



Nuevos retos en Neurorradiología

Carlos Pérez García, MD PhD

Neurorradiología Intervencionista
Hospital Clínico San Carlos
Madrid



Inteligencia artificial

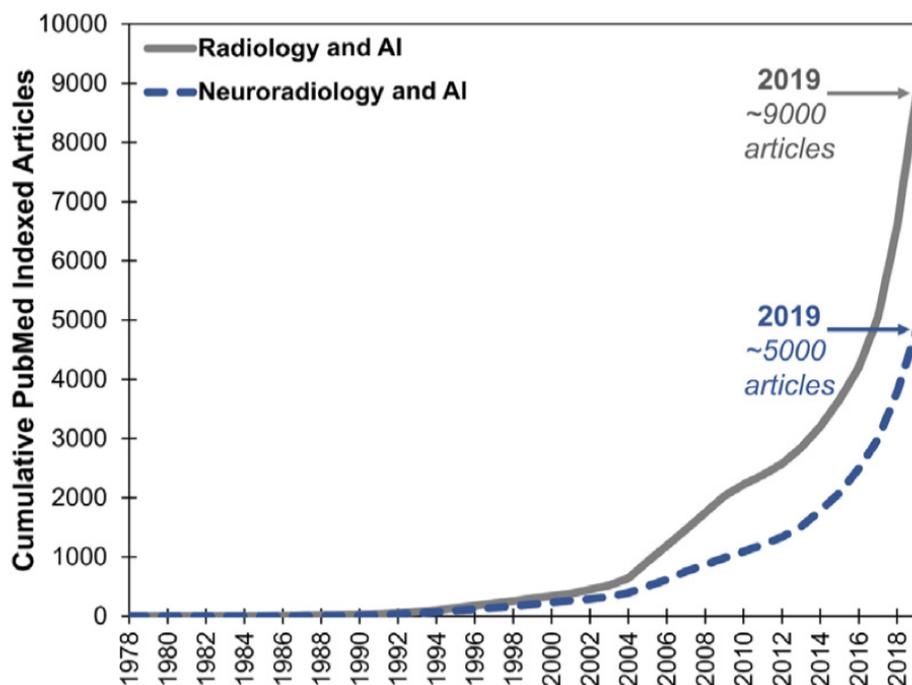


Inteligencia artificial

¿Por qué debería importarnos?

¿Seremos reemplazados por máquinas?

¿Debemos adoptar a la IA para potenciar nuestro trabajo?



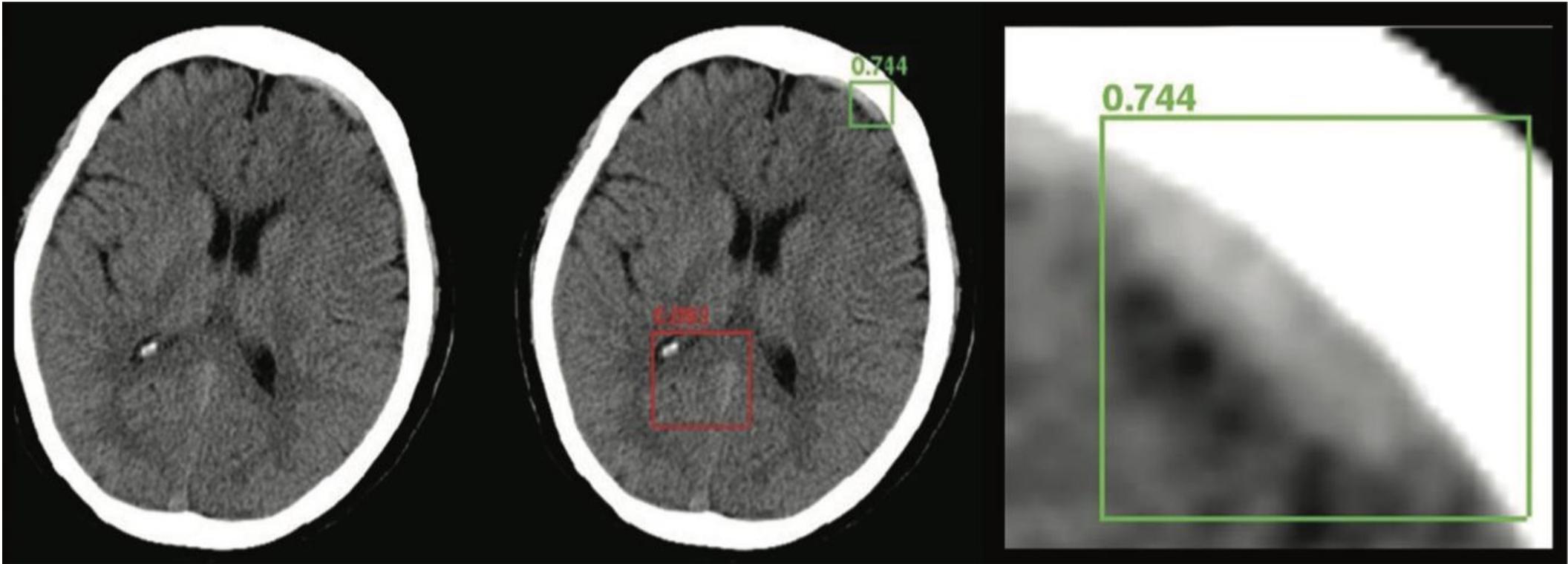
NRX → la subespecialidad más representada

1. Datos ricos, multidimensionales, multicontraste y multimodales
2. A la vanguardia de las innovaciones en materia de imagen
3. Innumerables problemas sin resolver

Inteligencia artificial

Cartera actual de IA y aplicaciones emergentes

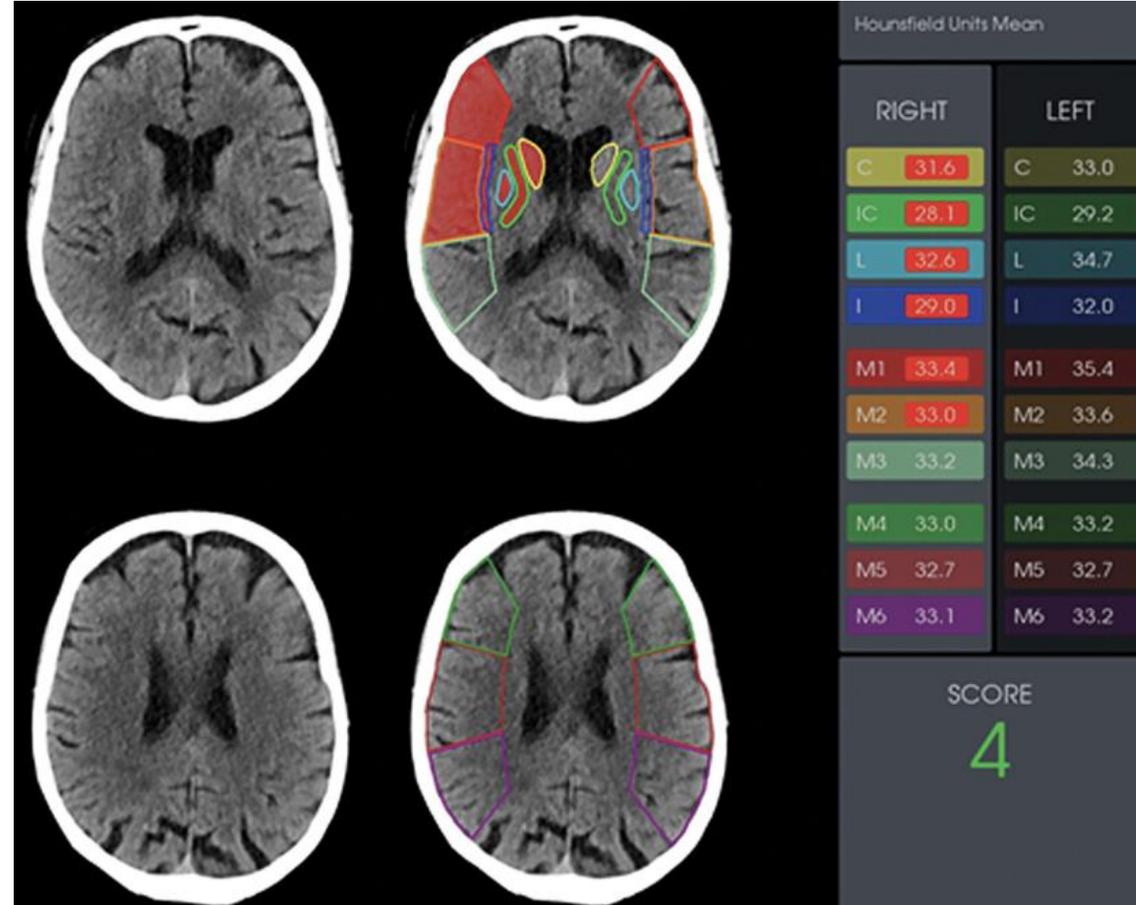
- **Detección de las anomalías.**



Inteligencia artificial

Cartera actual de IA y aplicaciones emergentes

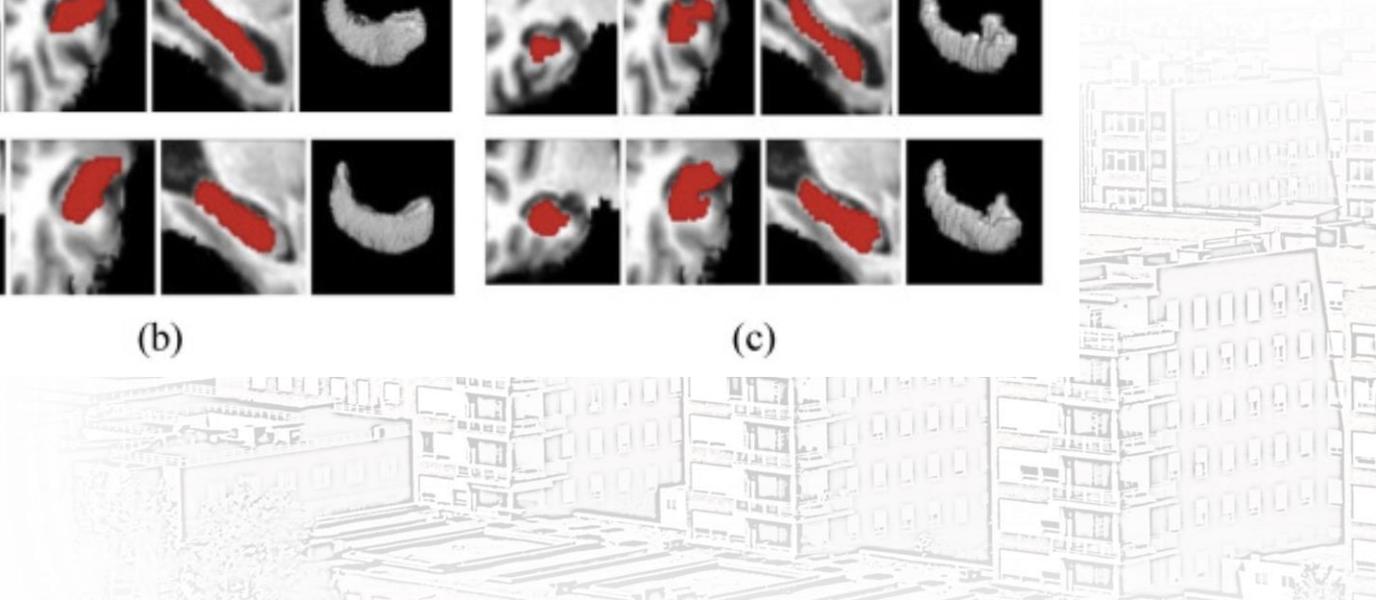
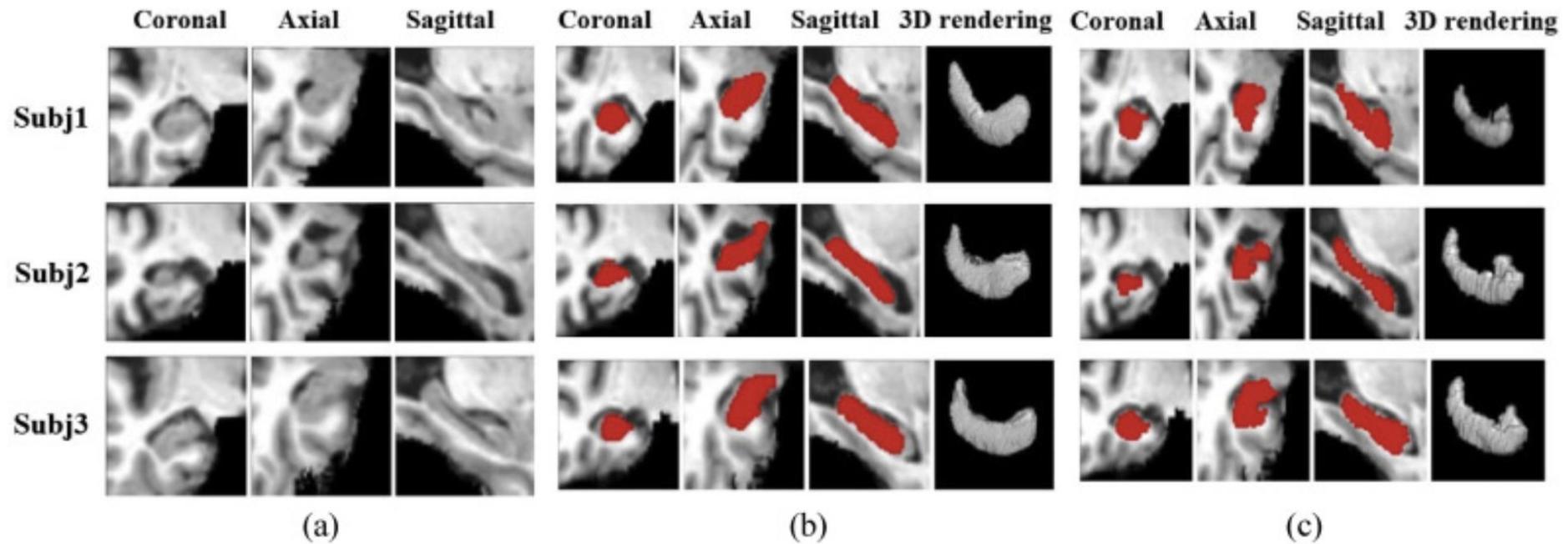
- **Detección de las anomalías.**



Inteligencia artificial

Cartera actual de IA y aplicaciones emergentes

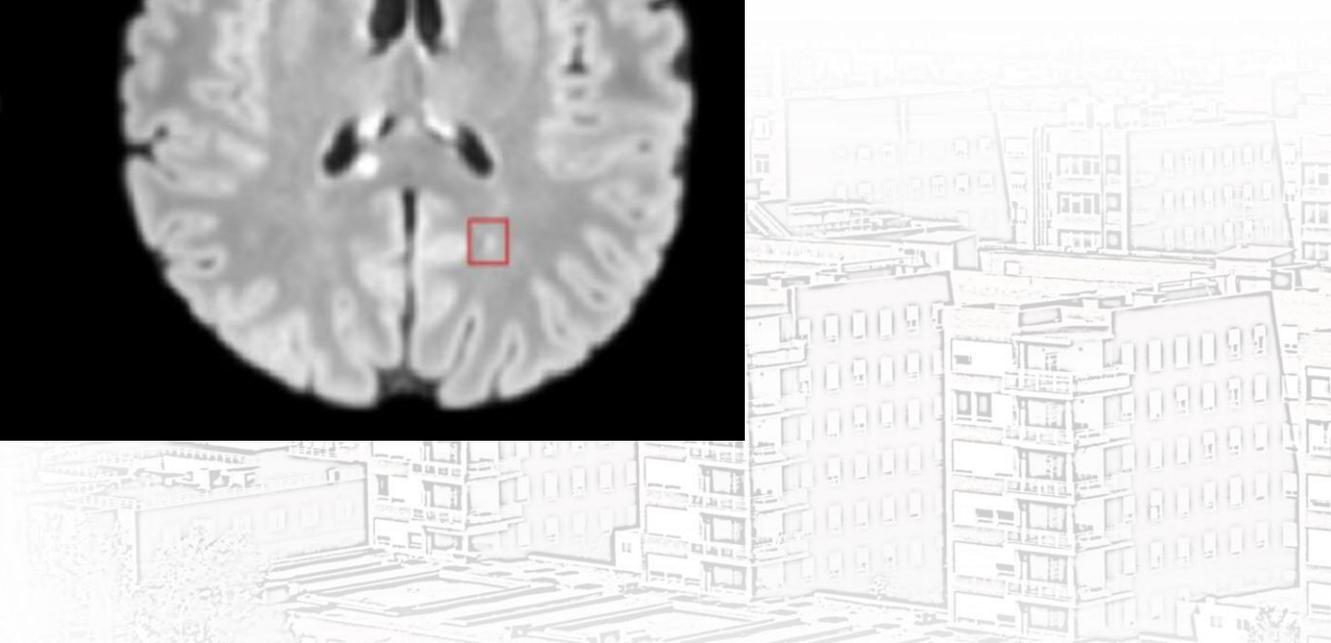
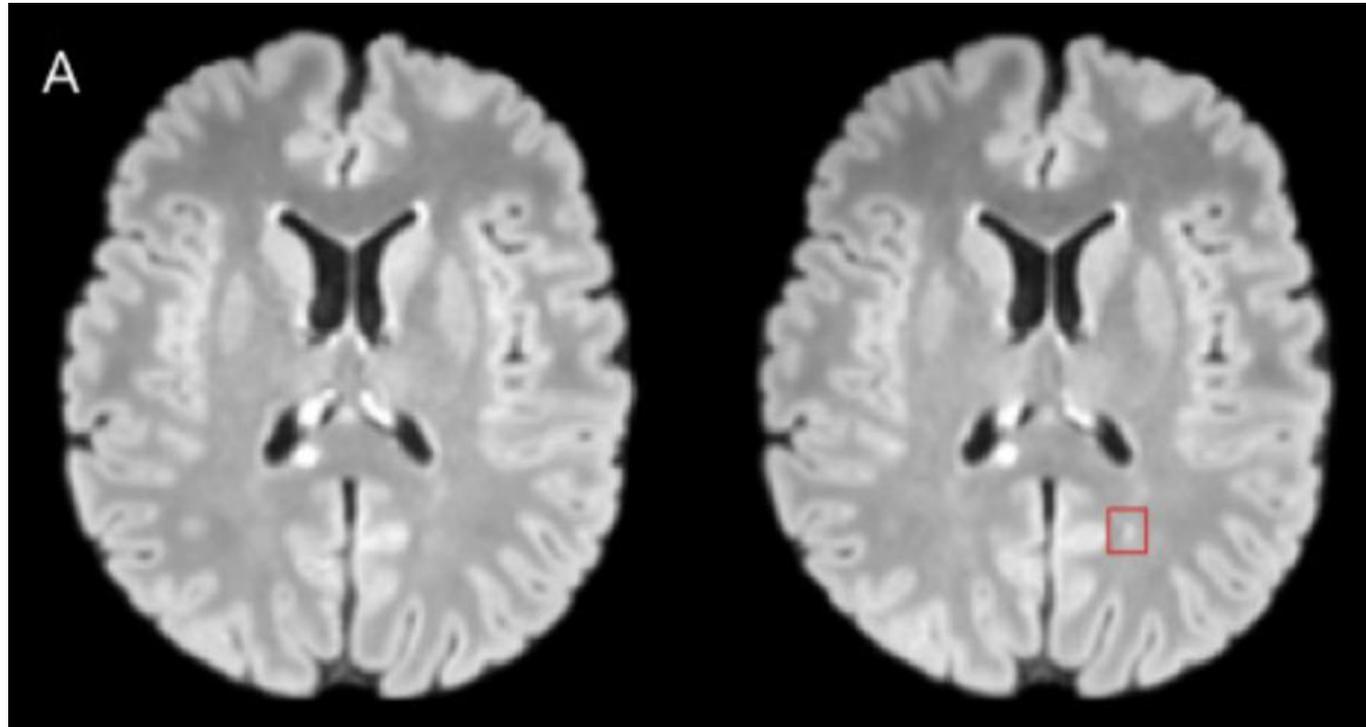
- **Detección de las anomalías.**
- **Cuantificación de enfermedades.**



Inteligencia artificial

Cartera actual de IA y aplicaciones emergentes

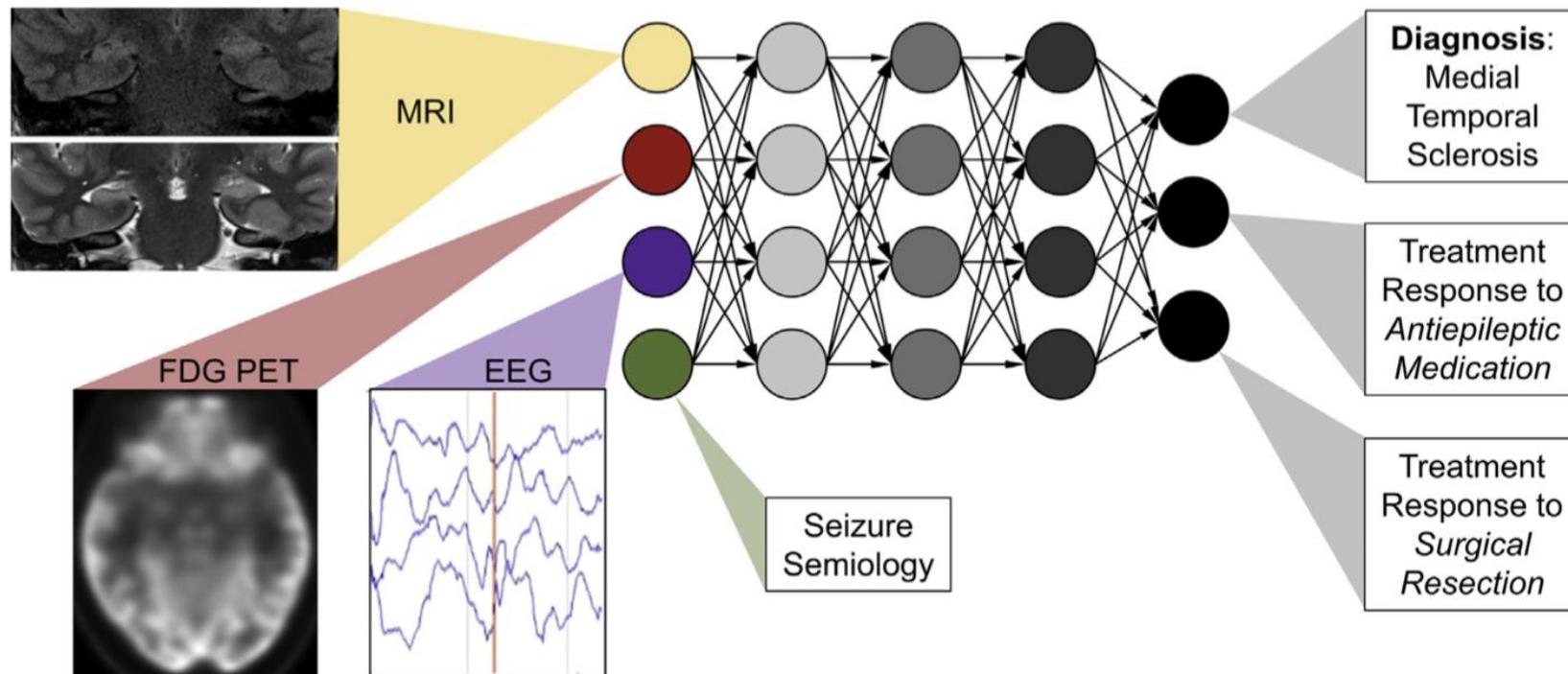
- **Detección** de las anomalías.
- **Cuantificación** de enfermedades.



Inteligencia artificial

Cartera actual de IA y aplicaciones emergentes

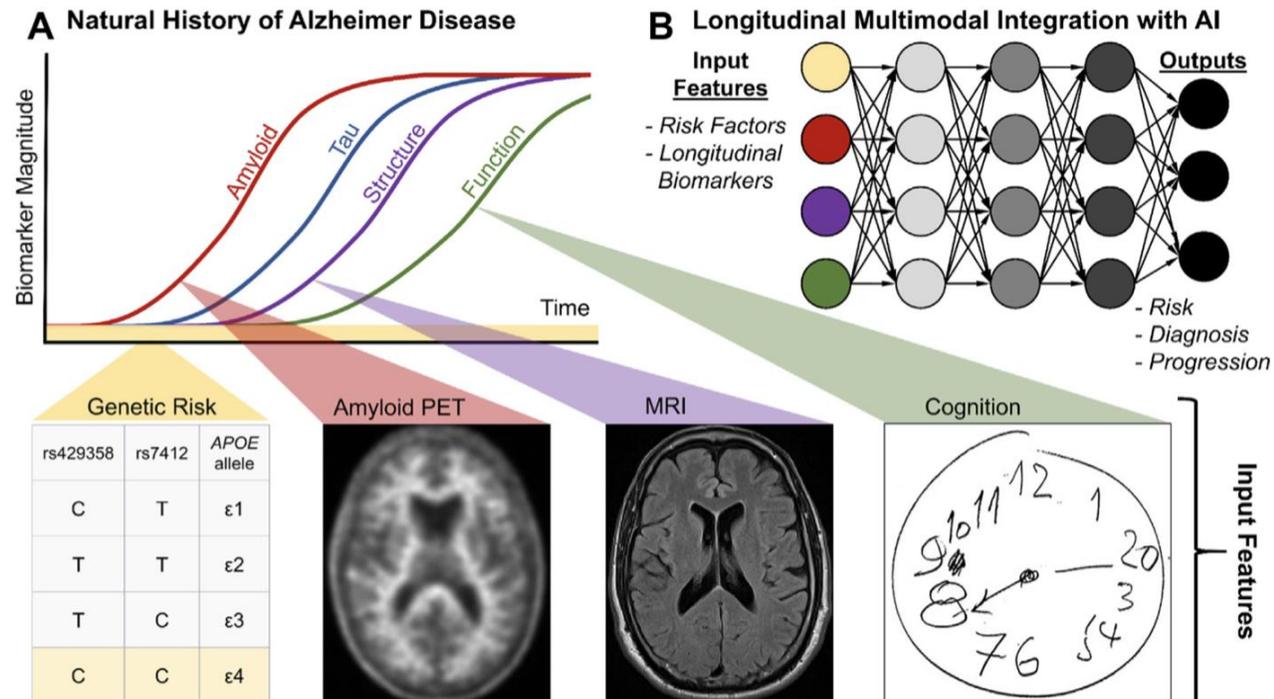
- **Detección** de las anomalías.
- **Cuantificación** de enfermedades.
- **Predicciones** con modelos de integración multimodal.



Inteligencia artificial

Cartera actual de IA y aplicaciones emergentes

- **Detección de las anomalías.**
- **Cuantificación de enfermedades.**
- **Predicciones con modelos de integración multimodal.**



**¿La inteligencia artificial es el RETO
más importante que afrontaremos
en la Neurorradiología?**



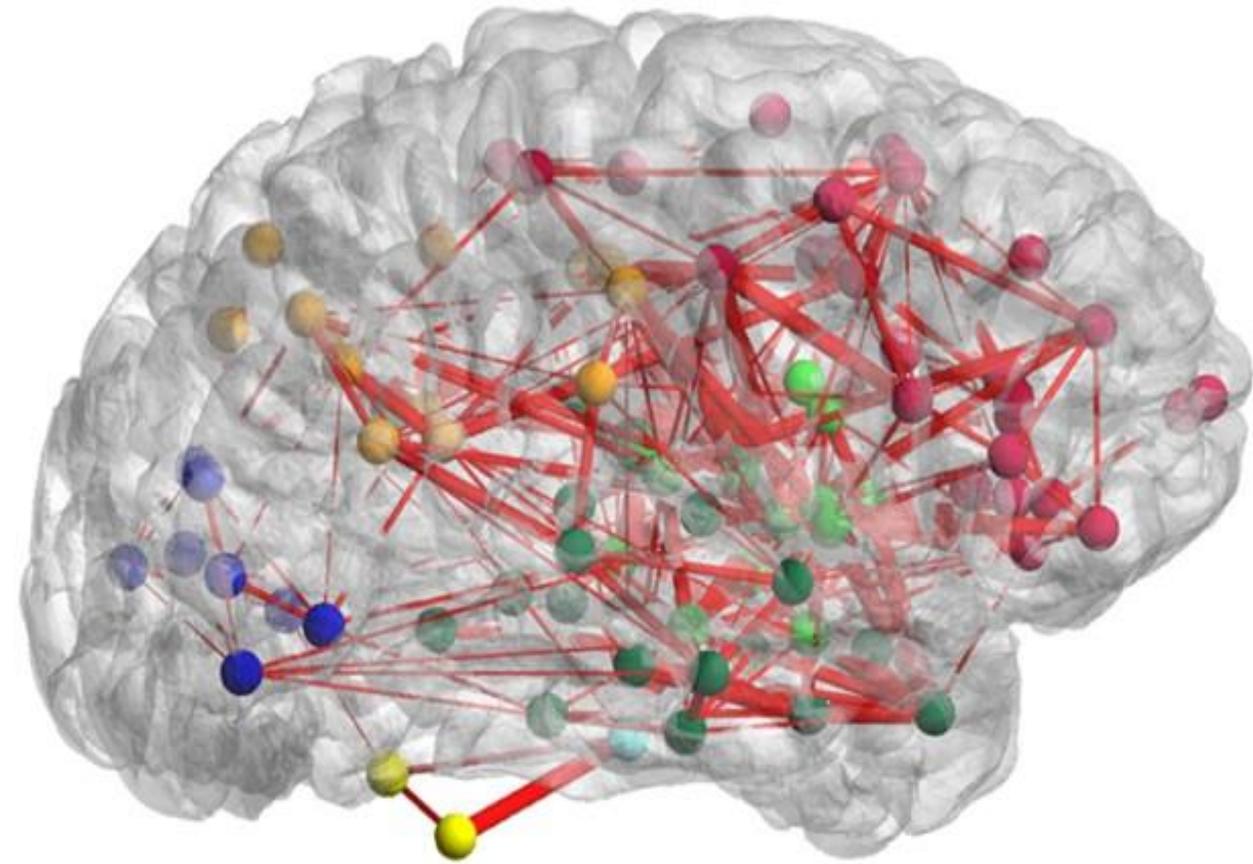
**Inteligencia
artificial**



Nuevos RETOS

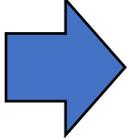


Conectómica



Conectómica

sXIX y sXX



Teoría LOCALIZACIONISTA

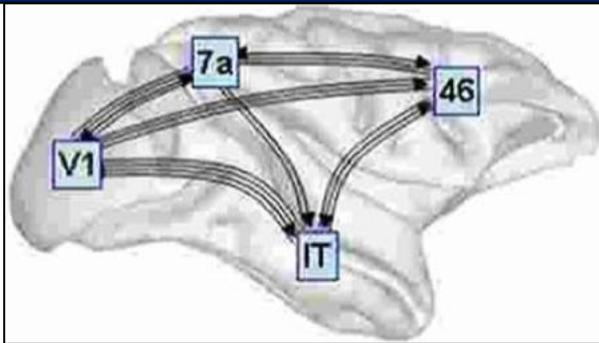
- Ciertas funciones cognitivas (lenguaje) están representadas en regiones cerebrales concretas.
- El daño en estas regiones corticales provocaría el cese de la función.



Conectómica

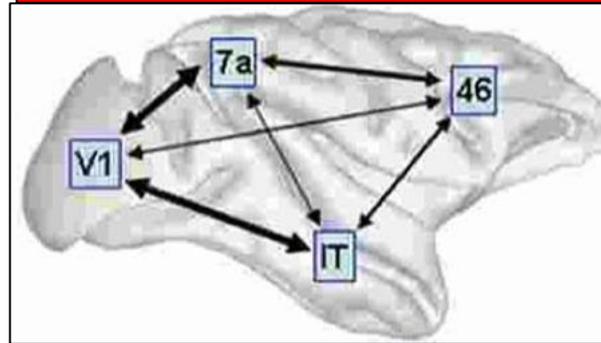
Área de investigación que pretende proporcionar mapas completos de todas las conexiones neuronales dentro del sistema nervioso.

Conectividad Estructural



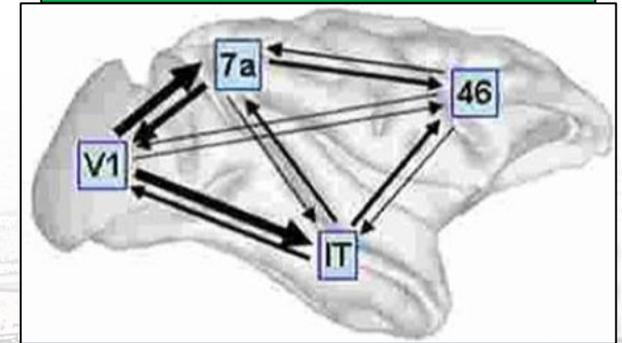
Elementos **estructurales** y **conexiones** que forman el cerebro humano

Conectividad Funcional



Activaciones **simultáneas** de unidades neuronales espacialmente remotas

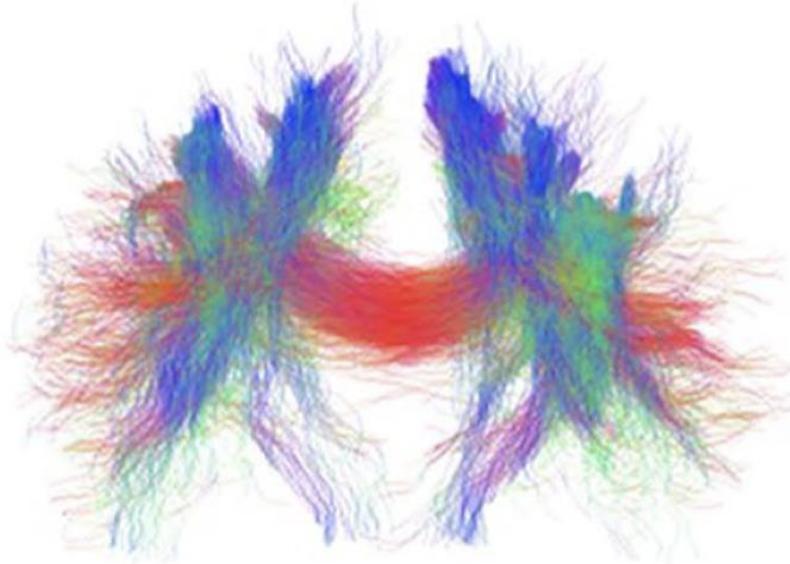
Conectividad Efectiva



Influencias causales que determinadas unidades neuronales ejercen sobre otras unidades neuronales

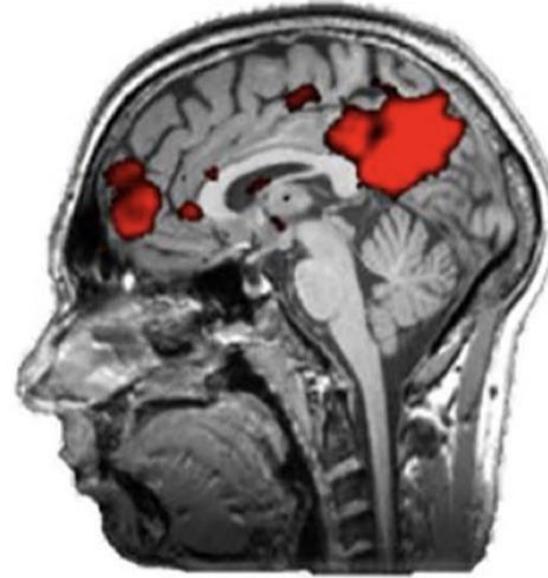
Conectómica

Conectividad Estructural



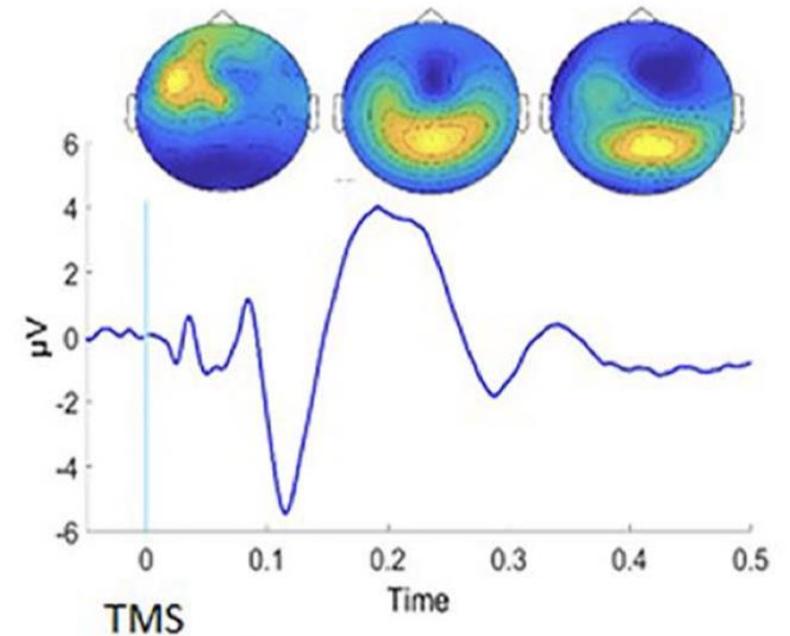
Tractography

Conectividad Funcional

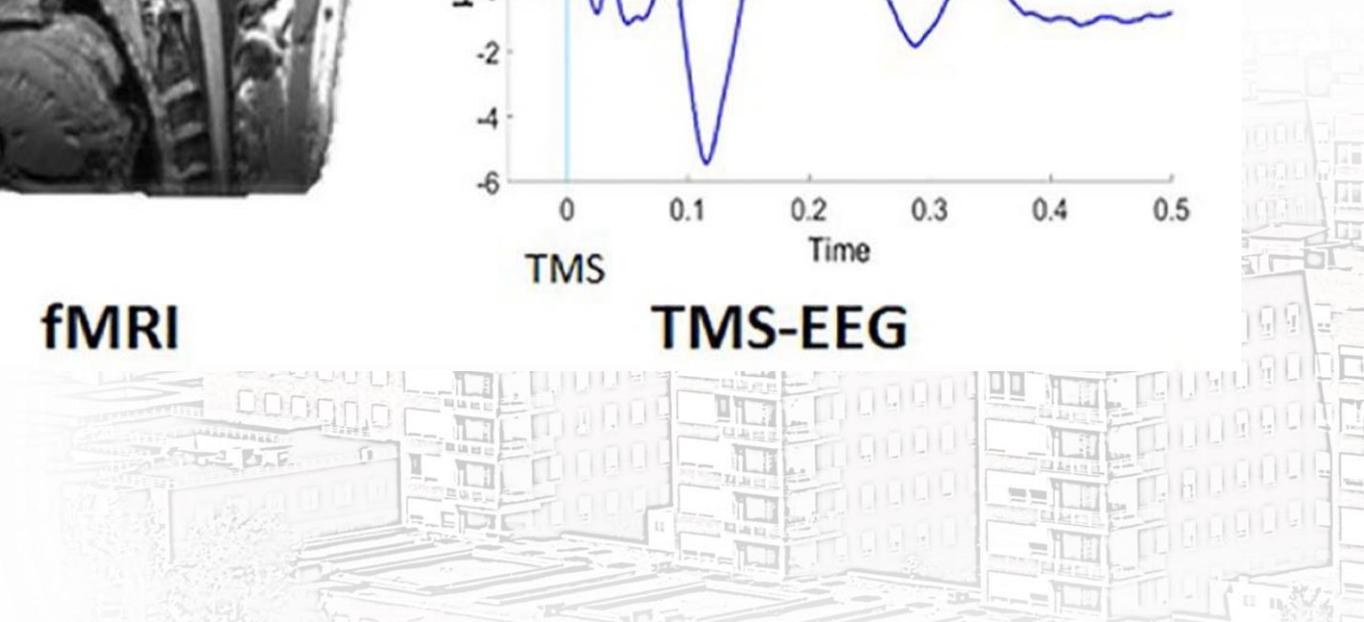


fMRI

Conectividad Efectiva



TMS-EEG



Conectómica

TMS

(Transcranial Magnetic Stimulation)



Neuromodulación

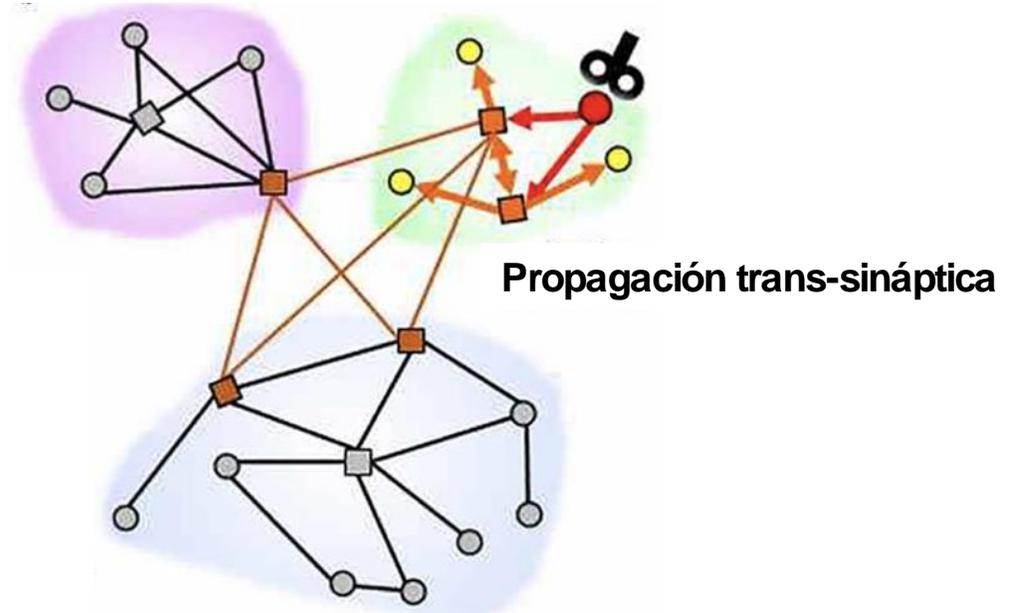
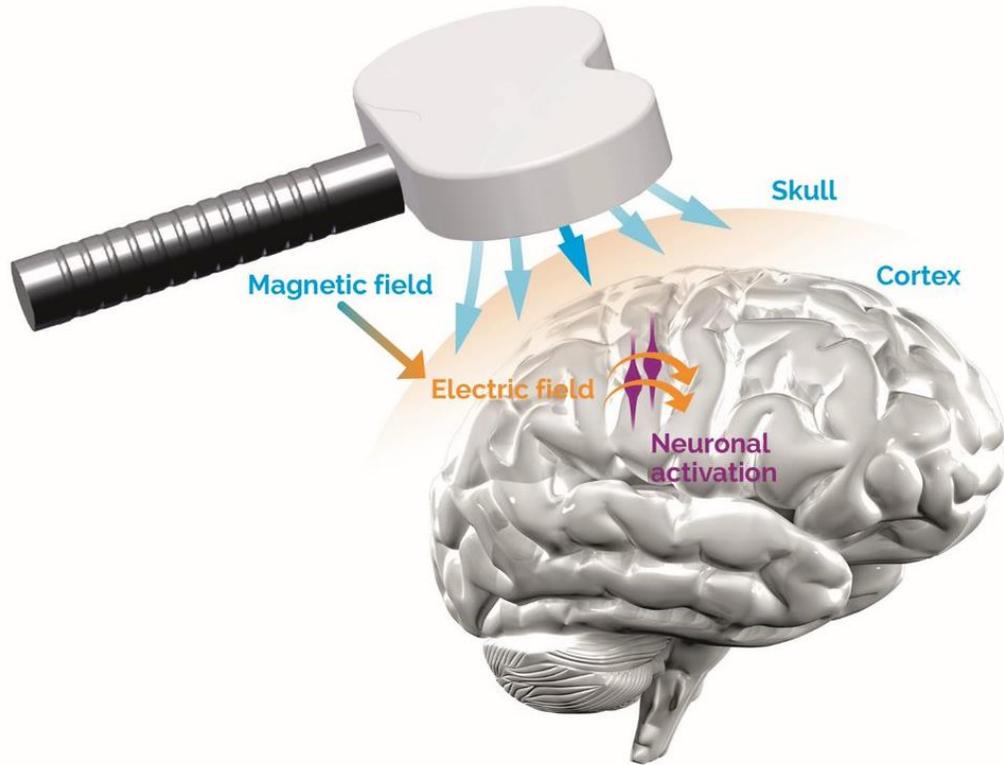
HIFU

(High-Intensity Focused Ultrasound)



Tratamiento de circuitopatías





Activación de múltiples redes neuronales

TMS repetitivo

**Cambios en la neuroplasticidad
(NEUROMODULACIÓN)**

Efficacy of repetitive transcranial magnetic stimulation in treatment-resistant **depression**: the evidence thus far

Aumento de la excitabilidad de la corteza dorsolateral prefrontal (DLPFC) izquierda

Repetitive transcranial magnetic stimulation for cognitive impairment in **Alzheimer's** disease: a meta-analysis of randomized controlled trials

Aumento de la excitabilidad de DLPFC bilateral, precuña, Broca, Wernicke...

Transcranial magnetic stimulation (TMS) in **stroke**: Ready for clinical practice?

Repetitive transcranial magnetic stimulation for **neuropathic pain**: a randomized multicentre sham-controlled trial

Gen Psychiatr. 2019 Aug 12;32(4):e100074. doi: 10.1136/gpsych-2019-100074.

J Neurol. 2020 Mar;267(3):791-801. doi: 10.1007/s00415-019-09644-y.

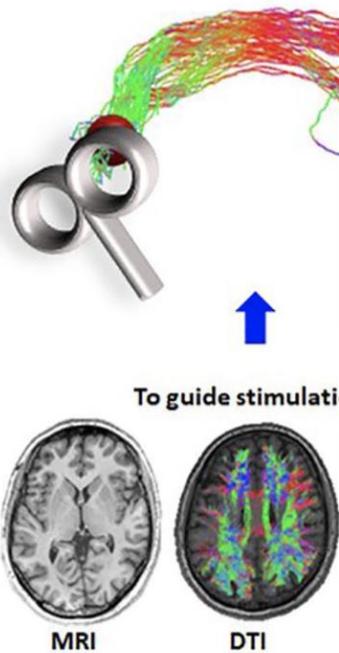
J Clin Neurosci. 2016 Sep;31:10-4. doi: 10.1016/j.jocn.2016.01.034.

Brain. 2021 Dec 16;144(11):3328-3339. doi: 10.1093/brain/awab208.

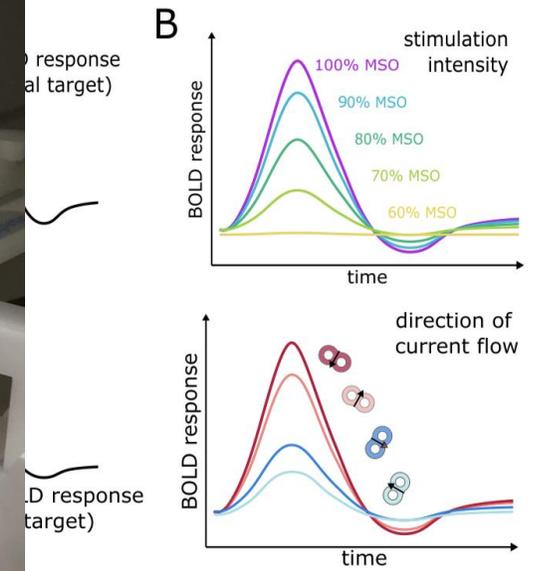
Para guiar la e

respuesta

Integrating TMS,
as an Approach for
Brain Connectivity



perturbation and proof of target



Conectómica

TMS

(Transcranial Magnetic Stimulation)



Neuromodulación

HIFU

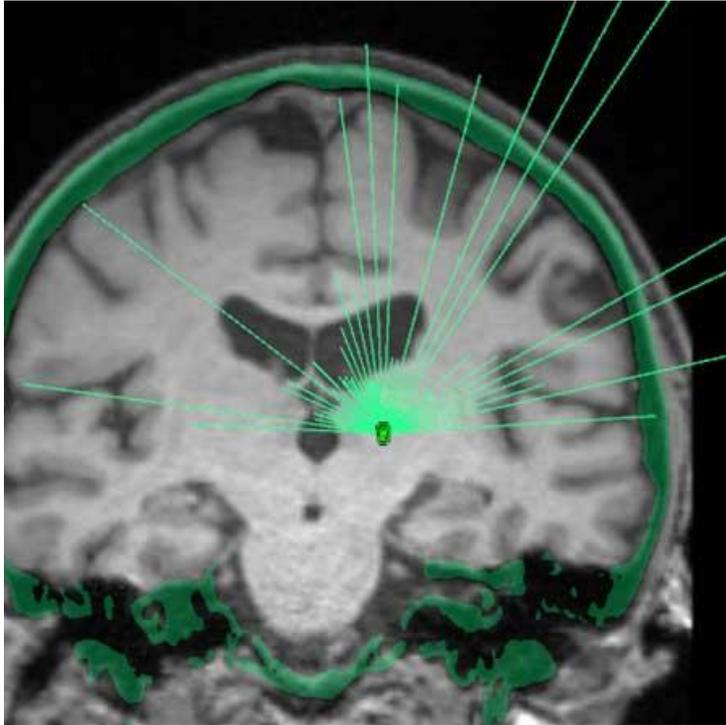
(High-Intensity Focused Ultrasound)



Tratamiento de circuitopatías

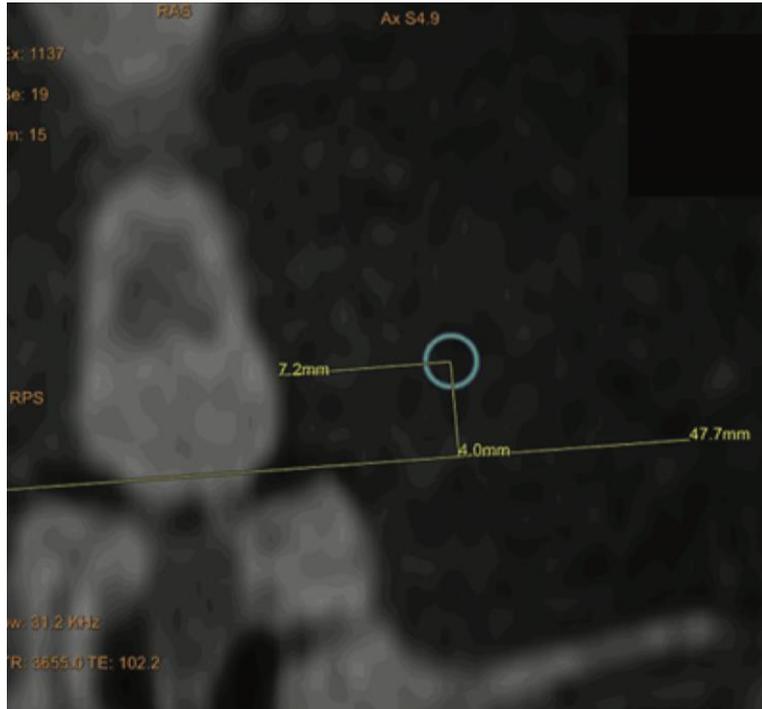


Conjunto de hasta 1024 transductores de ultrasonidos que concentran la energía en un punto caliente.



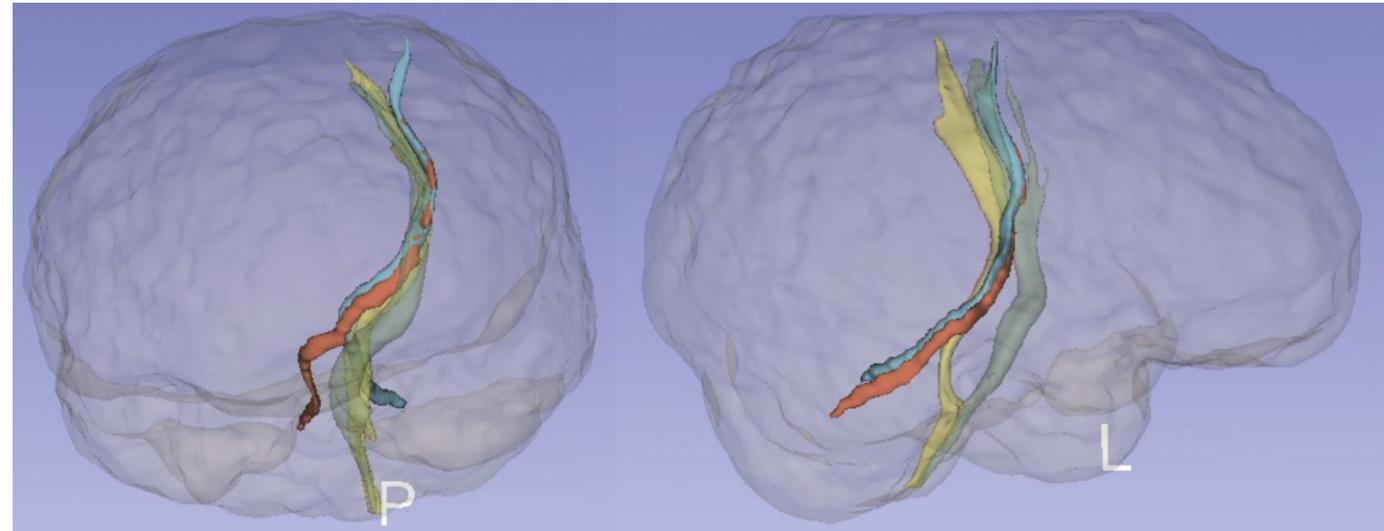
Objetivo → Tratar circuitopatías (Temblor Esencial)

Teoría LOCALIZACIONISTA



Núcleo VIM

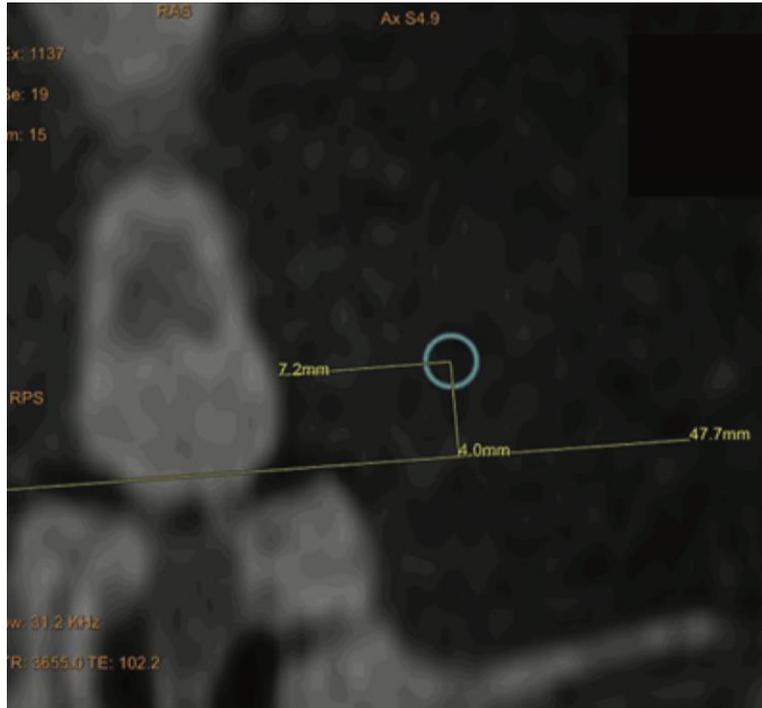
Teoría CONECTÓMICA



Vía dento-rubro-talamo-cortical

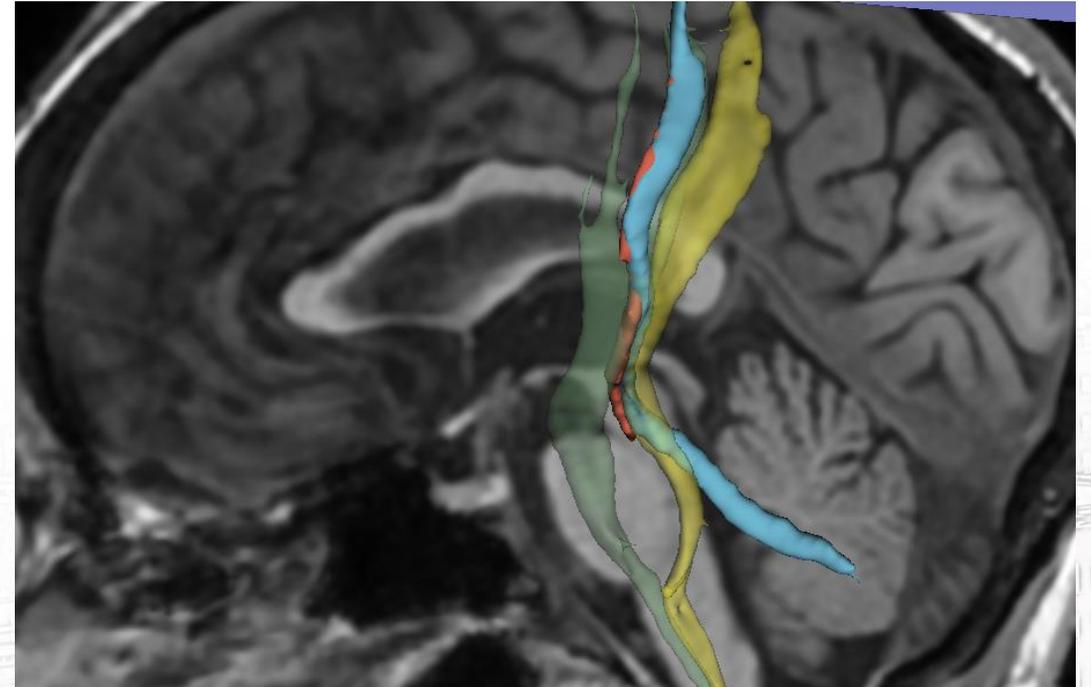
Objetivo → Tratar circuitopatías (Temblor Esencial)

Teoría LOCALIZACIONISTA



Núcleo VIM

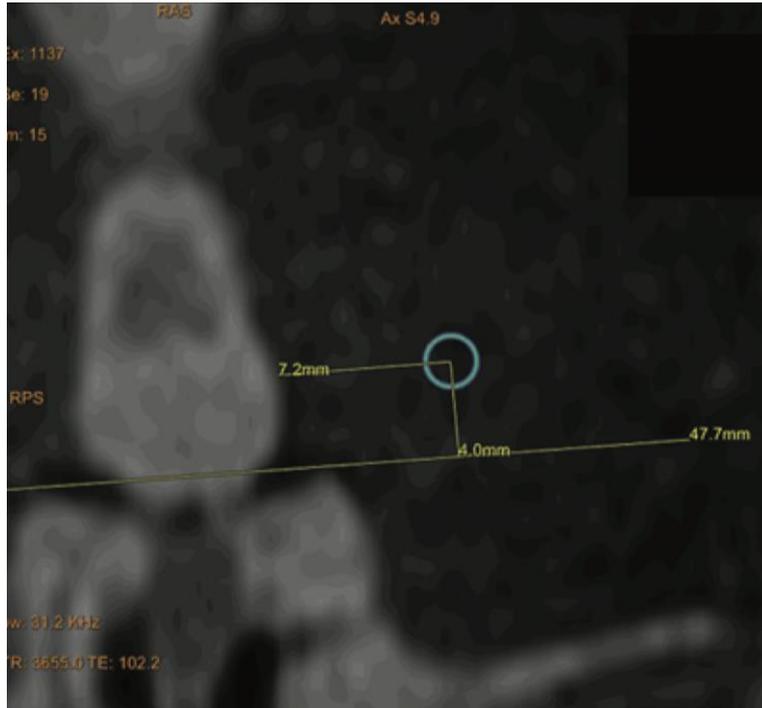
Teoría CONECTÓMICA



Vía dento-rubro-talamo-cortical

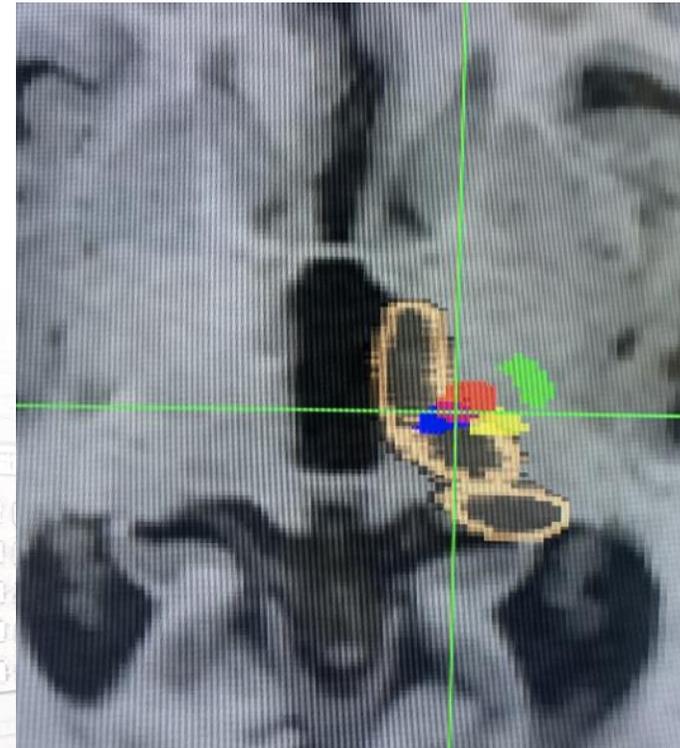
Objetivo → Tratar circuitopatías (Temblor Esencial)

Teoría LOCALIZACIONISTA



Núcleo VIM

Teoría CONECTÓMICA



Vía dento-rubro-talamo-cortical

Conectómica

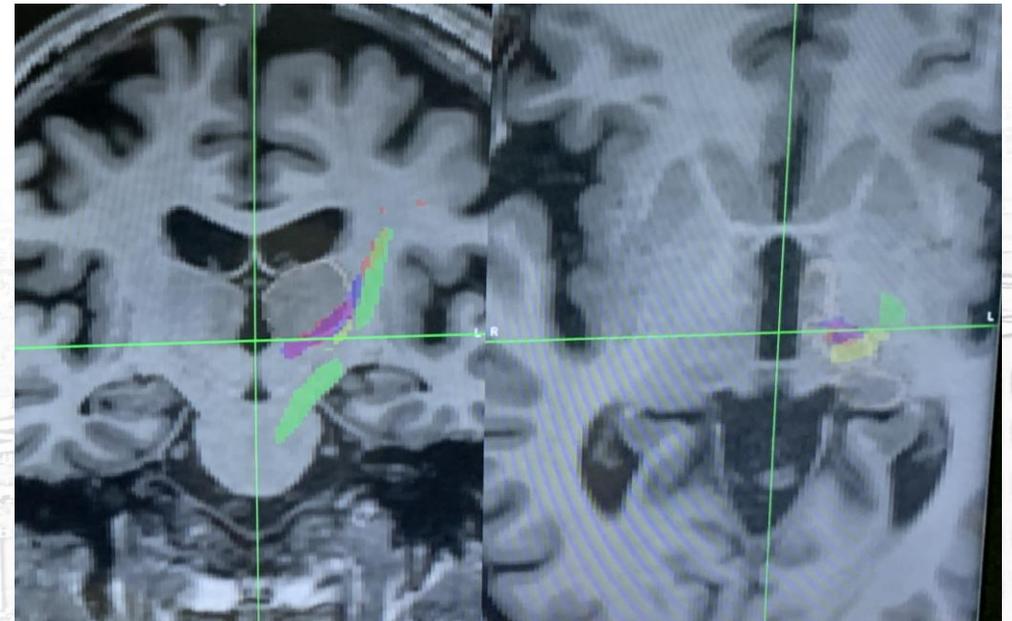
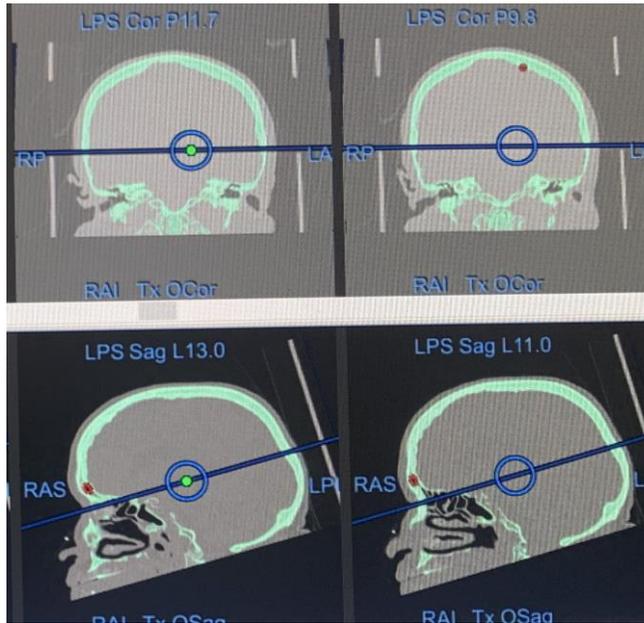
HIFU

Planificación

TC

RM + DTI

Tratamiento



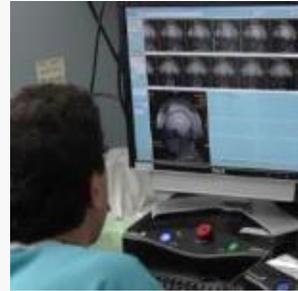
1

Preparación del paciente



2

Planificación



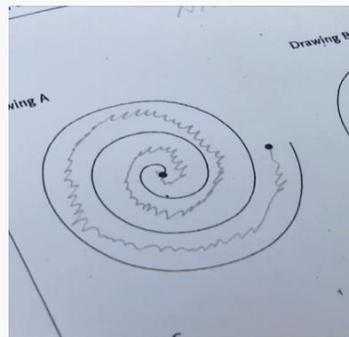
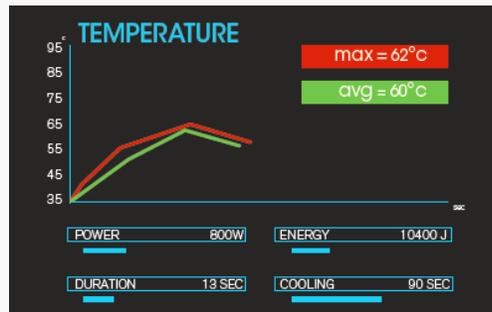
3

Verificación de diana



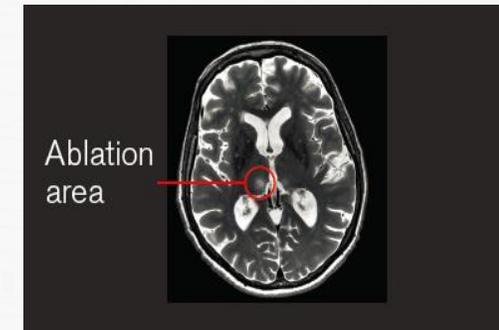
4

Sonicaciones de tratamiento



5

Evaluación con RM-post

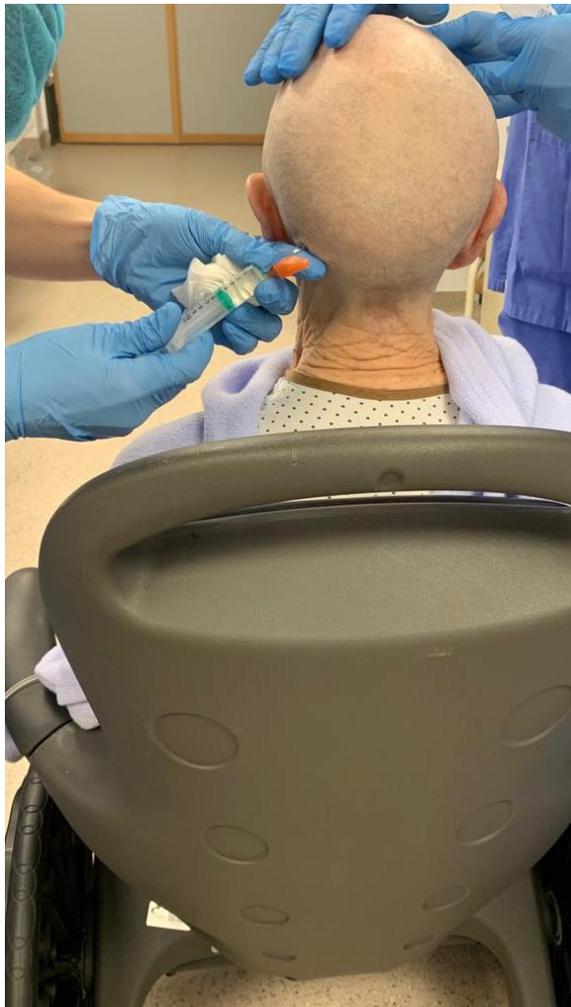


Conectómica

HIFU

Tratamiento

Colocación del marco



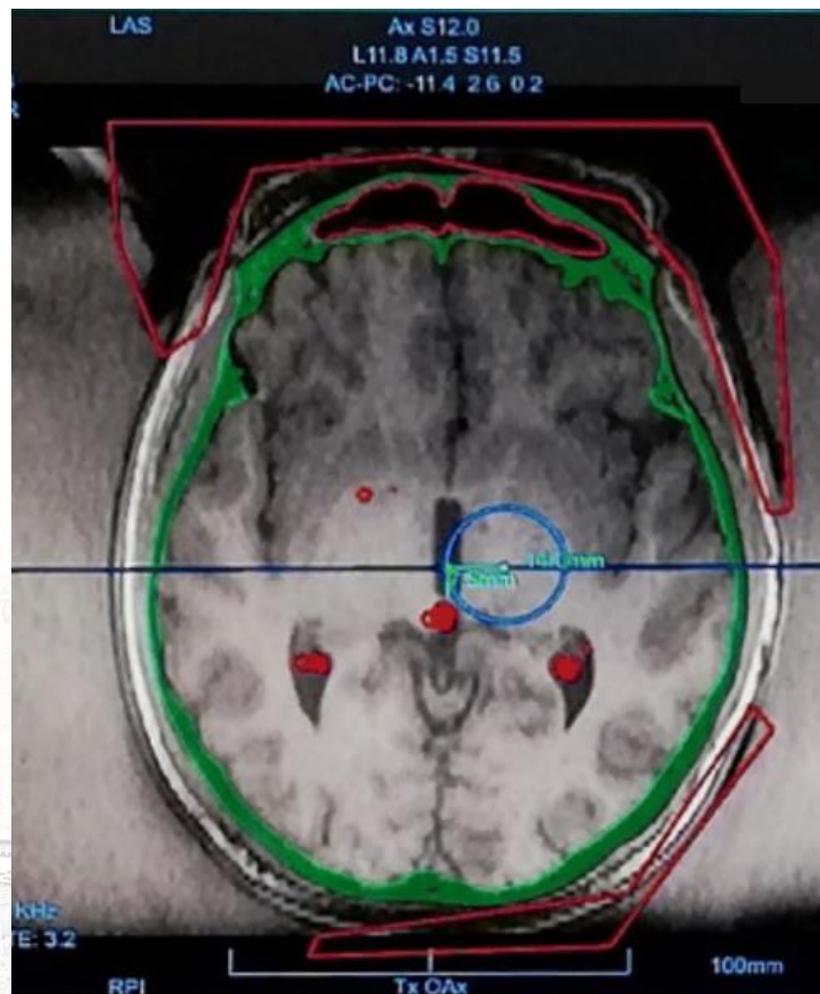
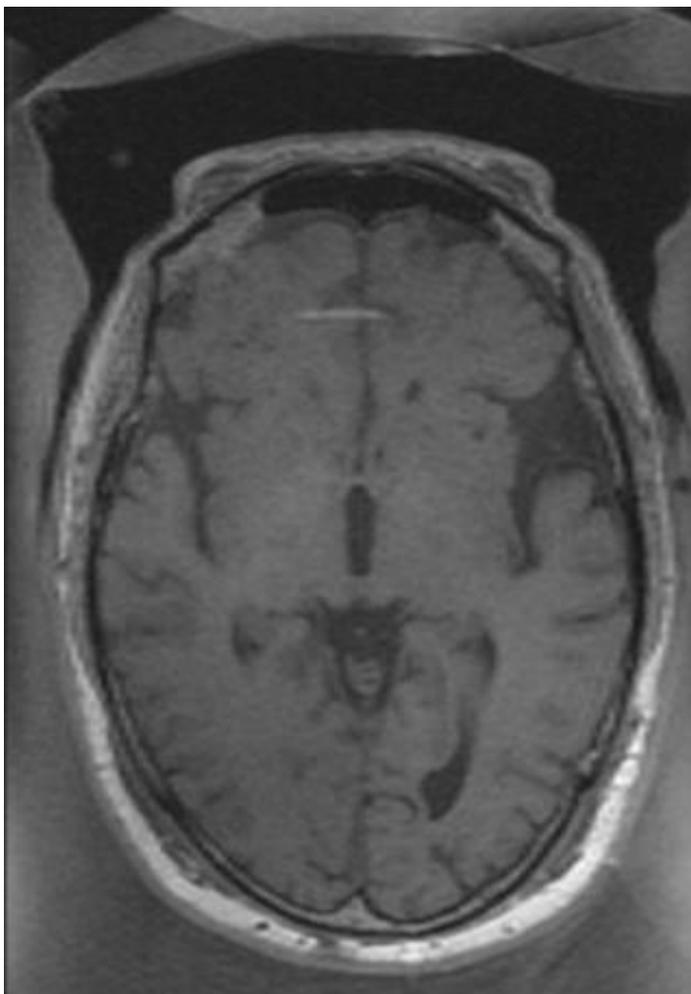
Conectómica

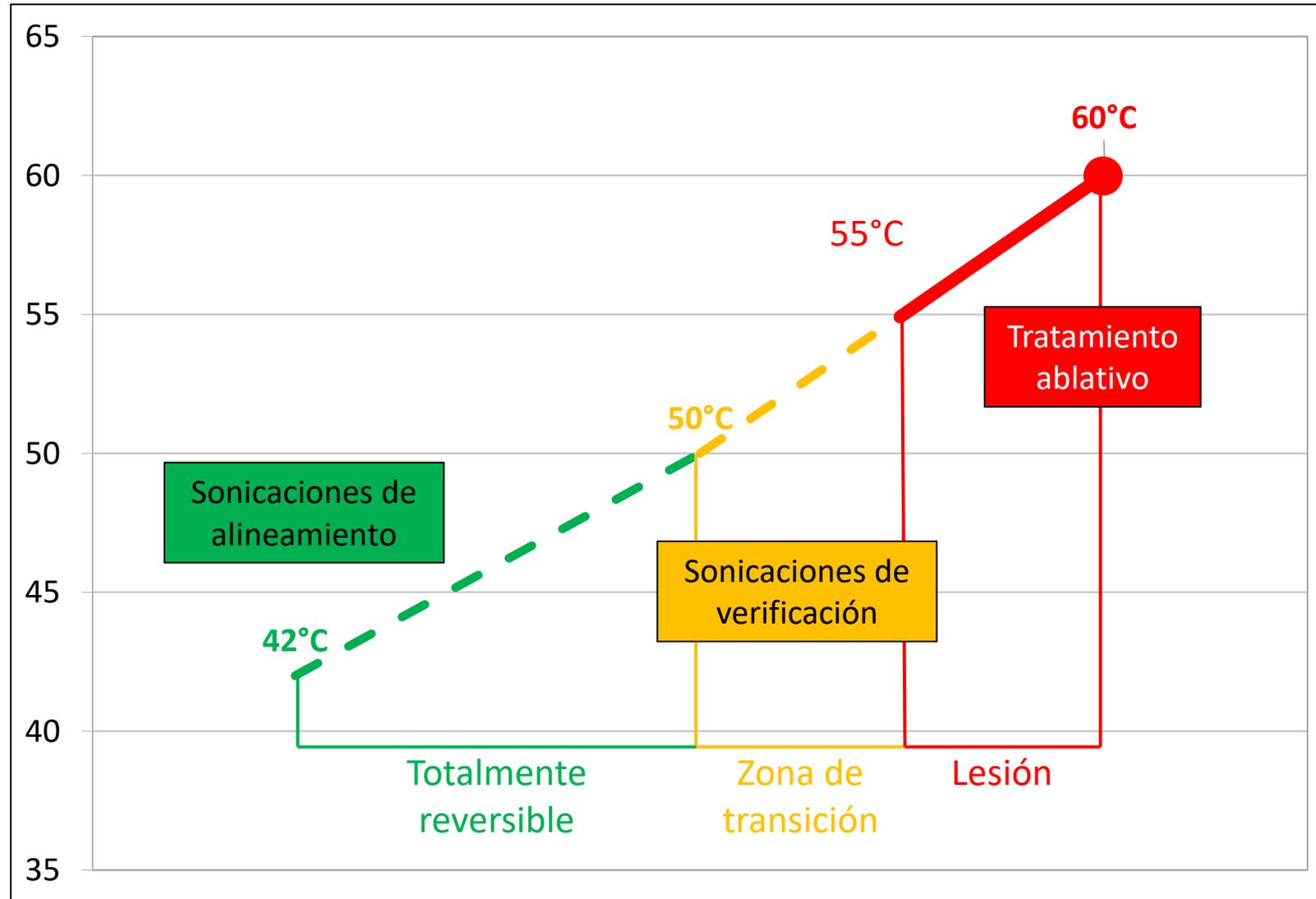
HIFU

Tratamiento



Imágenes de planificación

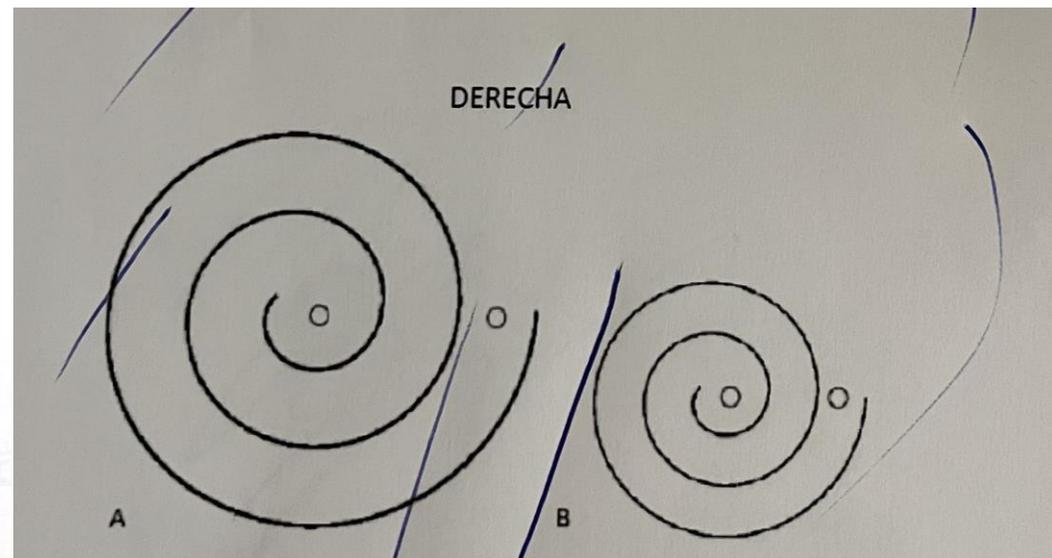




Conectómica

HIFU

Tratamiento



Tratamiento ablativo

System in Replay mode. Replay

S 17.2Sec
L15.6 A21.7 S19.0
AC-PC: -14.0 15.2 2.0
13:10:50
15 Jun 2022

30 52 °C 90
38.2C

Gray Color Red
3D

Sonication No. 1 4 5

bw: 35.7 KHz
TR: 26.0 TE: 3.1

Thermal L15.6 10mm

S 14.1Sec S 17.2Sec S 20.3Sec S 23.4Sec
P A P A P A P A
L15.6 Thermal L15.6 Thermal L15.6 Thermal L15.6 Thermal

S 0.0Sec S 0.0Sec S 1.6Sec S 4.7Sec
P A P A P A P A
Anatomy L15.6 Anatomy L15.6 Anatomy L15.6 Anatomy

Temperature
Max = 61c
Avg = 57c

Acoustic Spectrum
Time: 3.61 sec

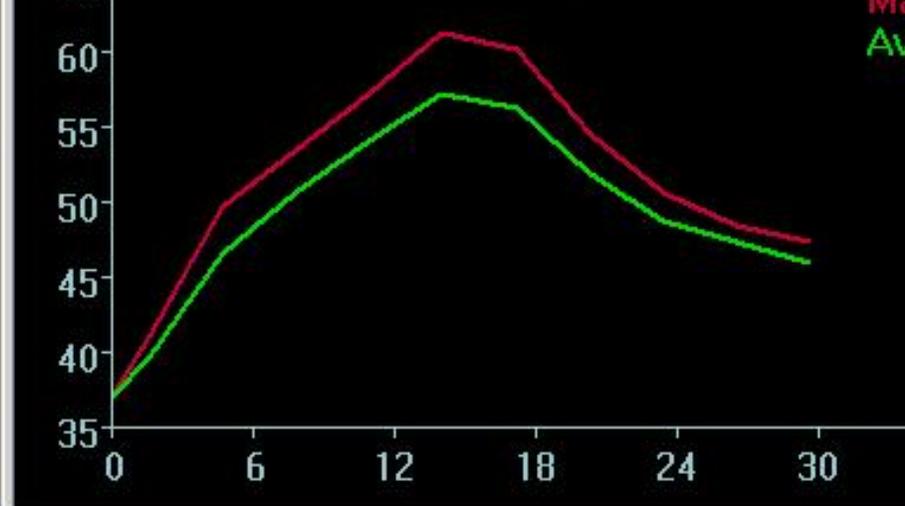
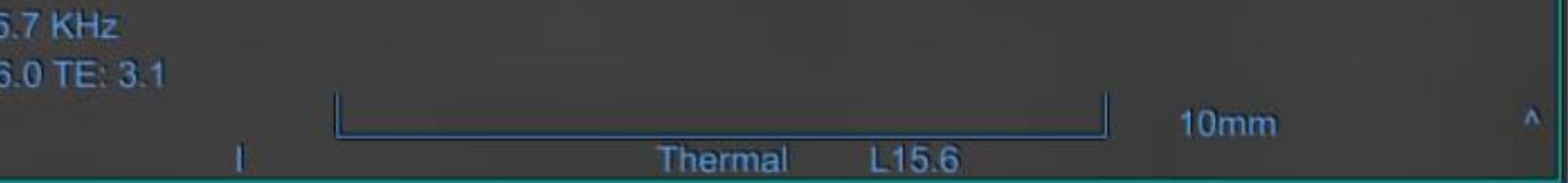
Estimated Temperature	62 °C	Limit	56 °C
Spot Coordinates	RAS RL L15.6 AP A11.0 SI S18.1 AC-PC ML -14.0 AP 4.5 SI 1.0		
Spot Length	6.8 mm	Diameter	3.8 mm
Energy	13286 J	Power	949 W
Duration	15 Sec	Time Extension	3 Sec
Actual cooling	249 Sec	Frequency	0.68 MHz
Apodization	None	Transducer	
Orientation	Sagittal	Treated Sonications	4
Frequency Dir.	SI	Remaining Sonications	0
Num. Slices	1	Planned Volume	0.0 cc
Thickness (mm)	3.0	Dose Volume	0.0 cc
Path	MR Main Axes	Adjustments:	
		Prior	R0.0 A0.0 S0.0
		Current	R0.0 A0.0 S0.0

Actual Energy 13337 J
Max Power 905 W
Actual Duration 16 Sec

Acoustic Controls
Power %
Score

inSignaArc (GE, 3T), DV29.0, SW 7.33.058, CPC 6.33, Brain650 13:37

Tratamiento ablativo



52 °C Limit 56 °C

+
 +
 +
 +
 Diameter 3.8 mm

Energy 13286 J
 Power 949 W
 Duration 15 Sec
 Time Extension 3 Sec
 Actual cooling 249 Sec
 Frequency 0.68 MHz
 Apodization None

Transducer >

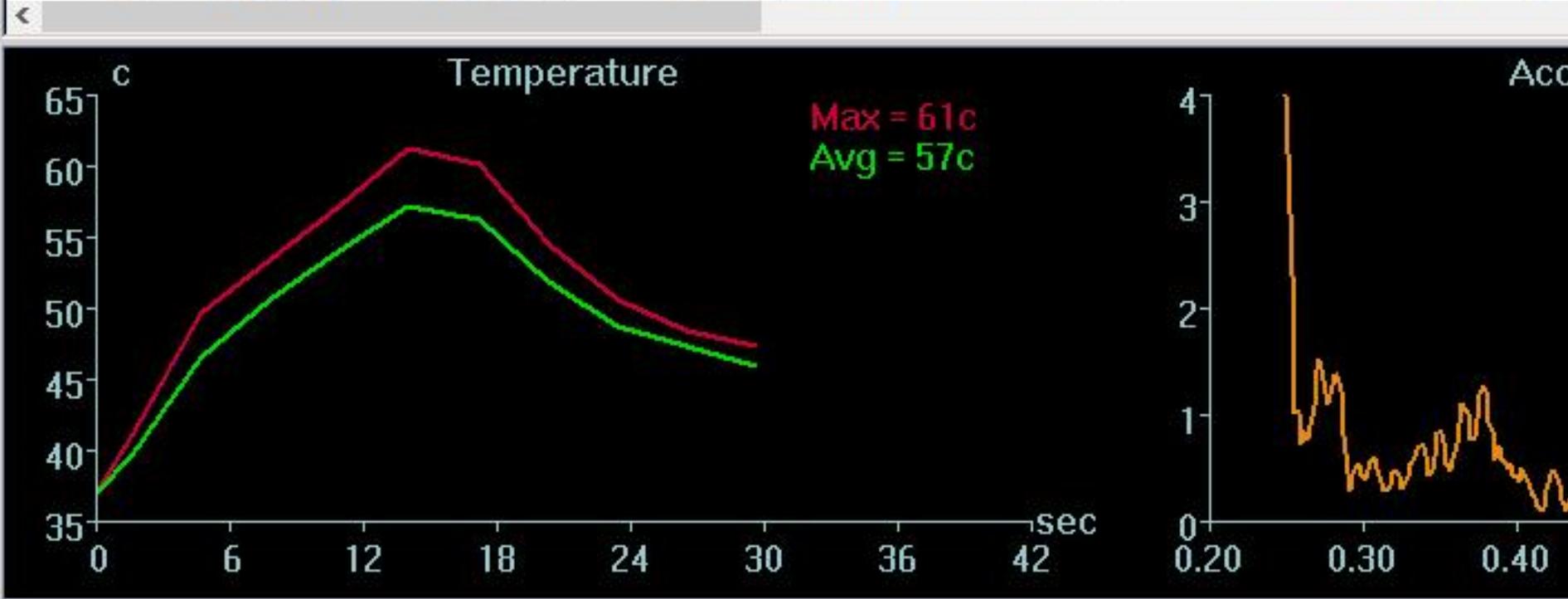
Orientation **Sagittal**
 Frequency Dir. SI
 Num. Slices 1
 Thickness (mm) 3.0
 Path **MR Main Axes**

Treated Sonication
 Remaining Sonica
 Planned Volume
 Dose Volume
 Adjustments:
 Prior
 Current

ected [Degassing, Paused (20 C), (Dissolved Oxy. 6.93)]

Actual Energy 13337 J
 Max Power 905 W
 Actual Duration 16 Sec

Tratamiento
ablativo



6 J
9 W
5 Sec
3 Sec

Orientation **Sagittal**

Frequency Dir. **SI**

Num. Slices **1**

Treated Sonications **4**

Remaining Sonications **0**

Planned Volume **0.0** cc

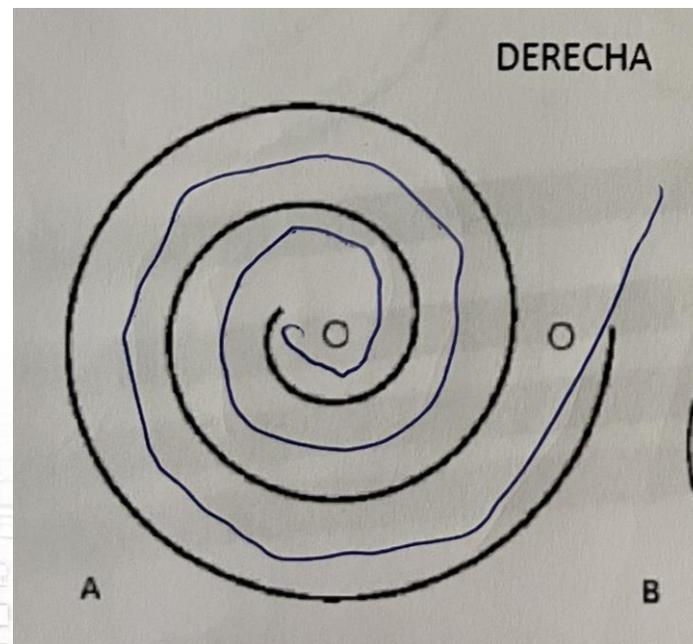
1.67
1.25

Acc

Conectómica

HIFU

Tratamiento

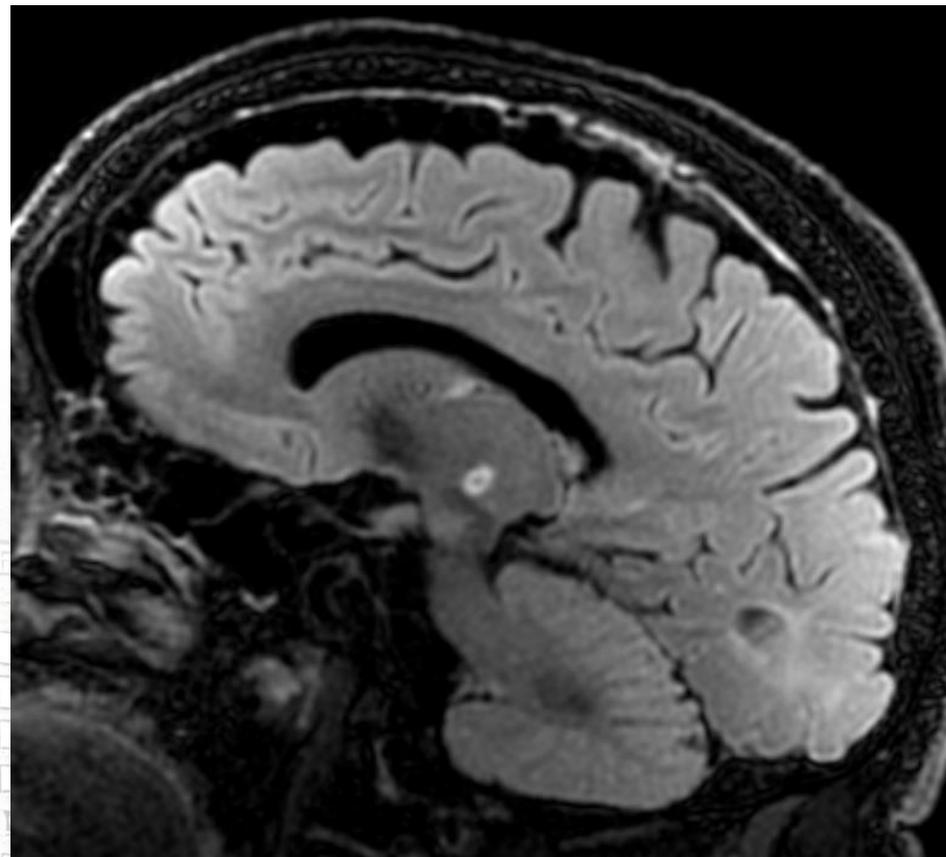
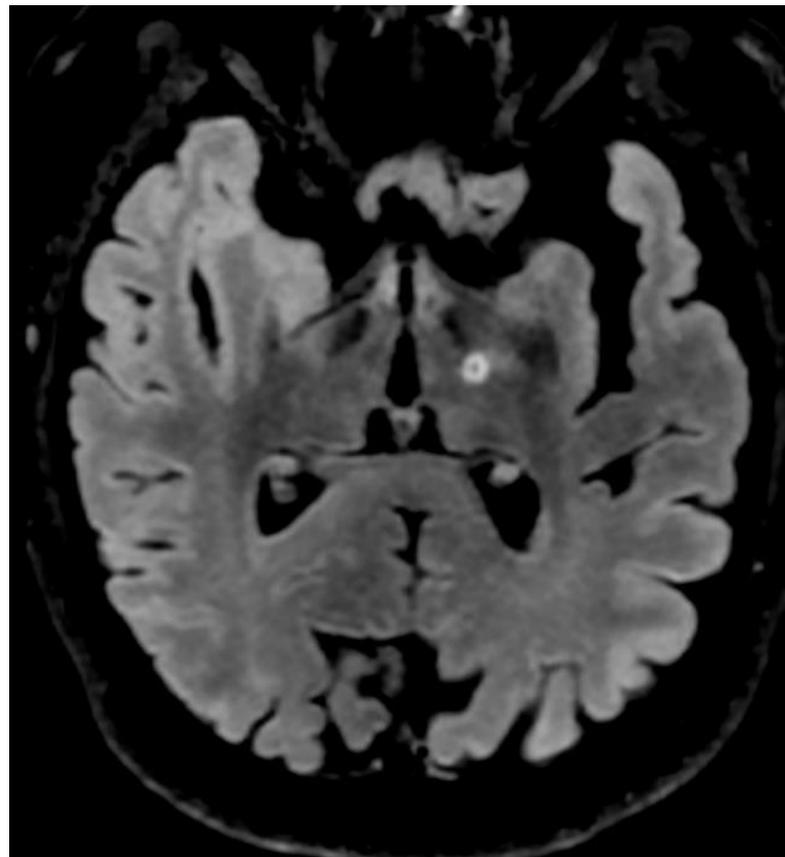
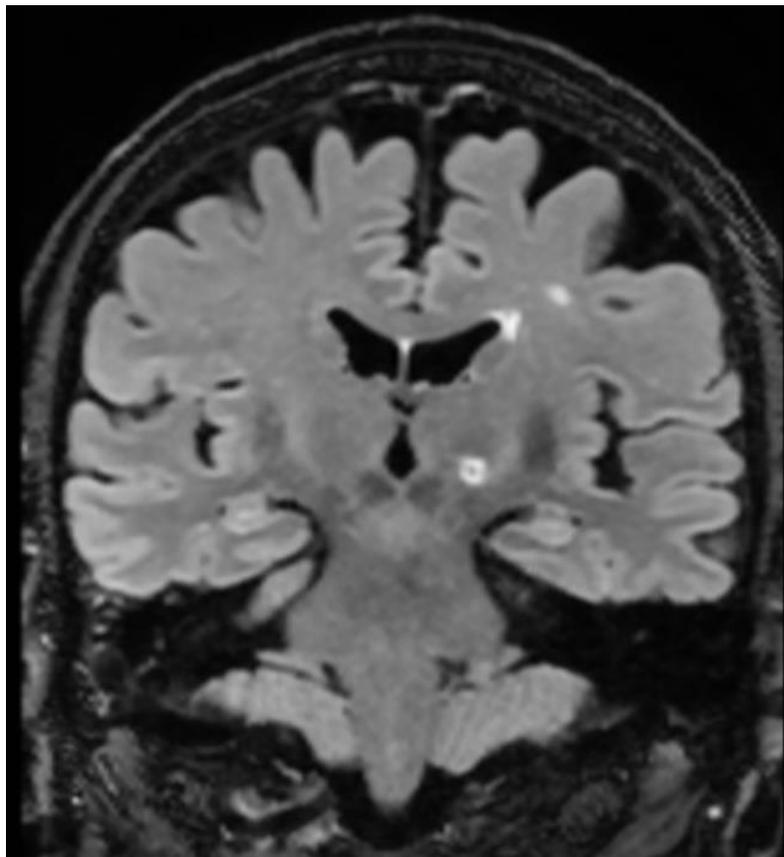


Conectómica

HIFU

Tratamiento

RM post-procedimiento

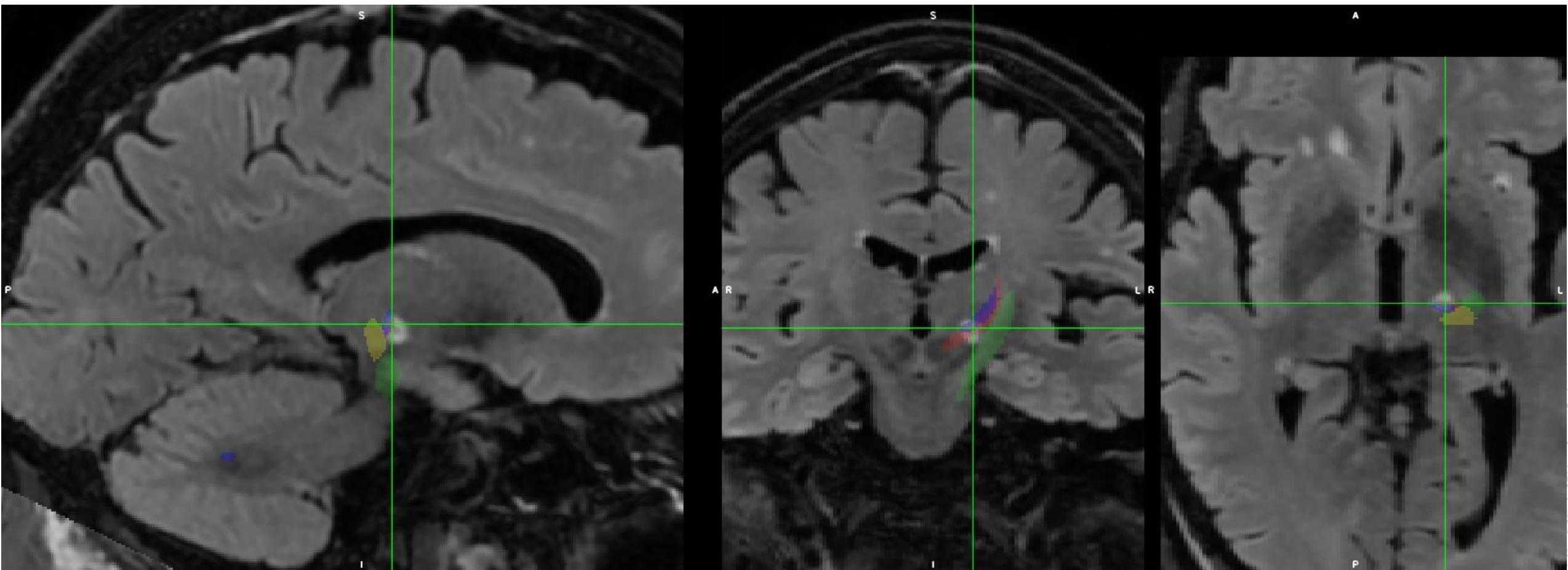


Conectómica

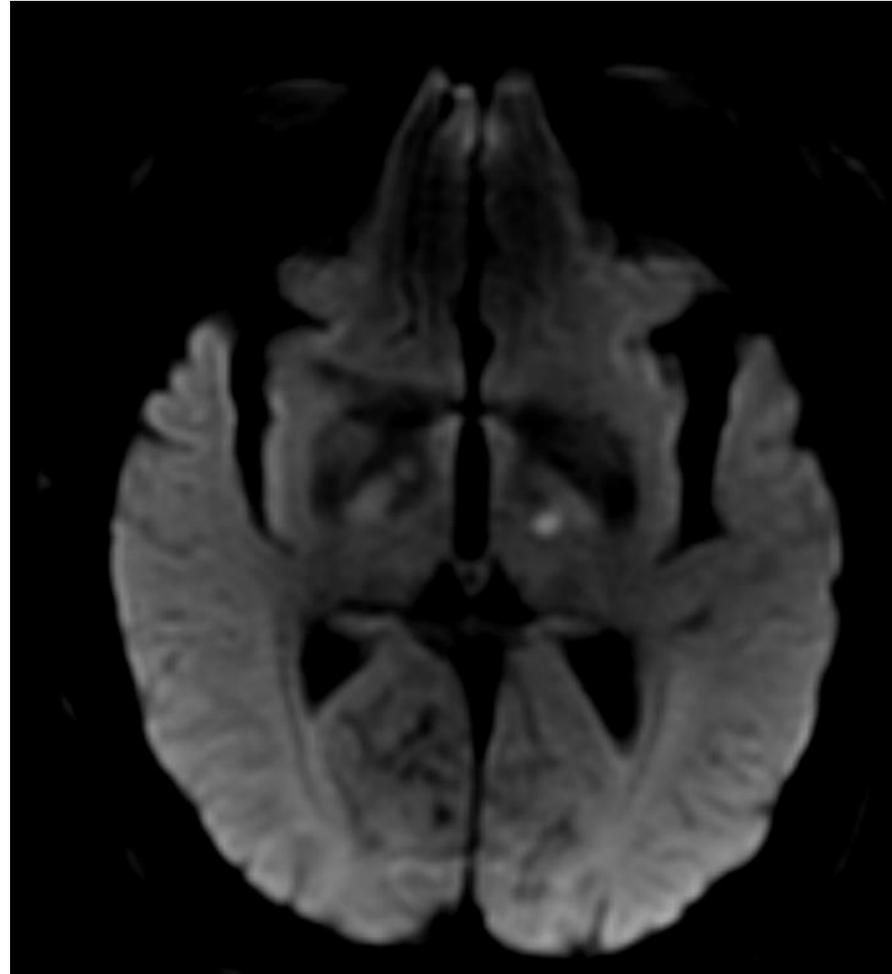
HIFU

Tratamiento

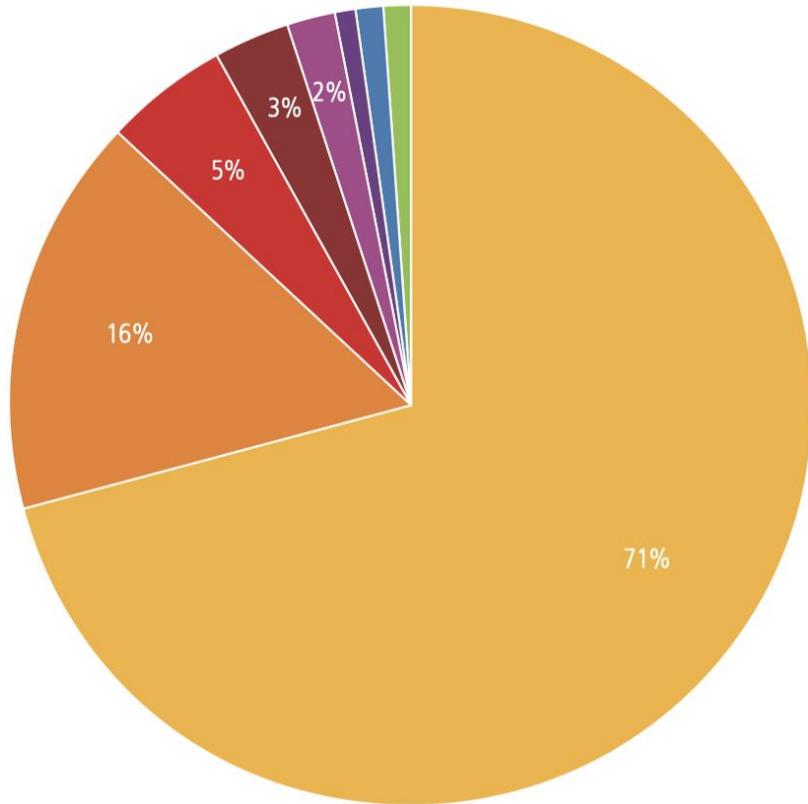
RM post-procedimiento



RM post-procedimiento



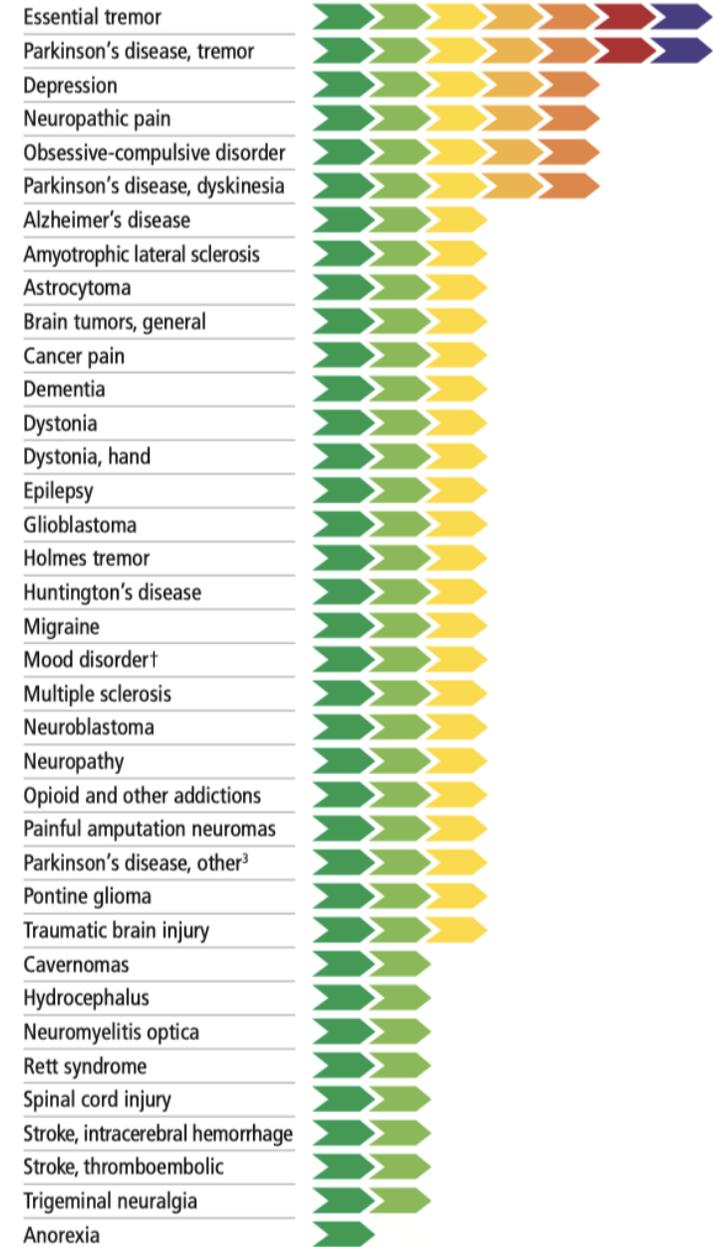
Brain indications



5,519 total brain treatments

Essential tremor	3,908	71%
Parkinson's disease	869	16%
Brain tumors ¹	258	5%
Neuropathic pain	193	3%
Alzheimer's disease	118	2%
Other movement disorders ²	65	1%
Mental health ³	79	1%
Other brain ⁴	29	1%

Neurological

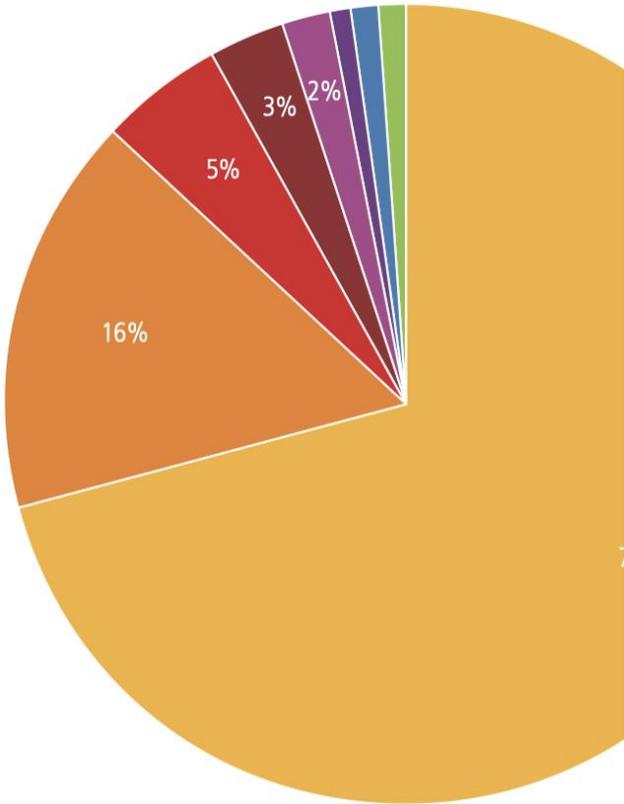


Development stage



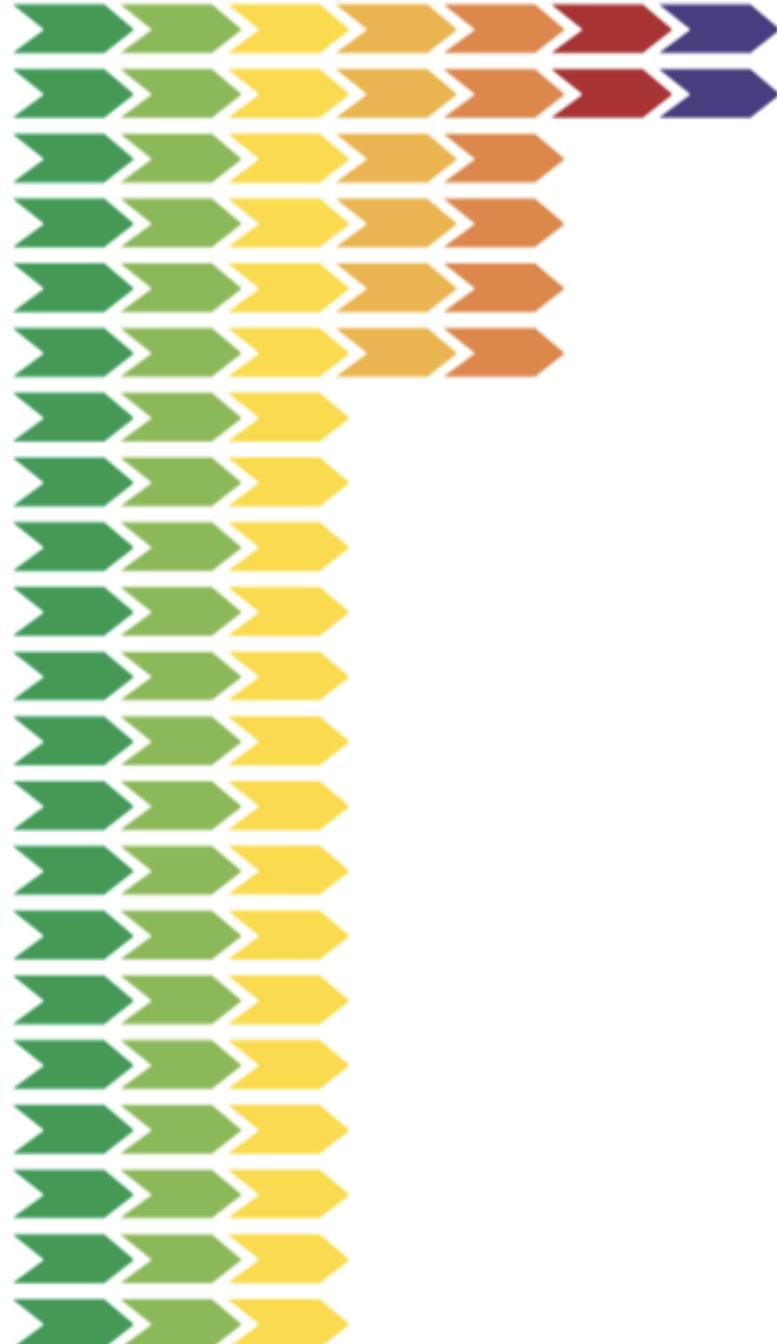
Conectómica

Brain indications



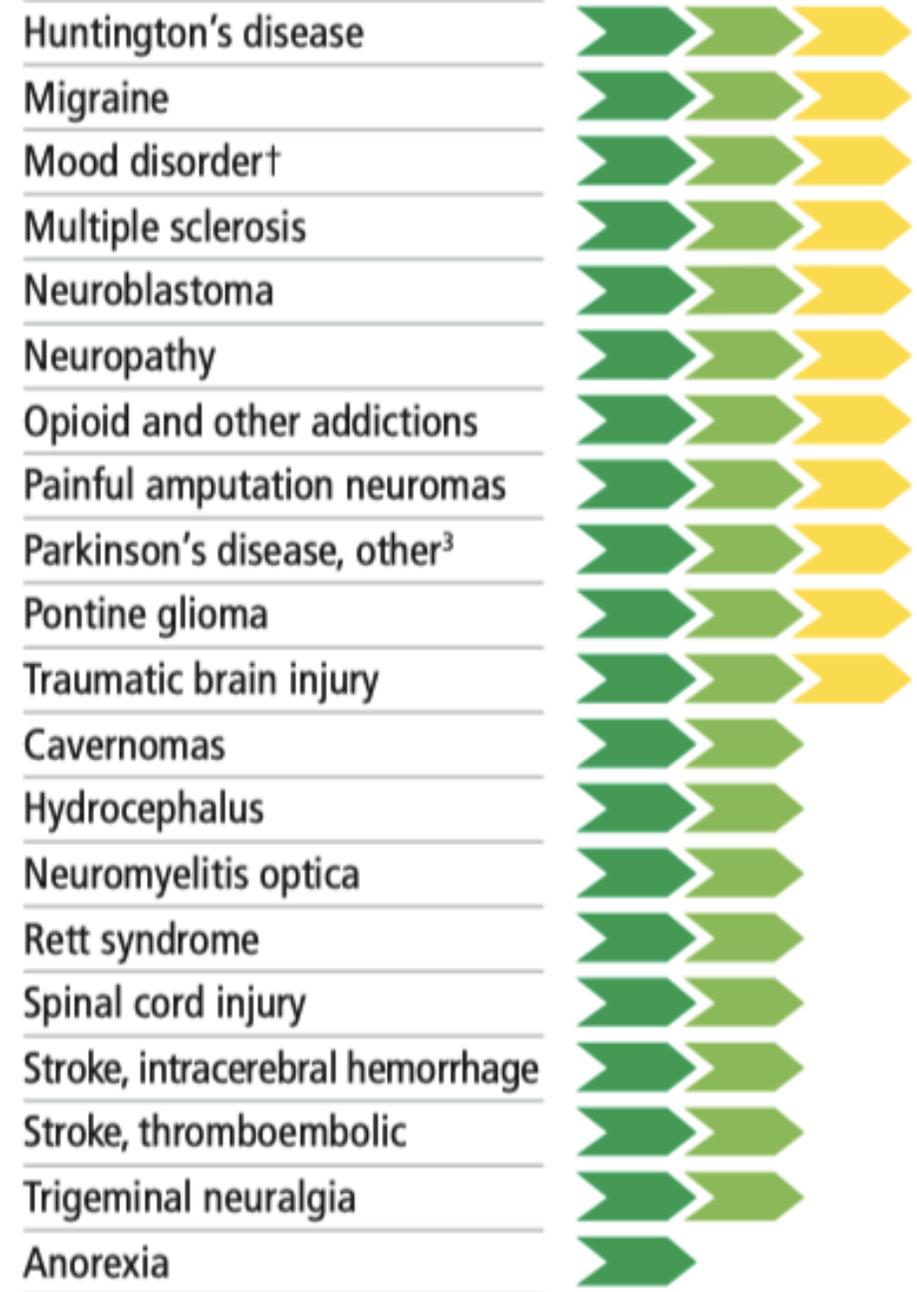
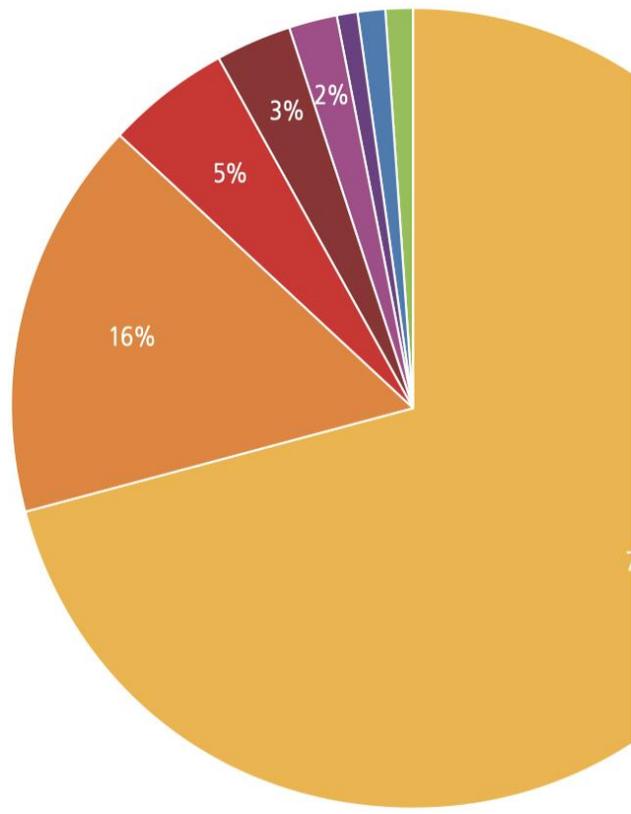
Neurological

- Essential tremor
- Parkinson's disease, tremor
- Depression
- Neuropathic pain
- Obsessive-compulsive disorder
- Parkinson's disease, dyskinesia
- Alzheimer's disease
- Amyotrophic lateral sclerosis
- Astrocytoma
- Brain tumors, general
- Cancer pain
- Dementia
- Dystonia
- Dystonia, hand
- Epilepsy
- Glioblastoma
- Holmes tremor
- Huntington's disease
- Migraine
- Mood disorder†
- Multiple sclerosis



Conectómica

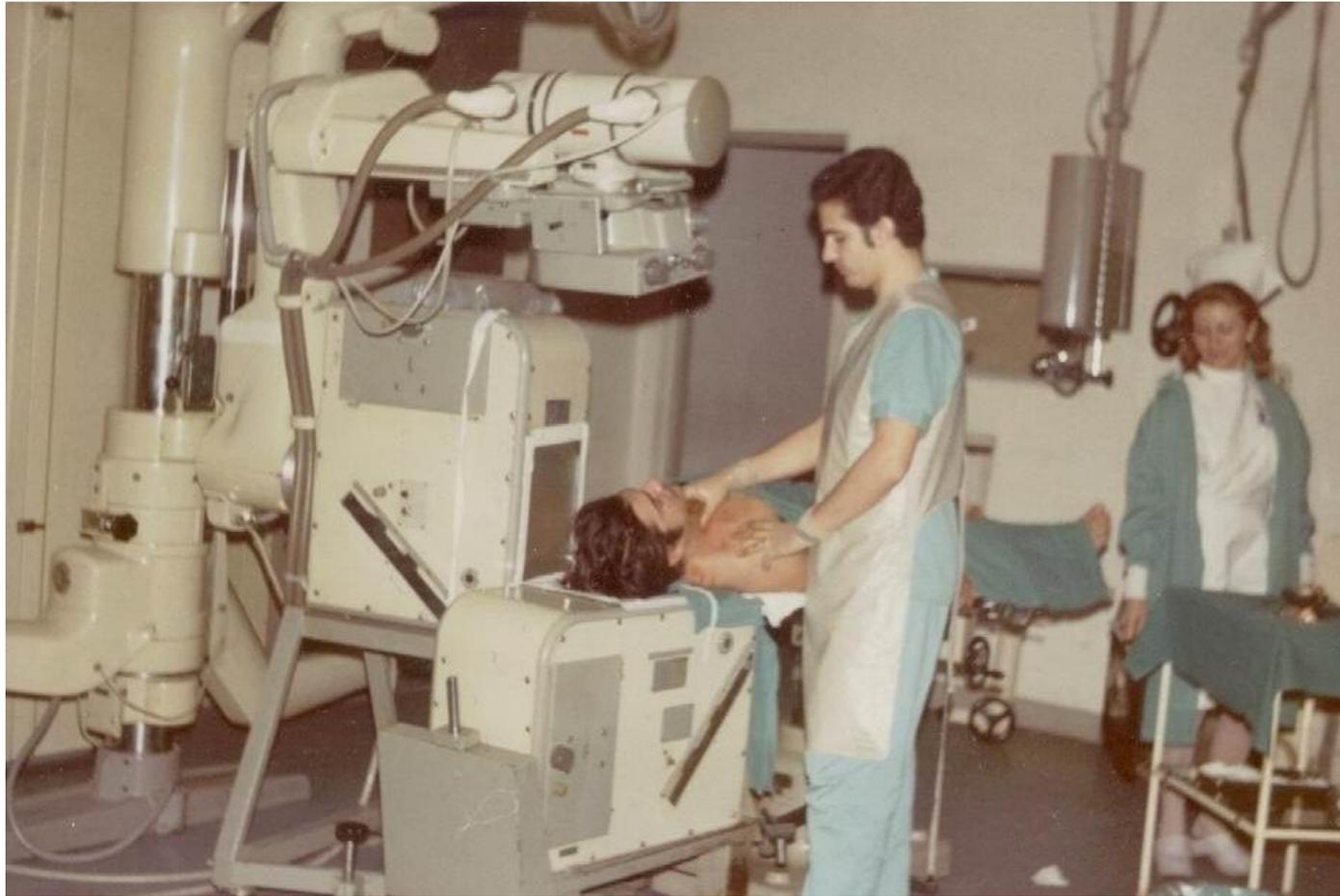
Brain indications



Development stage



NRX intervencionista



NRX intervencionista





OPEN ACCESS

CASE REPORT

First-in-human, robotic-assisted neuroendovascular intervention

JNIS 2020



Case report **JNIS 2022**

Complete robotic intervention for **acute epistaxis** in a patient with COVID-19 pneumonia: technical considerations and device selection tips

JNS 2022

Robot-assisted **carotid artery stenting outcomes, safety, and operational learning curve**

Case series **JNIS 2021**

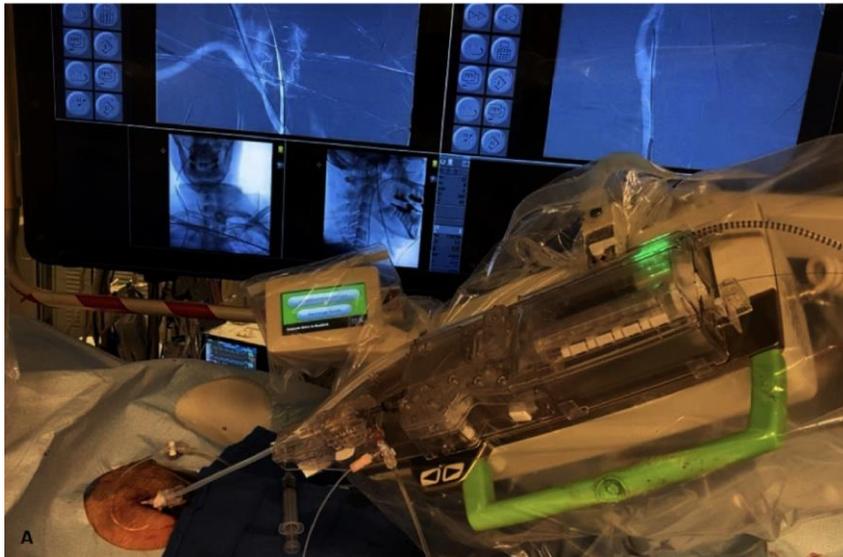
Robotic-assisted **intracranial aneurysm** treatment: 1 year follow-up imaging and clinical outcomes

NRX intervencionista

Intervenciones neurovasculares asistidas por robot

¿Qué hemos aprendido?

1. Una intervención completa con robot es factible.
2. Reduce el riesgo de exposición a radiaciones ionizantes y materiales de riesgo biológico.
3. Se recomiendan amplias sesiones en modelos *in vitro* antes de realizar procedimientos robóticos.



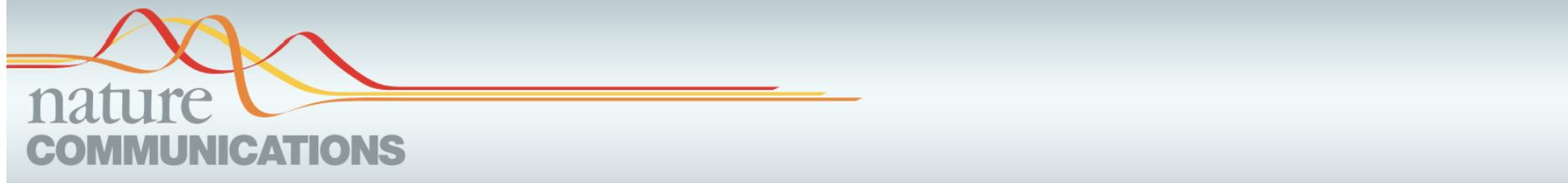
NRX intervencionista

Intervenciones neurovasculares asistidas por robot

¿El futuro?

1. Entender los **LÍMITES** del sistema (precisión).
2. Sistema **TRIAXIAL** específicamente diseñado para tratamientos neurovasculares.
3. Tratamientos en **REMOTO**, especialmente la trombectomía mecánica (5G).
4. Uso en conjunto con **INTELIGENCIA ARTIFICIAL**.





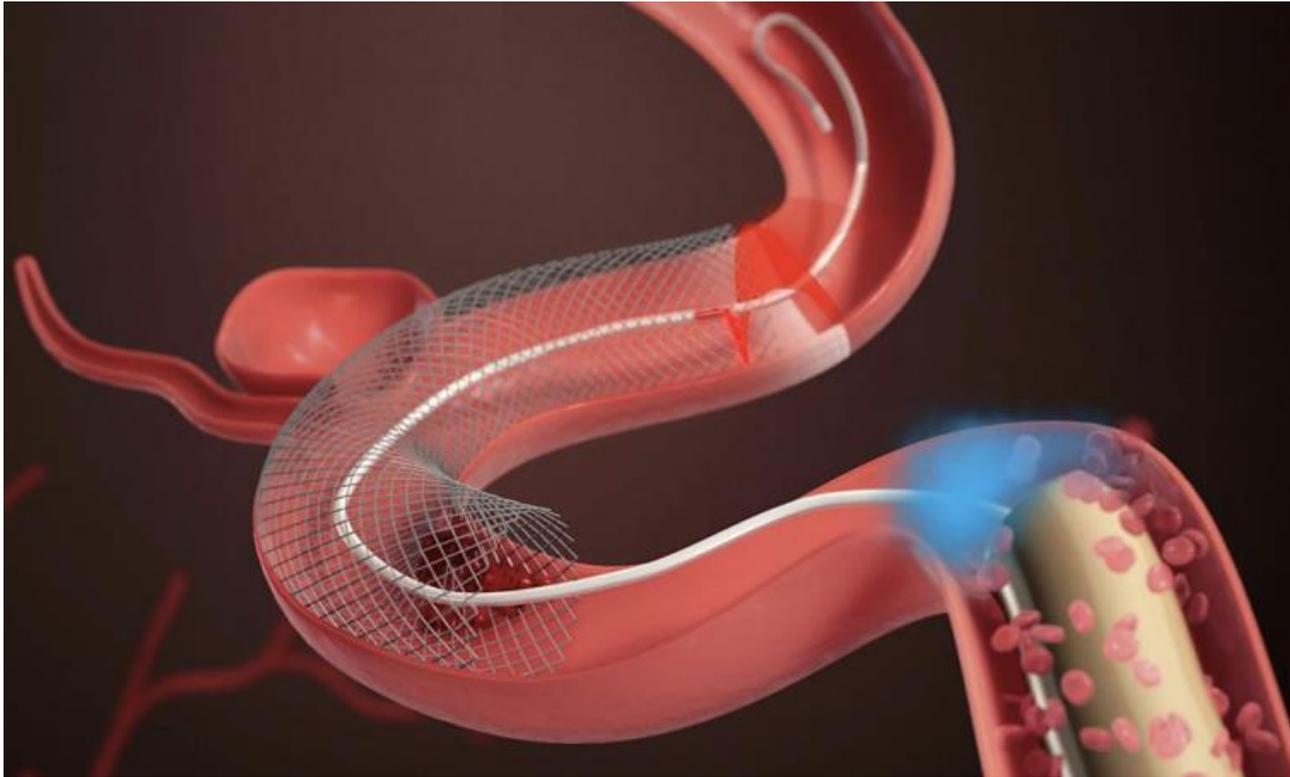
A neurovascular high-frequency optical coherence tomography system enables in situ cerebrovascular volumetric microscopy

Giovanni J. Ughi ^{1,2,9}, Miklos G. Marosfoi ^{1,8,9}, Robert M. King ^{1,3}, Jildaz Caroff ^{1,4}, Lindsay M. Peterson², Benjamin H. Duncan ², Erin T. Langan¹, Amanda Collins ⁵, Anita Leporati¹, Serge Rousselle⁶, Demetrius K. Lopes ⁷, Matthew J. Gounis ¹✉ & Ajit S. Puri¹



NRX intervencionista

Tomografía de coherencia óptica de alta frecuencia (HF-OCT)



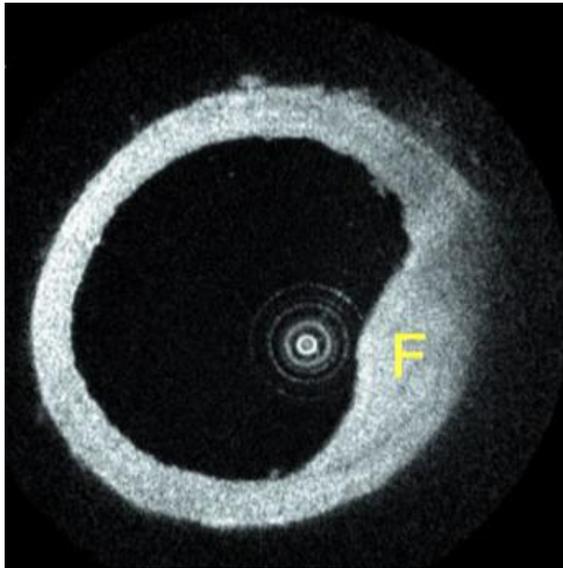
Durante una breve inyección de contraste a través de un catéter de acceso distal de 5F, el dispositivo Vis-M se retrae mientras gira rápidamente su sistema óptico interno dando lugar a un patrón de exploración helicoidal.

OCT mejorada

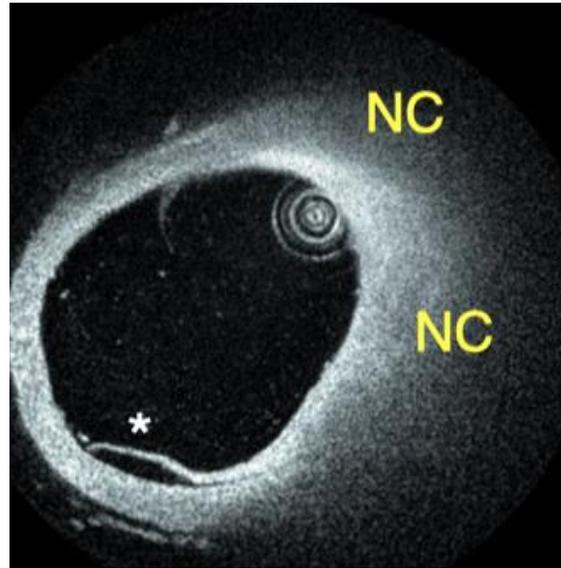
1. Catéteres de menor tamaño.
2. Mayor resolución.
3. Mayor alcance de exploración.

Aplicaciones

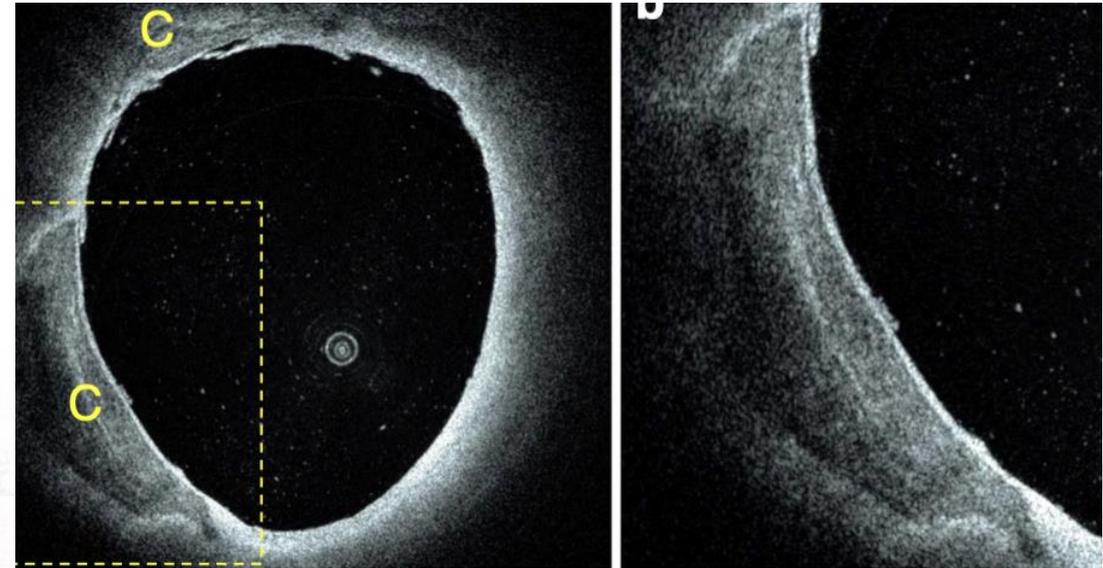
1. Caracterización de patología.



Placa fibrótica



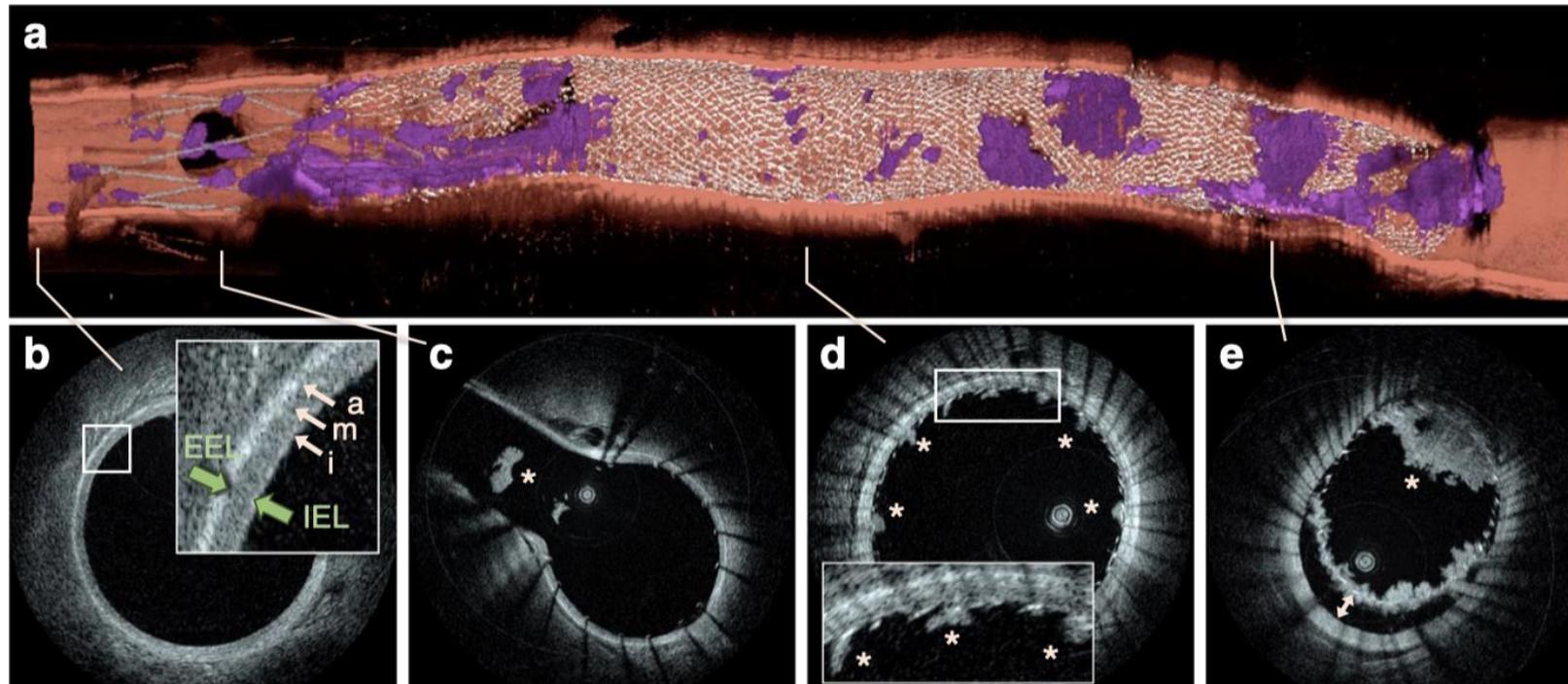
Placa con centro necrótico



Placa calcificada

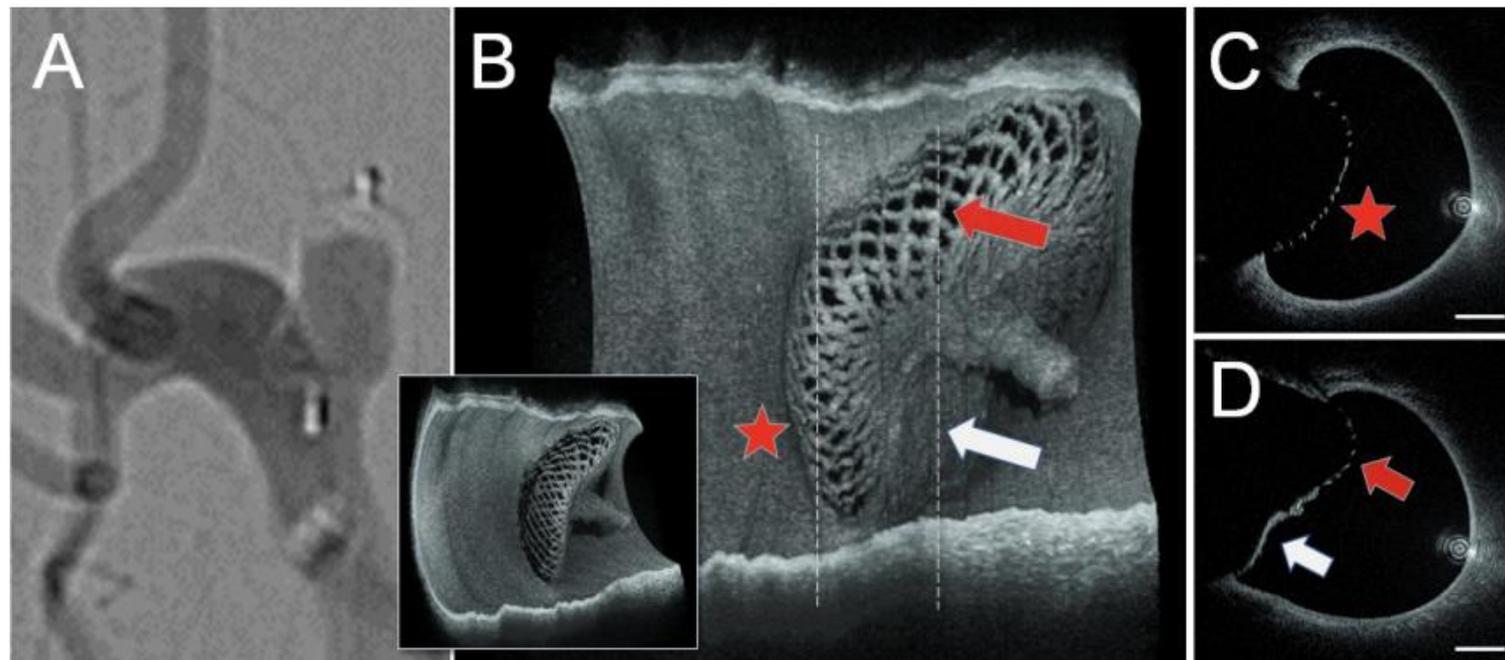
Aplicaciones

1. Caracterización de patología.
2. Monitorización de la respuesta vascular y la colocación de dispositivos.



Aplicaciones

1. Caracterización de patología.
2. Monitorización de la respuesta vascular y la colocación de dispositivos.



NRX intervencionista

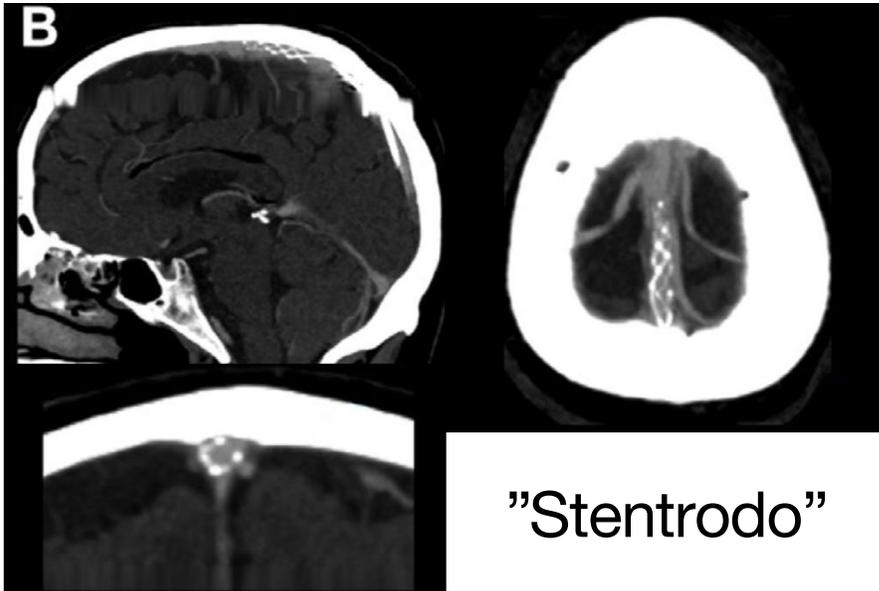
Neuroprótesis motora endovascular

New Devices and Techniques

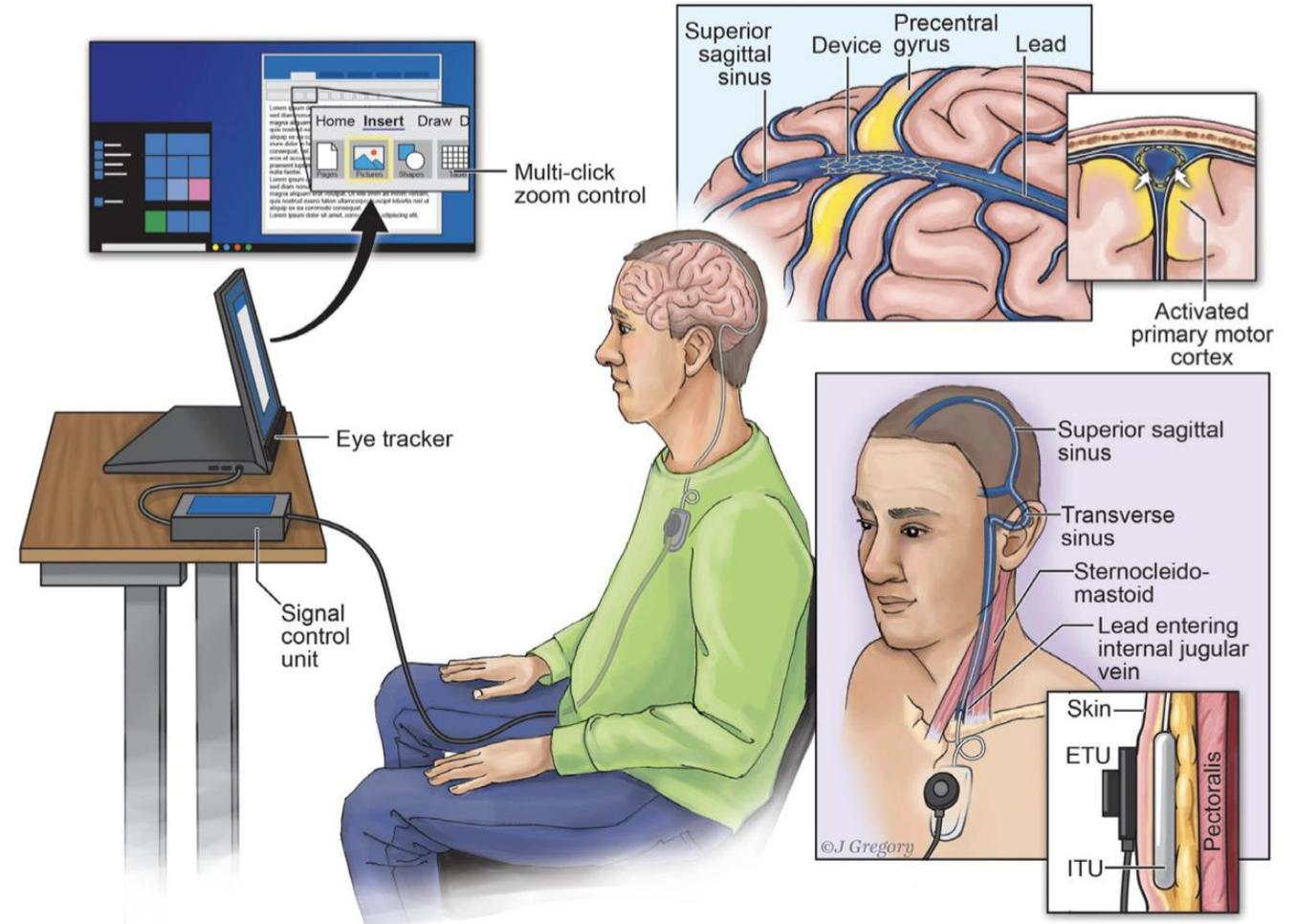


Case series

Motor neuroprosthesis implanted with neurointerventional surgery improves capacity for activities of daily living tasks in severe paralysis: first in-human experience



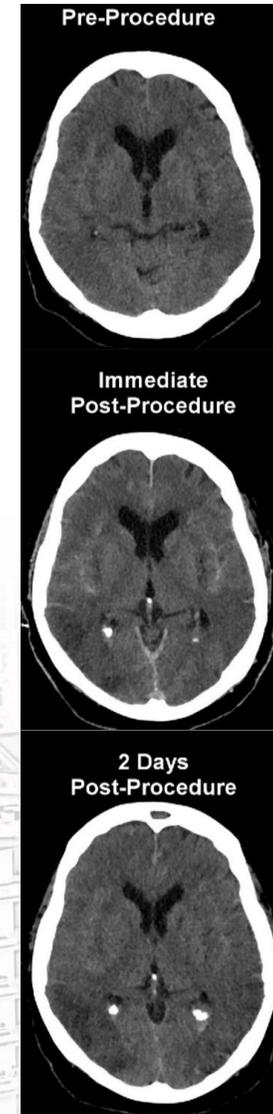
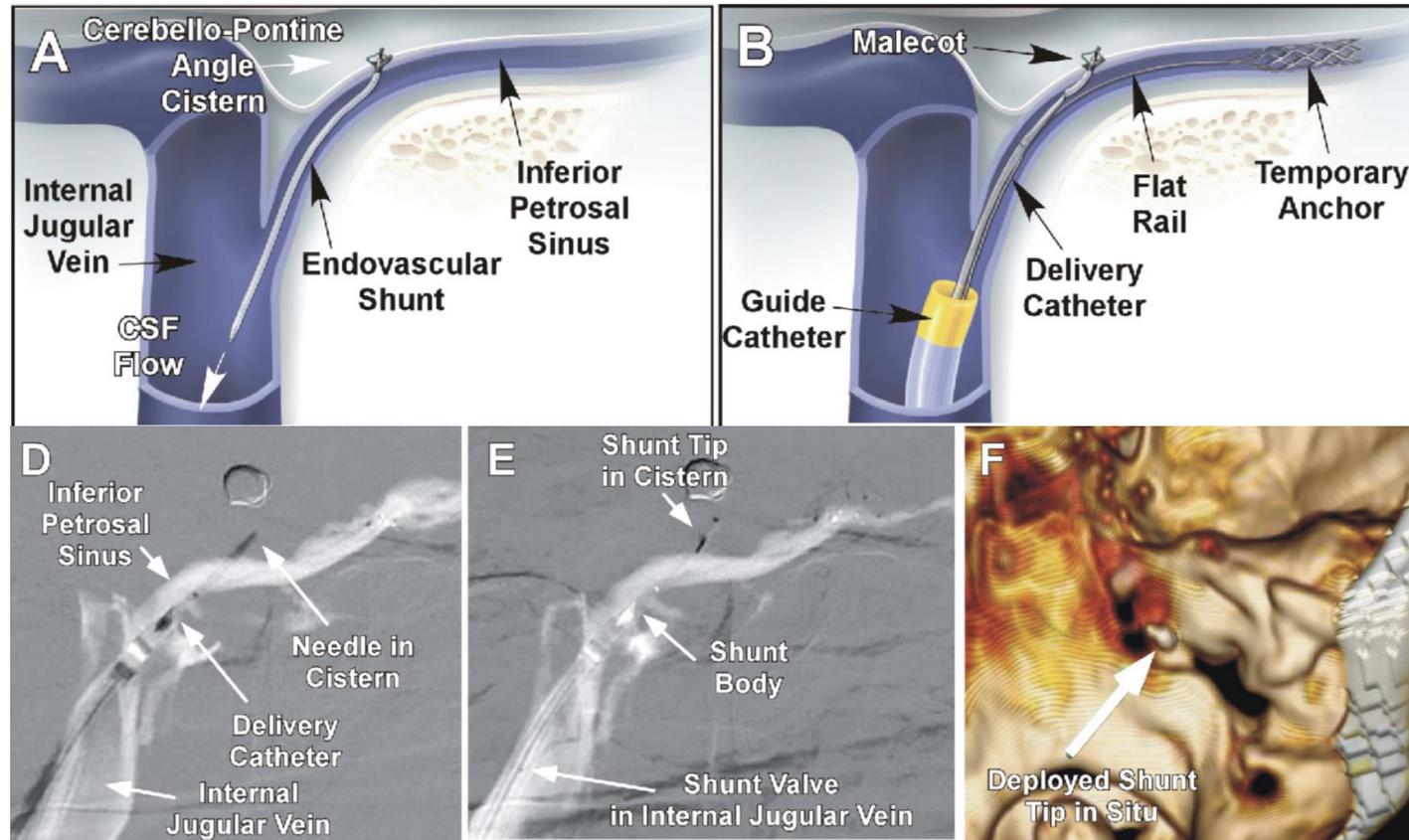
Pacientes con ELA



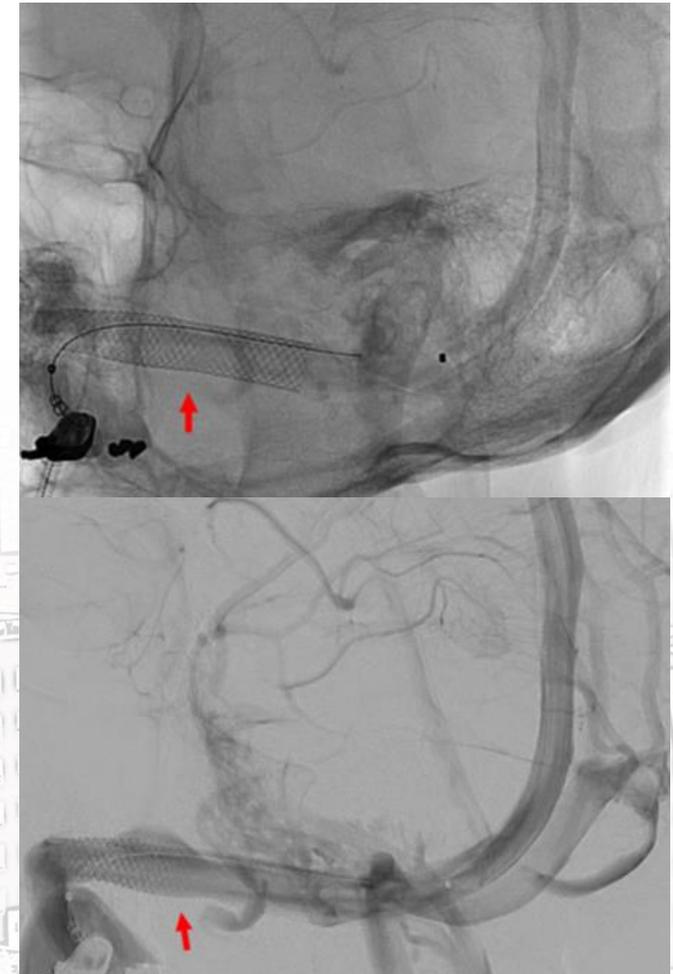
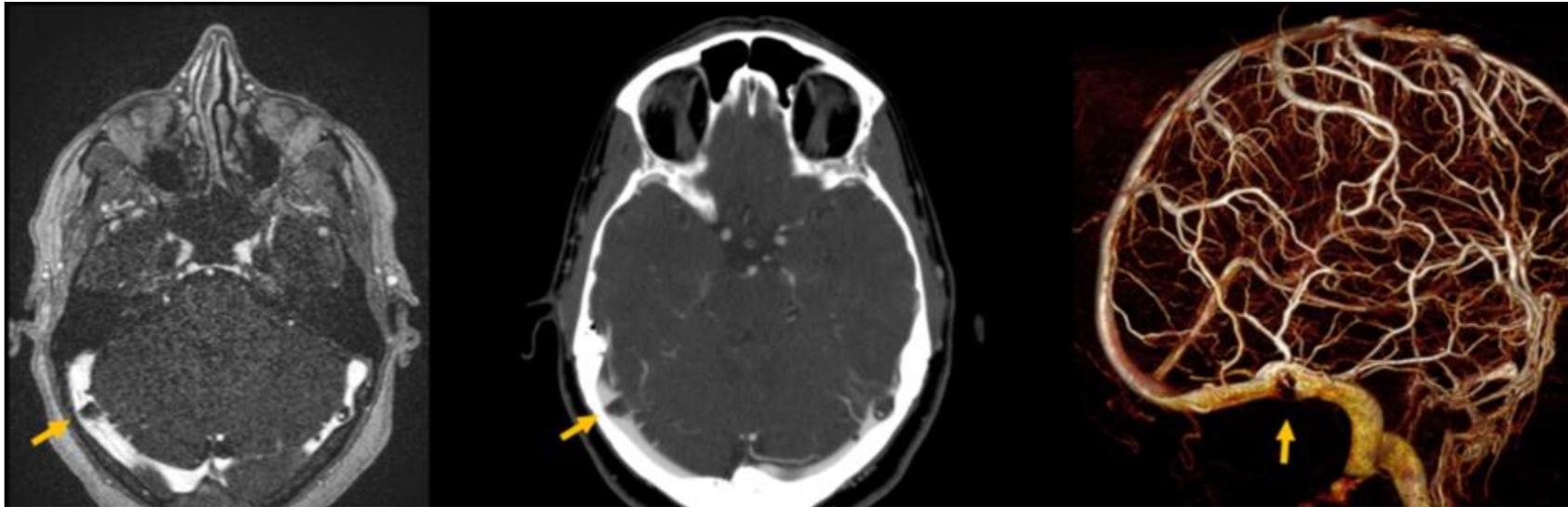


Case report

First-in-human endovascular treatment of hydrocephalus with a miniature biomimetic transdural shunt

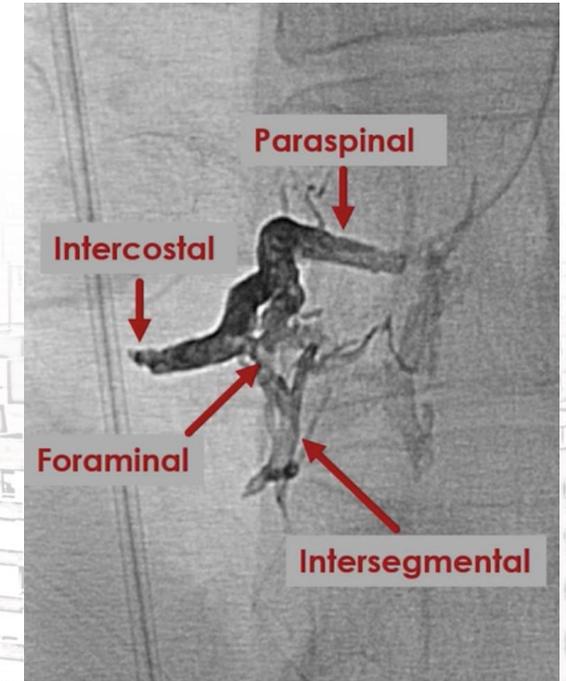
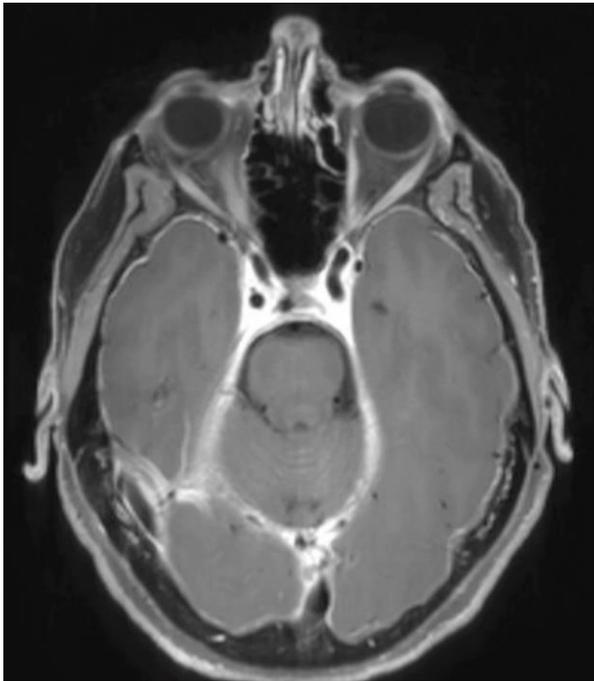


Tratamiento del acúfeno pulsátil de origen venoso.



Tratamiento del acúfeno pulsátil de origen venoso.

Tratamiento de fístulas de LCR-vena espinales.



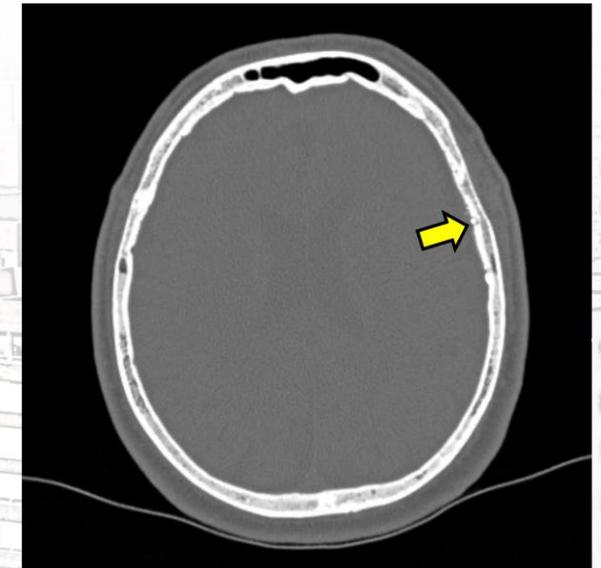
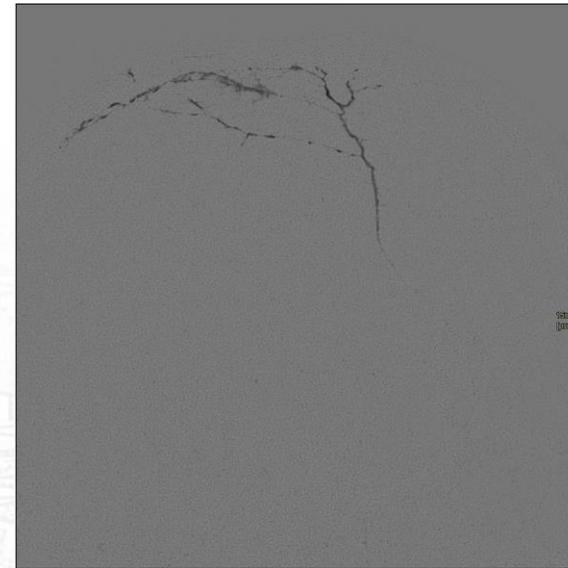
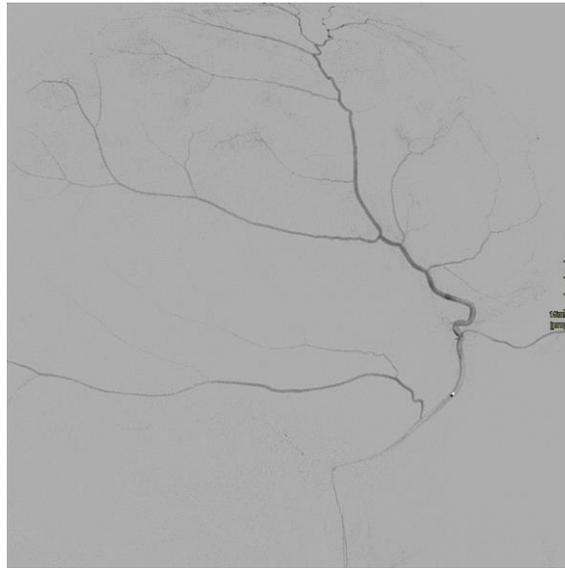
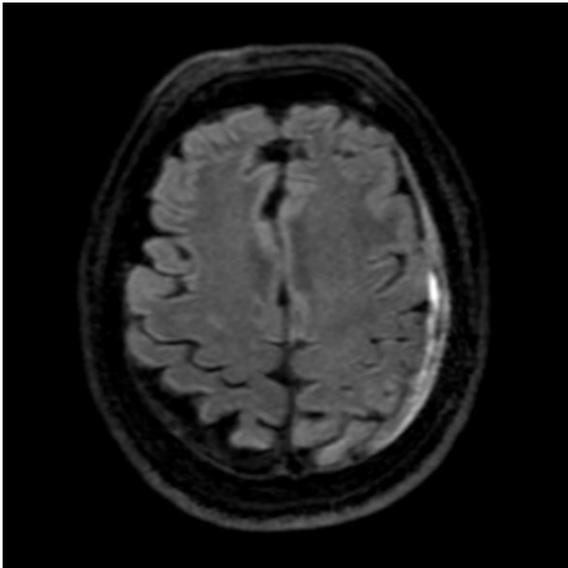
NRX intervencionista

Consolidación de técnicas emergentes

Tratamiento del acúfeno pulsátil de origen venoso.

Tratamiento de fístulas de LCR-vena espinales.

Embolización de la arteria meníngea media en el HSC.



Conclusiones

1. Futuro → Asimilación de **nuevos paradigmas** conceptuales.
2. Exceder el mero estudio anatómico y tratamiento endovascular.
3. Catalizar un mejor **entendimiento** del cerebro.



Muchas gracias

