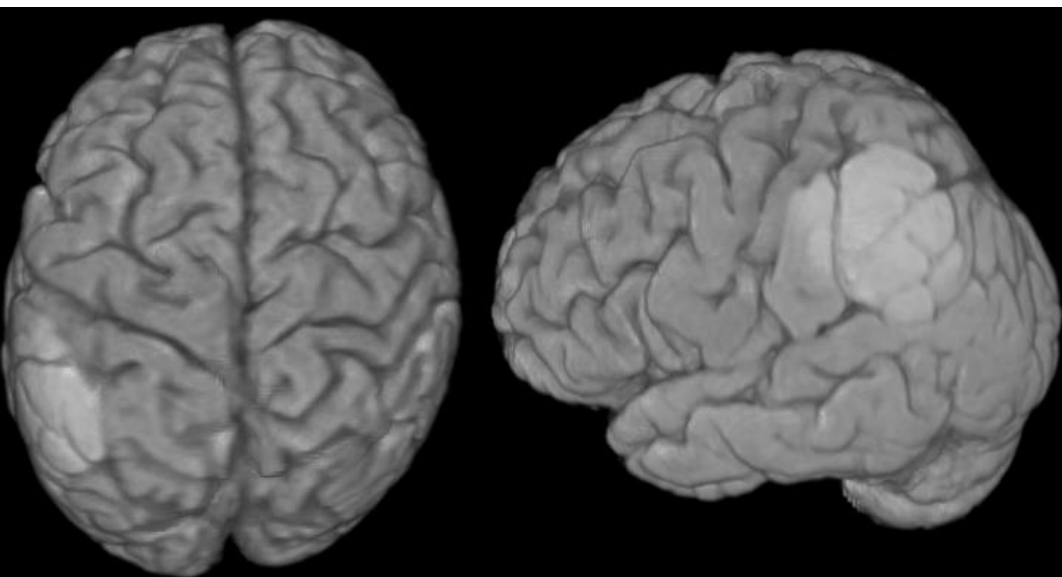
## Caso 6



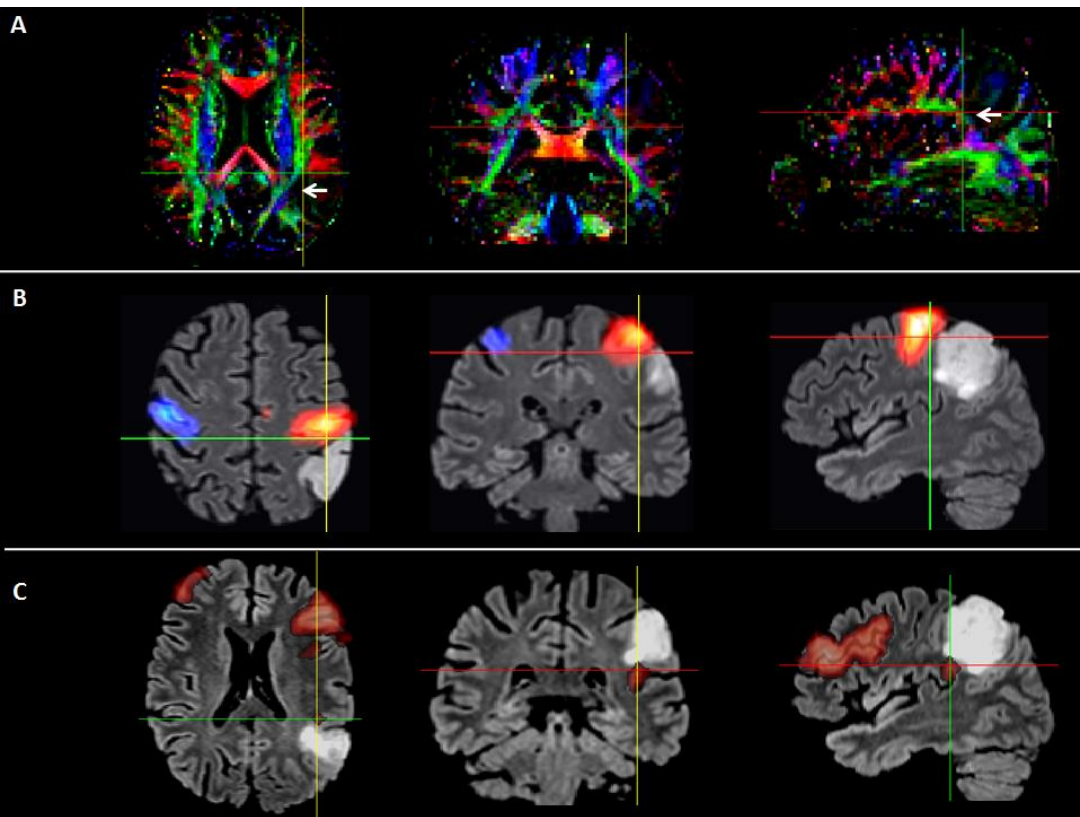
- Tractografía de vía córtico-espinal derecha (arriba) en íntima relación con el borde interno de la lesión, consistentemente con la clínica de la paciente, aunque no aparenta desplazarlo ni infiltrarlo
- IRMf + tractografía:
  - delimitan márgenes seguros de resección
  - guían trayectoria y abordaje quirúrgico
  - colaboran en la explicación de la clínica del paciente

## Caso 7

- Paciente diestro de 59 años
- Lesión infiltrativa córtico-subcortical de localización parietal izquierda
- Borramiento de los surcos
- Compatible con **tumor glial de bajo grado**
- Afasia nominativa y de expresión



## Caso 7



Mapa color de FA a color (A):

- borramiento de la estructura normal de la SB en contacto con la lesión, lo cual se condice con su naturaleza infiltrativa
- falta de integridad del fascículo arcuato (A, flechas blancas) en concordancia con afasia inical

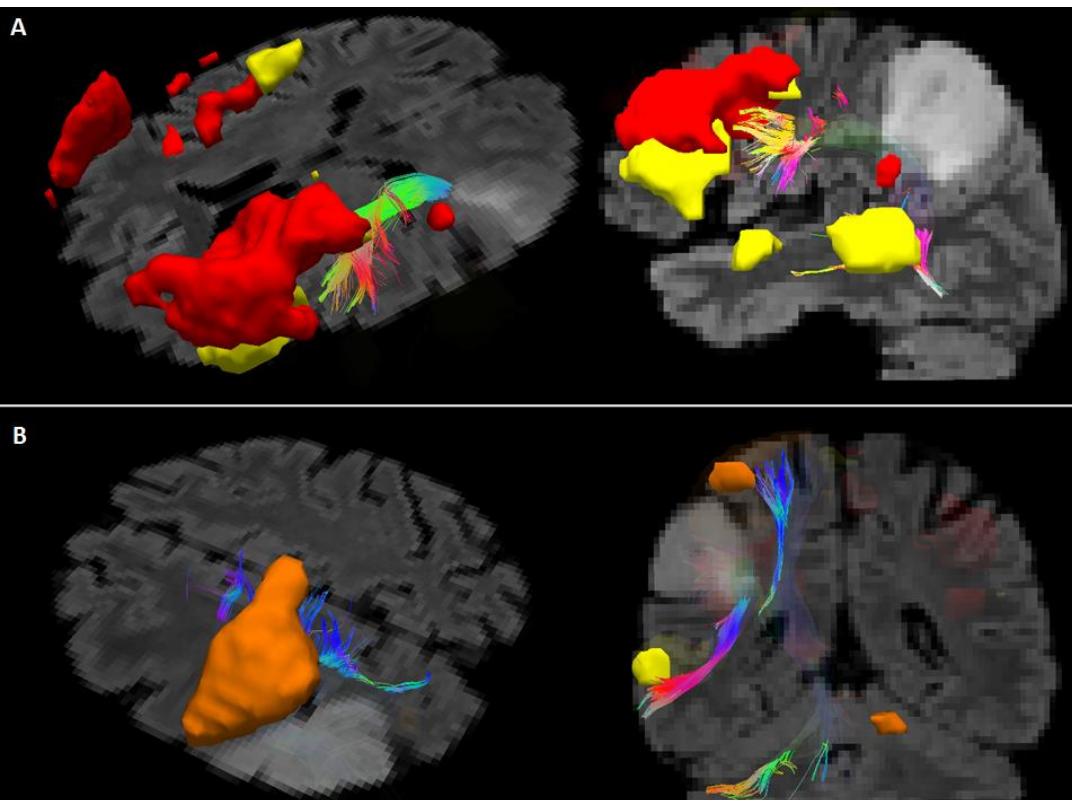
IRMf motora de mano derecha (B, rojo) en áreas anatómicas esperables, por delante de la lesión, separadas por un surco.

IRMf muestra dominancia izquierda del lenguaje (C), con activación en área de Wernicke en contacto con la lesión

→ Cx con paciente despierto?

→ selección de las tareas de lenguaje a evaluar

## Caso 7



### Tractografía del fascículo arcuato + activaciones de lenguaje (A)

- infiltración parcial tumoral del fascículo arcuato del lado izquierdo
- Activación del lenguaje (Wernicke) en borde anterior de la lesión

### Tractografía + IRMf (B):

- impronta de la lesión sobre el tracto corticoespinal izquierdo (B).
- relación anatómica entre ambos tractos y la lesión

→ resección parcial de la lesión? Compromete áreas elocuentes por delante de la lesión y fibras nerviosas en el borde interno inferior a la misma

→ guían la trayectoria, los límites de la resección y el monitoreo intraCx



# Conclusiones

- ↑ confianza al ↓ riesgo de secuelas neurológicas
- Guía el abordaje y trayectoria quirúrgica
- Guía la estimulación eléctrica
- ↓ tiempo Cx
- ↓ tiempo anestesia
- ↓ extensión de craneotomía
- ↑ área de resección con ↑ éxito en resguardo de funciones neurológicas
- Mejora prognosis

# Bibliografía

1. Castellano, A., Cirillo, S., Bello, L., Riva, M., Falini, A. Functional MRI for Surgery of Gliomas. *Curr Treat Options Neurol.* 2017; 19: 34. <https://doi.org/10.1007/s11940-017-0469-y>
2. Ulmer JL, Klein AP, Mueller WM, DeYoe EA, Mark LP. Preoperative Diffusion Tensor Imaging: Improving Neurosurgical Outcomes in Brain Tumor Patients. *Neuroimaging Clinics of North America.* 2014; 24(4): 599-617. <https://doi.org/10.1016/j.nic.2014.08.002>
3. Tymowski, M., Majchrzak, K., Bobek-Billewicz, B., Ladziński, P., Majchrzak, H. The use of functional magnetic resonance imaging in reducing a risk of postoperative neurological deficits in the patients with brain tumour. *Neurologia i neurochirurgia polska.* 2013; 47(6):547-554. <https://doi.org/10.5114/ninp.2013.39072>
4. Panesar SS, Abhinav K, Yeh FC, Jacquesson T, Collins M, Fernandez-Miranda J. Tractography for Surgical Neuro-Oncology Planning: Towards a Gold Standard. *Neurotherapeutics.* 2019; 16(1):36-51. <https://doi.org/10.1007/s13311-018-00697-x>
5. Essayed WI, Zhang F, Unadkat P, Cosgrove GR, Golby AJ, O'Donnell LJ. White matter tractography for neurosurgical planning: A topography-based review of the current state of the art. *Neuroimage Clin.* 2017; 15: 659-672. doi: 10.1016/j.nicl.2017.06.011. eCollection
6. Giussani C, Roux F-E, Ojemann J, Sganzerla E P, Pirillo D, Papagno C. Is Preoperative Functional Magnetic Resonance Imaging Reliable for Language Areas Mapping in Brain Tumor Surgery? Review of Language Functional Magnetic Resonance Imaging and direct Cortical Stimulation Correlation Studies. *Neurosurgery.* 2010; 66:113-120. doi: 10.1227/01.NEU.0000360392.15450.C9

**¡Muchas gracias!**