

## **El Circuito de Papez: Anatomía Radiológica de la Emoción**

**Tipo:** Presentación Electrónica Educativa

**Autores:** Ana Sánchez Martín, **Carolina Calvo Corbella**, Patricia Carreño Moran, Juan Antonio Juanes Méndez, Andrés Framiñán De Miguel

### **Objetivos Docentes**

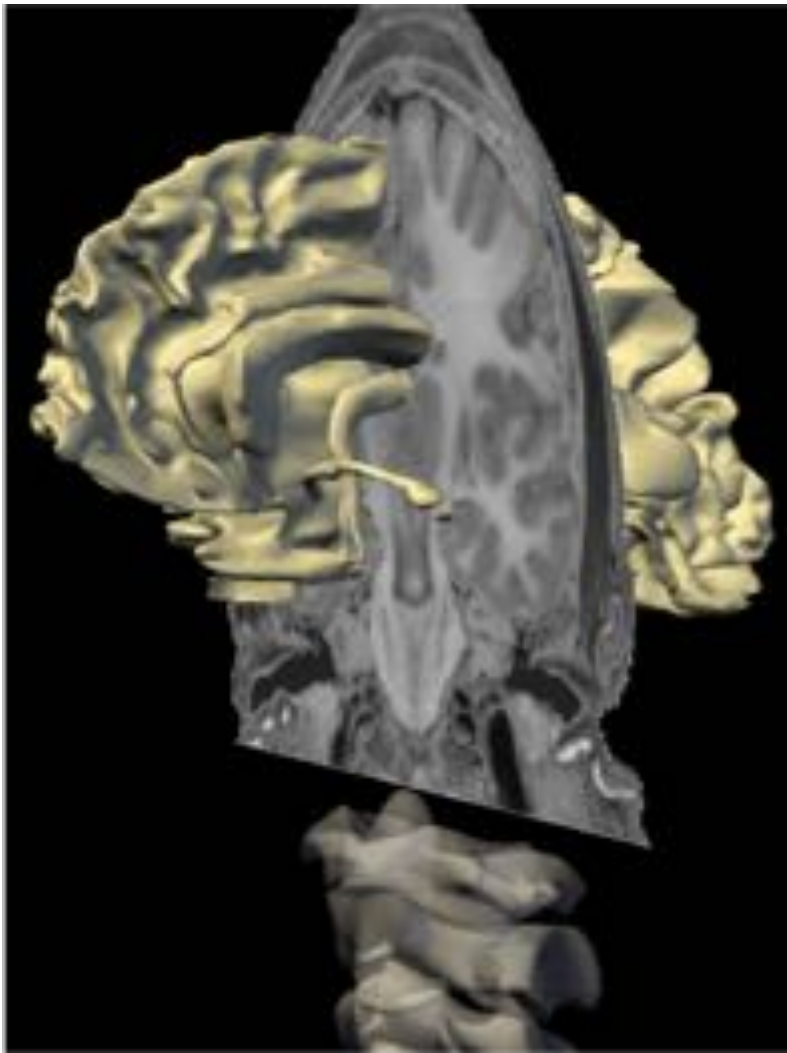
- 1) Realizar una correlación anatómo-radiológica del Circuito de Papez con las secciones de cadáver y reconstrucciones 3D, del proyecto Visible Human, de la Biblioteca Médica Nacional de los Estados Unidos (Fig 2).
- 2) Realizar una descripción anatómo-radiológica de las diferentes estructuras que constituyen el Circuito de Papez, mediante su visualización con imágenes de RM 2D y reconstrucciones 3D (Volume Rendering) (Fig 3 y 4)
- 3) Desarrollar una descripción exhaustiva de los tractos de sustancia blanca que constituyen el Circuito de Papez mediante tractografía cerebral por RM aplicando el tensor de difusión (DTI). (Fig 5).

**Imágenes en esta sección:**

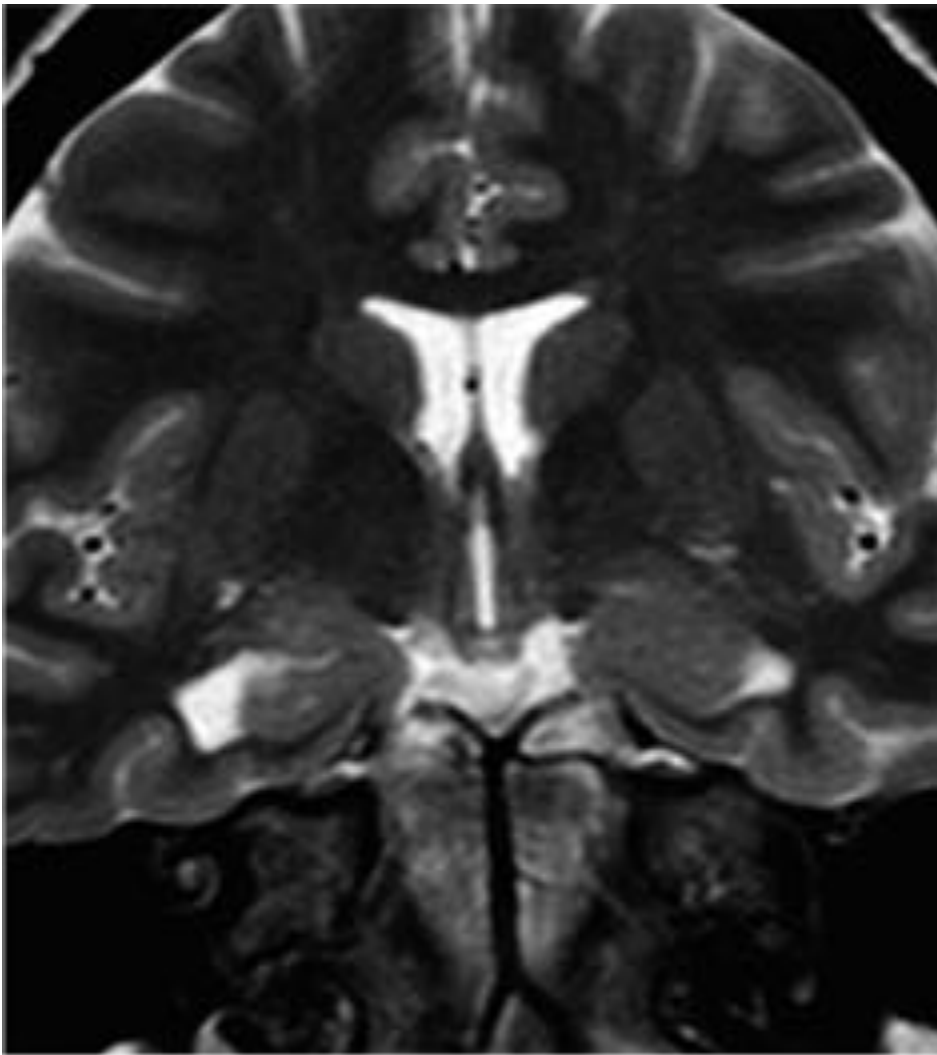
## El Circuito de Papez: Anatomía Radiológica de la Emoción

Ana Sánchez Martín<sup>1</sup>  
Carolina Calvo Corbella<sup>1</sup>  
Patricia Carreño Moran<sup>2</sup>  
Juan Antonio Juanes Méndez<sup>3</sup>  
Andrés Framiñán De Miguel<sup>2</sup>

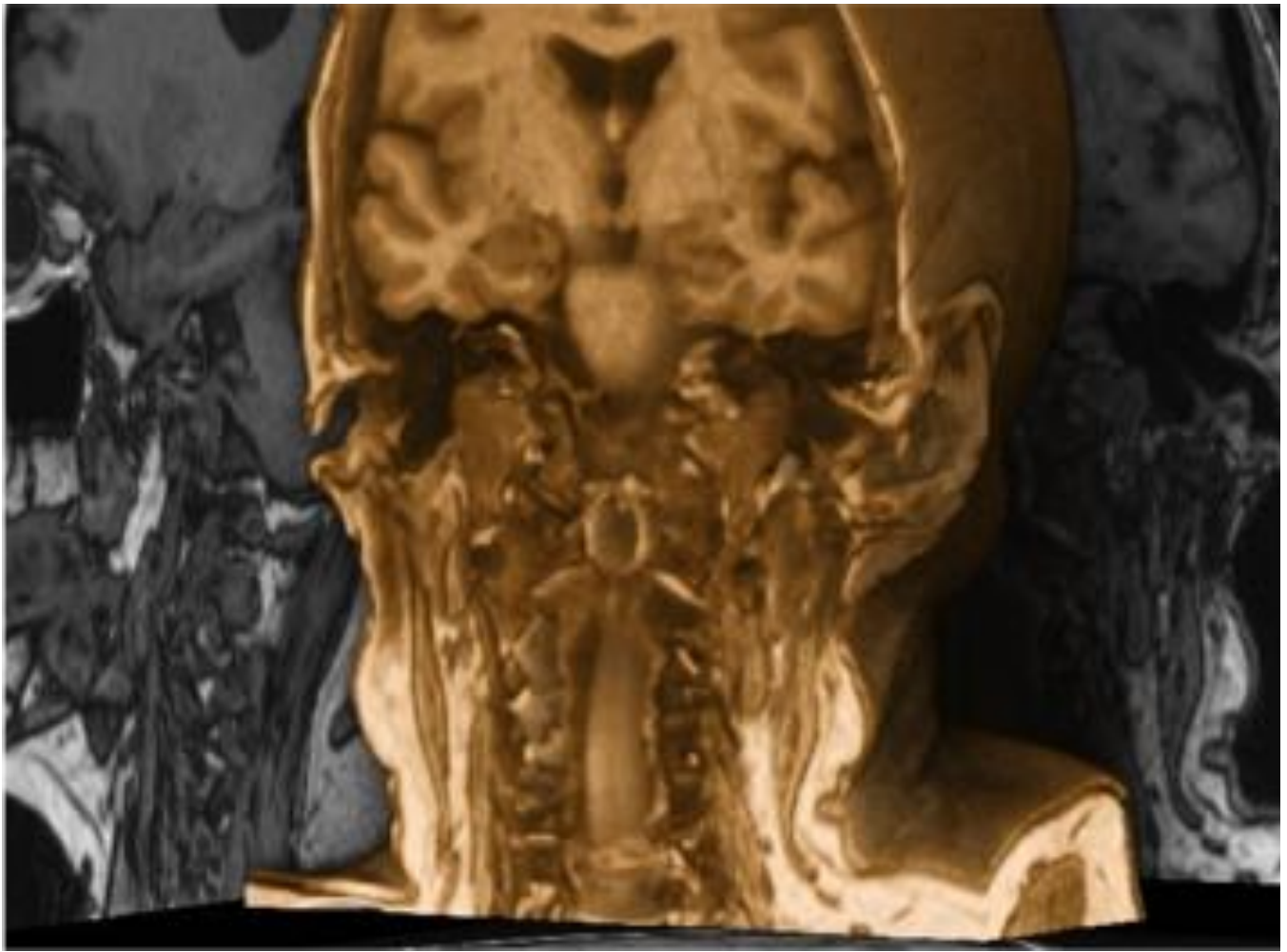
**Fig. 1:** El Circuito de Papez: Anatomía Radiológica de la Emoción



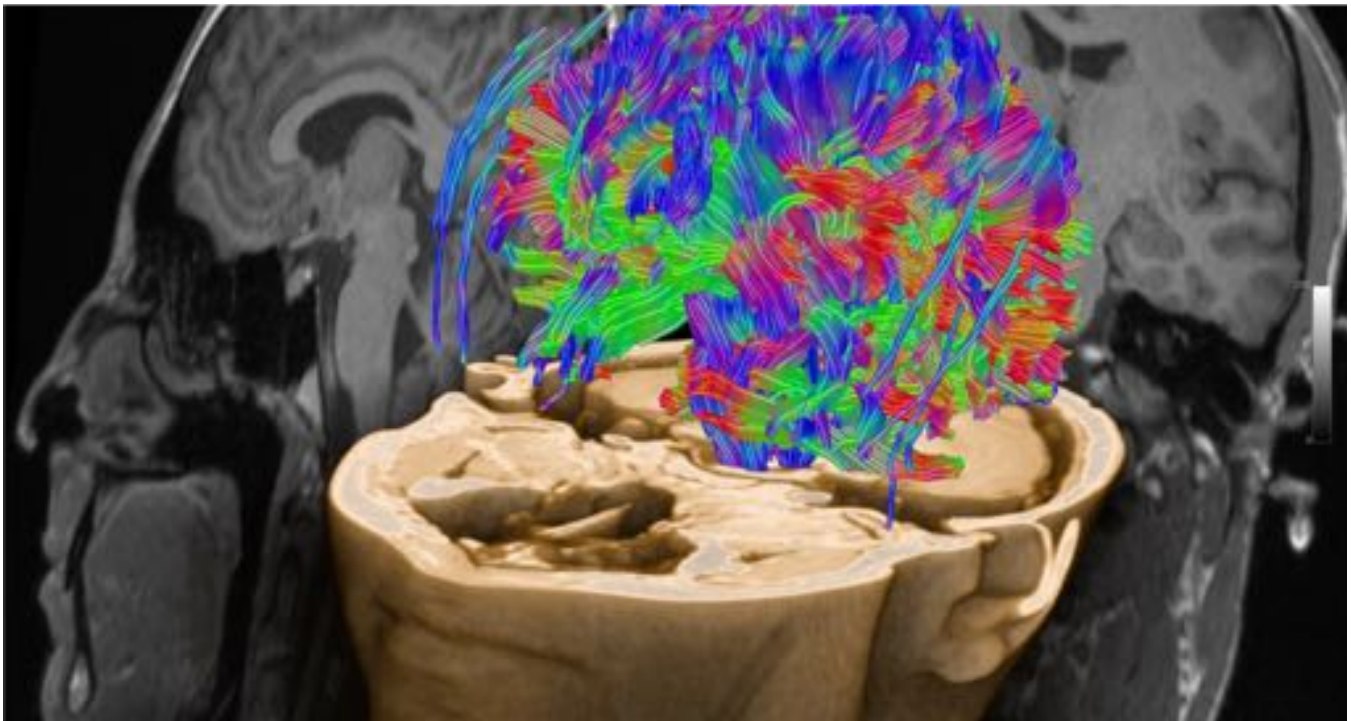
**Fig. 2:** Reconstrucción 3D mediante cortes ortogonales embebidas en diferentes secciones cerebrales realizada con el editor 3D Amira 3.1; TGS (Template Graphics Software).



**Fig. 3:** Corte fino de RM potenciado en T2 en proyección coronal oblicua al hipocampo.



**Fig. 4:** Reconstrucción 3D Volume Rendering de RM potenciada en T1 3D SPGR .



**Fig. 5:** Reconstrucción 3D de RM potenciada en T1 con estudio de tractografía

## Revisión del tema

El Sistema límbico (SL) está compuesto por un grupo de estructuras de sustancia gris y sustancia blanca interconectadas entre sí. En el Siglo XIX el neurólogo Broca fue el primero en establecer una relación entre una serie de estructuras con forma de C localizadas en la superficie medial del córtex cerebral, con las emociones. Dichas estructuras bordean el cuerpo calloso rodeando el cerebro medio, motivo por el que lo denominó le grande lobe limbique (del latín limbus=borde).

El SL participa en el aprendizaje, la memoria y en el comportamiento emocional, con influencia en los sistemas neuroendocrino y autónomo.

Una característica de este complejo sistema es que una función puede ser realizada por varios componentes que cooperan entre sí, y un componente puede participar en varias funciones.

En la actualidad existe controversia en cuanto a las estructuras que componen el SL; centraremos nuestro estudio en aquellas admitidas por la mayoría de los autores:

- 1) LA FORMACIÓN DEL HIPOCAMPO: La formación del hipocampo (Fig 6) es uno de los principales componentes del SL. Es una invaginación del giro parahipocampal en el cuerno inferior del ventrículo lateral que impronta el suelo de dicho ventrículo.
- 2) EL COMPLEJO AMIGDALINO: La amígdala, o complejo amigdalino, (Fig 7) es una estructura subcortical con forma de almendra situada en la parte rostromedial del lóbulo temporal, formando parte de la pared superomedial del asta temporal del ventrículo lateral. Respecto a la cabeza del hipocampo se localiza superomedialmente y estaría separada de él por el receso uncal del ventrículo lateral.

3) EL ÁREA SEPTAL: El área septal (Fig 8) es una pequeña área localizada inferior a la rodilla del cuerpo calloso. Se identifica el giro paraterminal con orientación vertical en al región más posterior del área septal.

4) EL NUCLEO ACCUMBENS: EL nucleo accumbens (Fig 9) se localiza donde la cabeza del núcleo caudado y el putamen confluyen, lateralmente respecto al septum pellucidum , inferior a las astas frontales de los ventrículos laterales y profundo al giro insular. El nucleo accumbens presenta una localización superomedial respecto a la amígdala.

Estas estructuras que componen el SL están interrelacionadas por un complejo sistema de conexiones. Fue en 1937 cuando el Dr Pápez describió un sistema cerrado, hoy conocido como Circuito de Papez, que unía el cíngulo, el hipocampo, el fórnix, los cuerpos mamilares y el tálamo.

A continuación realizaremos una descripción del Circuito de Papez, el cual está compuesto por los principales componentes de sustancia gris y blanca del Sistema Límbico y es considerado un componente esencial de las bases estructurales de la emoción.

## EL FÓRNIX

El fornix constituye el sistema eferente primario del hipocampo.

El alveus (Figs. 10, 11, 14, 17, 29, 30 y 31) se origina en el suelo del cuerno temporal de la superficie ventricular de la formación hipocampal, discurriendo posteriormente para convertirse en la fimbria.

La fimbria (Figs. 10, 11, 14 15, 17 y 31) se separa del hipocampo para formar la columna posterior del fórnix que discurre hacia arriba y hacia adelante por debajo del cuerpo calloso.

Las columnas posteriores del fórnix (Figs. 10, 11, 15, 17 y 18) están unidas por una fina lamina de fibras con morfología triangular que cruza la línea media conectando ambos hipocampos, constituyendo la comisura del fórnix o comisura hipocampal (Fig. 18).

En la unión del atrio y el cuerpo del ventrículo lateral, ambas columnas posteriores se unen para formar el cuerpo del fórnix el cual discurre a lo largo del borde superomedial del tálamo, en la pared medial de los ventrículos lateral (Fig. 18).

Alrededor de la comisura anterior la columna anterior del fórnix se dividen en otras dos columnas (Figs. 10, 11, 19, 20 y 32):

-Fibras precomisurales: alcanzan el área septal y el lóbulo frontal.

-Fibras postcomisurales: Se originan en el subículo del hipocampo y alcanzan los núcleos mamilares del hipotálamo. Las fibras postcomisurales son las que forman parte del circuito de Papez.

## CÍNGULO

El cíngulo es la mayor fuente de fibras aferentes del hipocampo.

Discurre longitudinal y paralelo por encima del cuerpo calloso (Figs. 21, 22, 23 y 24)

Existen un conjunto de fibras verticales que emergen del giro frontal superior, del lóbulo paracentral y de la precuña y se incorporan al cíngulo . Las fibras verticales que se originan en la precuña son las mayores cuantitativamente y por lo tanto las que condicionan un mayor engrosamiento del Cíngulo.

Anteriormente las fibras del cíngulo se curvan por delante de la rodilla del Cuerpo Calloso para alcanzar el giro subcalloso (o area paraolfatoria de Broca) y el giro paraterminal (Fig. 23).

Posteriormente se observa un estrechamiento del cíngulo a nivel del istmo donde las fibras comisurales del fórceps mayor cruzan por delante de la fibras del cíngulo (Fig. 24).

Por debajo de este nivel, el cíngulo discurre cerca de la parte mas anterior de la radiaciones ópticas y cubre la parte mas anterior del surco calcarino (Fig. 25).

El cíngulo continua anteriormente hacia la región parahipocampal, terminando en el córtex entorrinal, el cual se localiza adyacente al presubículo (Fig. 26).

## CIRCUITO DE PAPEZ

El Circuito de Papez está compuesto por los principales componentes de sustancia gris y blanca del Sistema Límbico y es considerado un componente esencial de las bases estructurales de la emoción (Figs. 27 y 34).

Tras recibir fibras del giro frontal superior, del lóbulo paracentral y de la precuña el cíngulo alcanza el subículo de la formación del hipocampo (Fig. 28).

Desde el córtex entorrinal, y a través del presubículo y subículo, las fibras se proyectan al asta de Ammon o hipocampo propiamente dicho (Figs. 29 y 30).

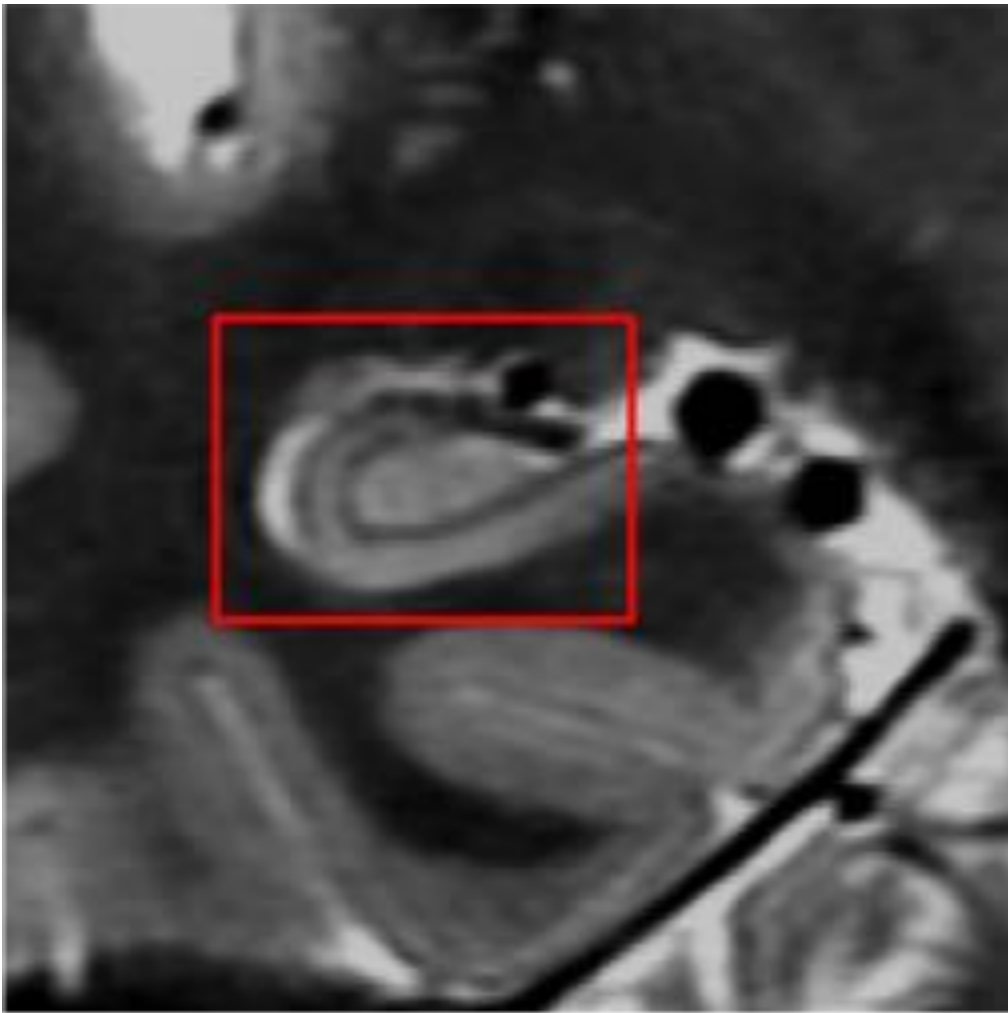
Desde el hipocampo la información pasaría al alveus, de este a la fimbria y por último al fórnix (Fig. 31).

En su región más anterior la columna anterior del fórnix se divide en fibras pre y postcomisurales, alcanzando estas los núcleos mamilares, los cuales proyectan sus fibras a través del tracto mamilotalámico al núcleo anterior del tálamo (Fig. 32).

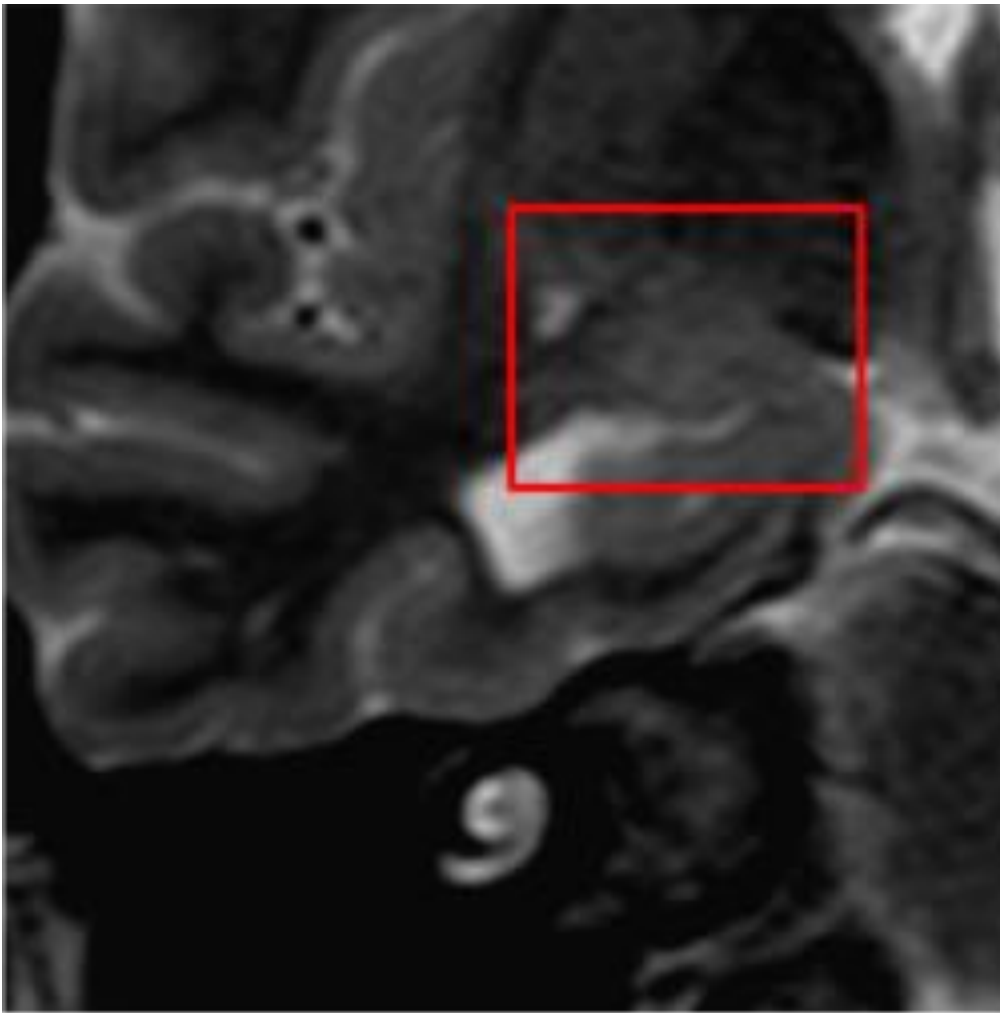
Por último desde el tálamo, a través de las radiaciones talámicas anteriores, se alcanzaría el giro cingular, completándose así el circuito de Papez (Fig. 33).

## **Imágenes en esta sección:**

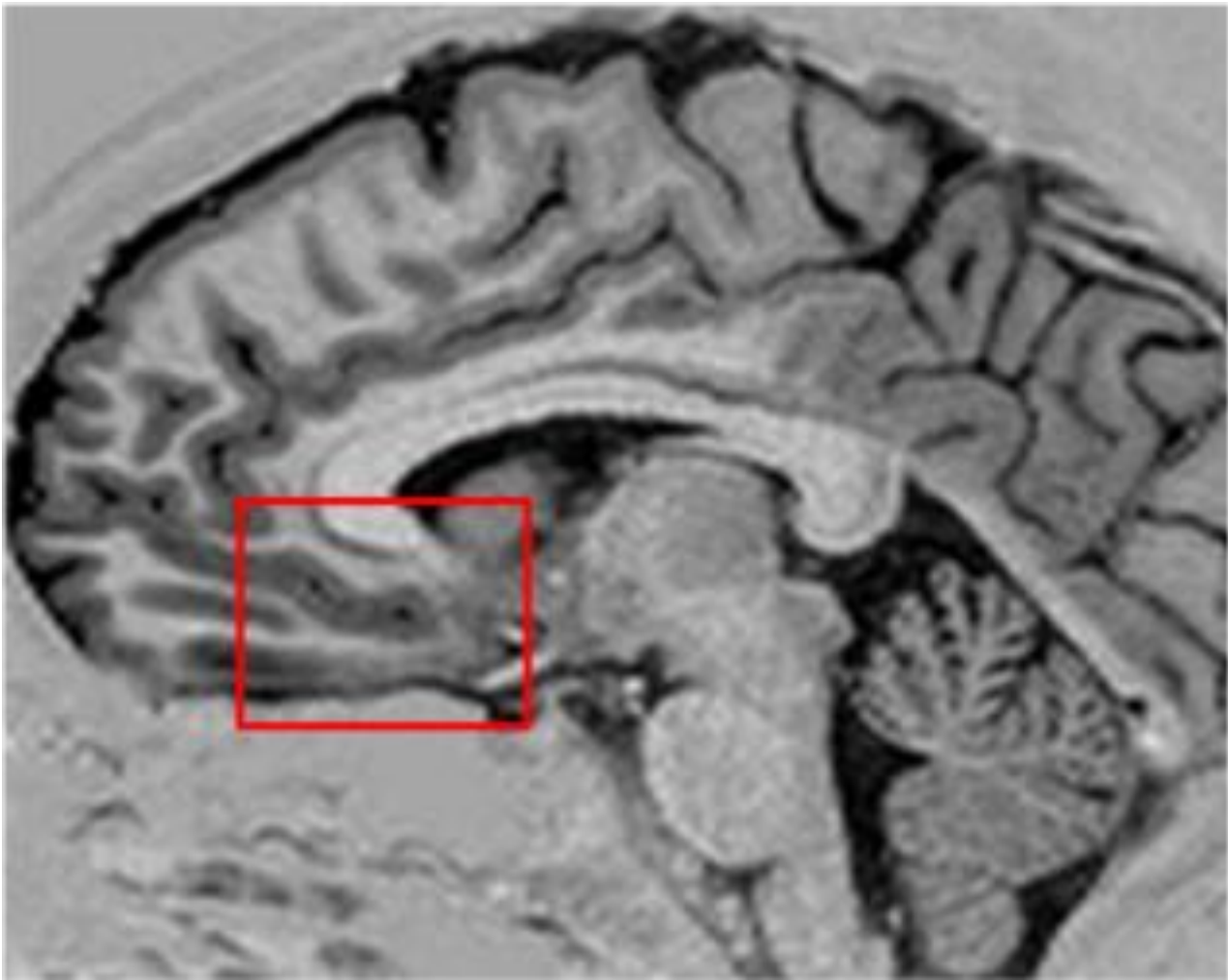




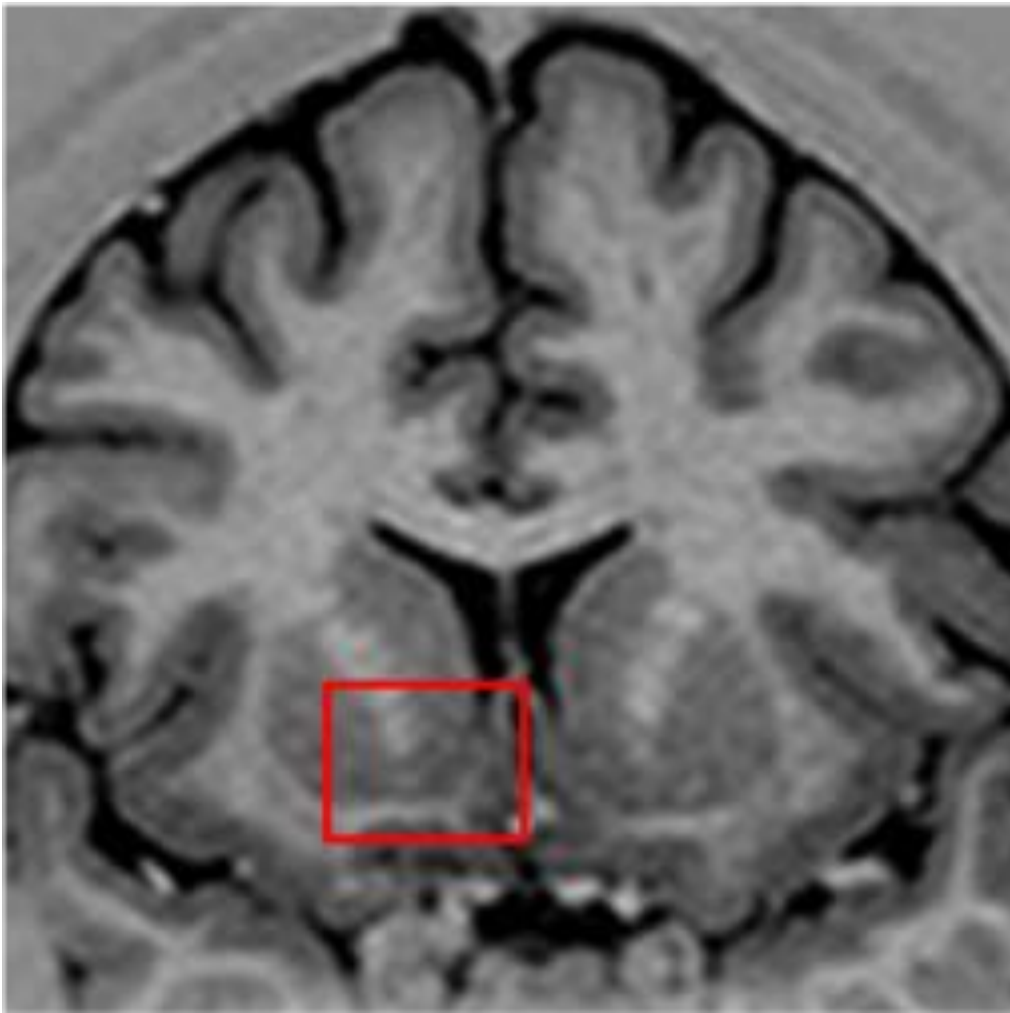
**Fig. 6:** Corte coronal de RM oblicuo al hipocampo en secuencia potenciada en T2. La formación del hipocampo (cuadro rojo) es uno de los principales componentes del SL. Es una invaginación del giro parahipocampal en el cuerno inferior del ventrículo lateral que impronta el suelo de dicho ventrículo.



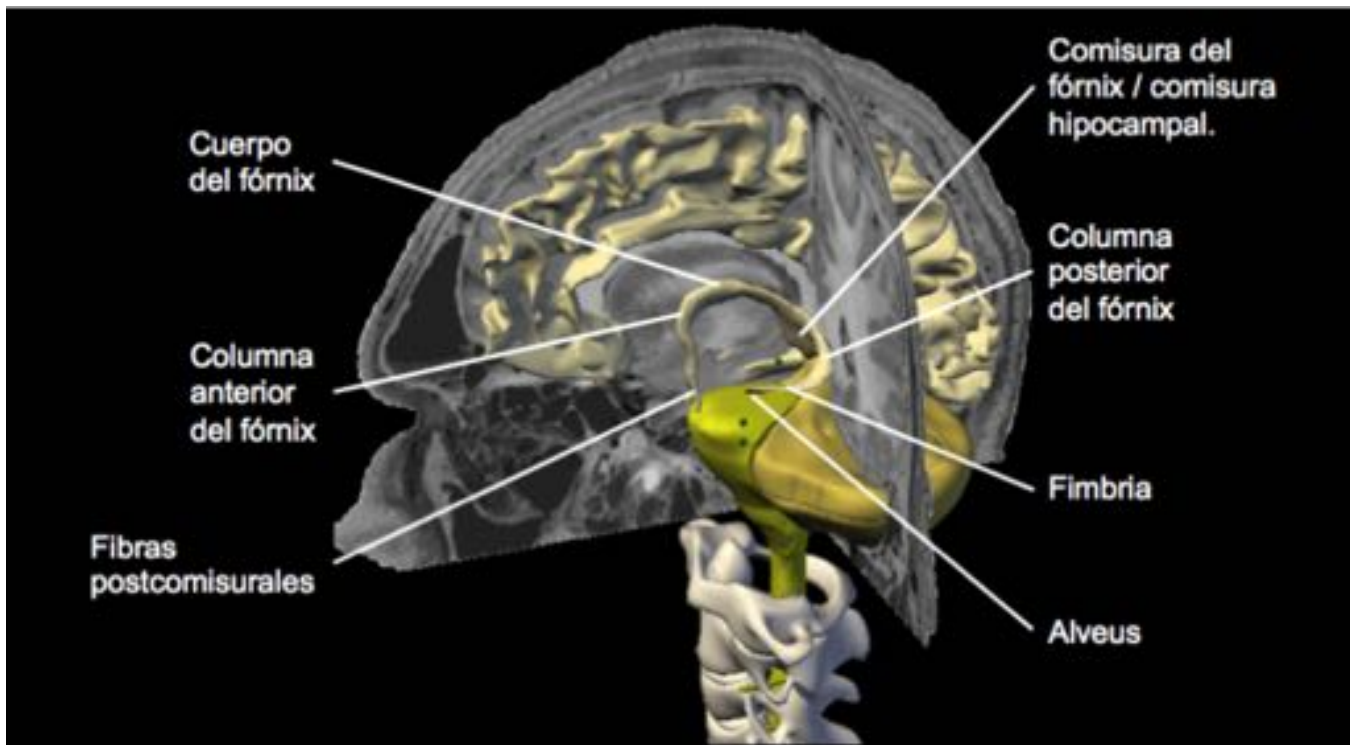
**Fig. 7:** Corte fino de RM coronal potenciada en T2 en proyección coronal oblicua al hipocampo. La amígdala, o complejo amigdalino, (cuadro rojo) es una estructura subcortical con forma de almendra situada en la parte rostromedial del lóbulo temporal, formando parte de la pared superomedial del asta temporal del ventrículo lateral.



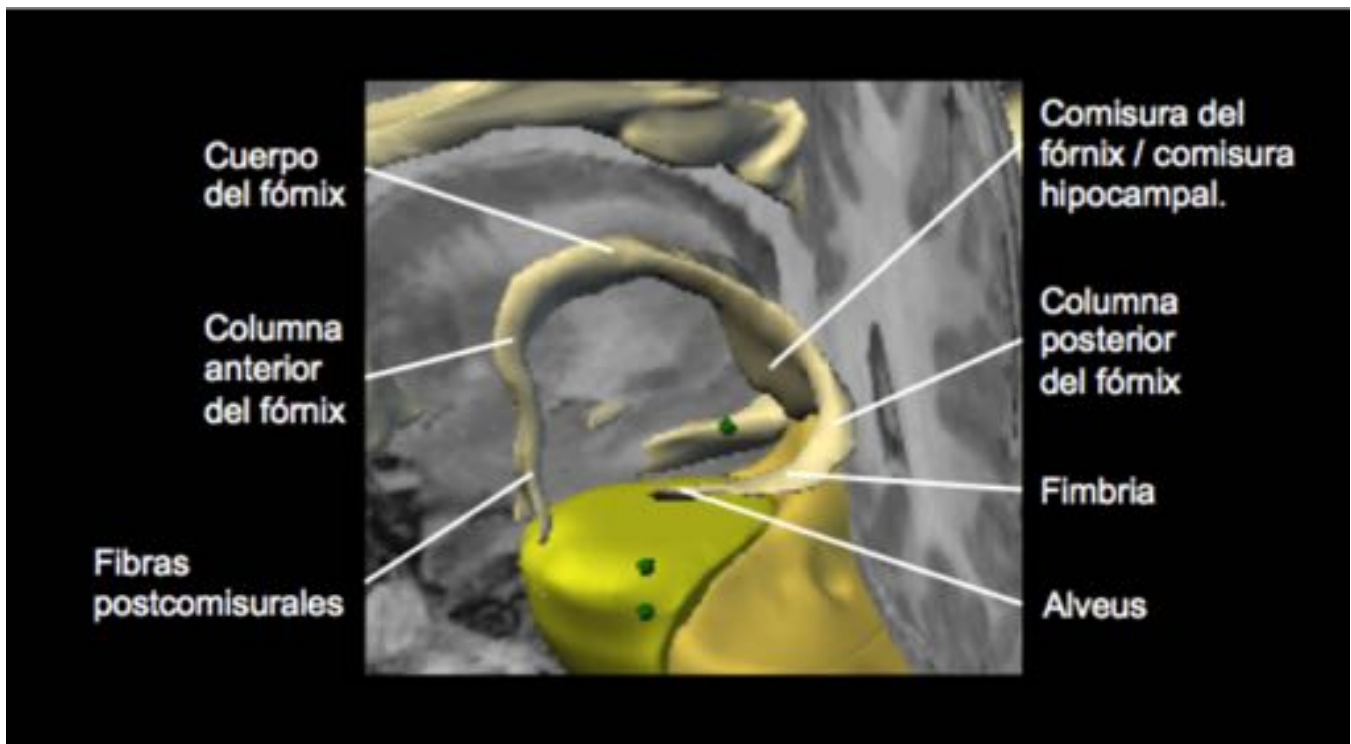
**Fig. 8:** Corte sagital de RM potenciada en T1-IR. El área septal (cuadro rojo) es una pequeña área localizada inferior a la rodilla del cuerpo calloso. Se identifica el giro paraterminal con orientación vertical en al región más posterior del área septal.



**Fig. 9:** Corte coronal de RM potenciada en T1-IR. EL núcleo accumbens (cuadro rojo) se localiza donde la cabeza del núcleo caudado y el putamen confluyen, lateralmente respecto al septum pellucidum, inferior a las astas frontales de los ventrículos laterales y profundo al giro insular. El núcleo accumbens presenta una localización superomedial respecto a la amígdala.

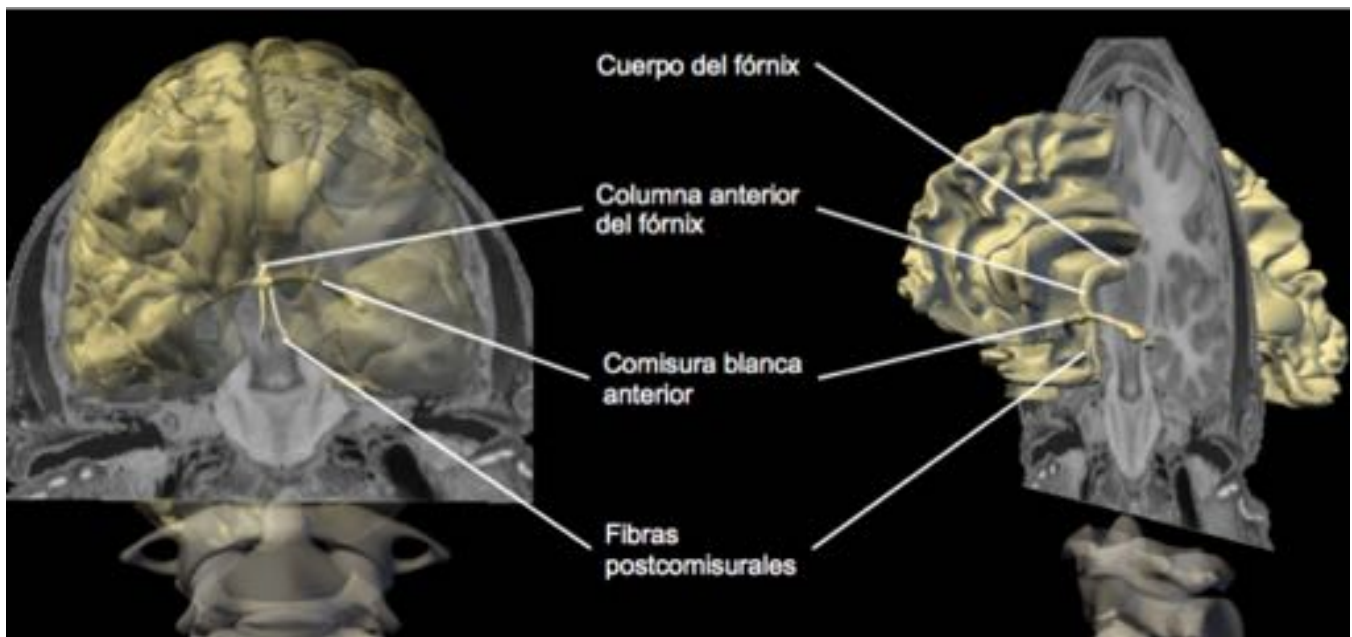


**Fig. 10:** Reconstrucción 3D realizada con el editor 3D Amira 3.1; TGS (Template Graphics Software). Se identifican los distintos componentes del fórnix. Se observa el alveus, como inicio del sistema aferente del SL, que se continúa con la fimbria y esta con la columna posterior del fórnix. La columna posterior se continúa con el cuerpo del fórnix y este con la columna anterior para finalmente dividirse en fibras precomisurales (no mostradas) y postcomisurales.

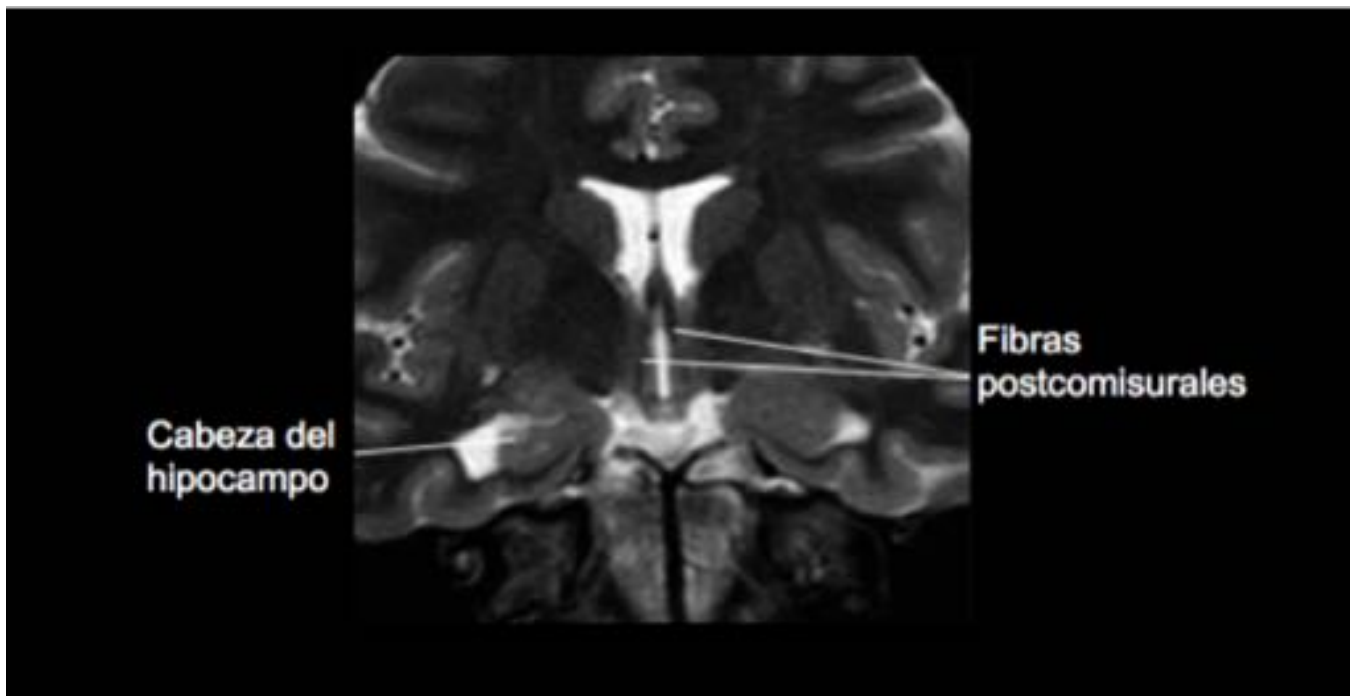


**Fig. 11:** Reconstrucción 3D realizada con el editor 3D Amira 3.1; TGS (Template Graphics Software).

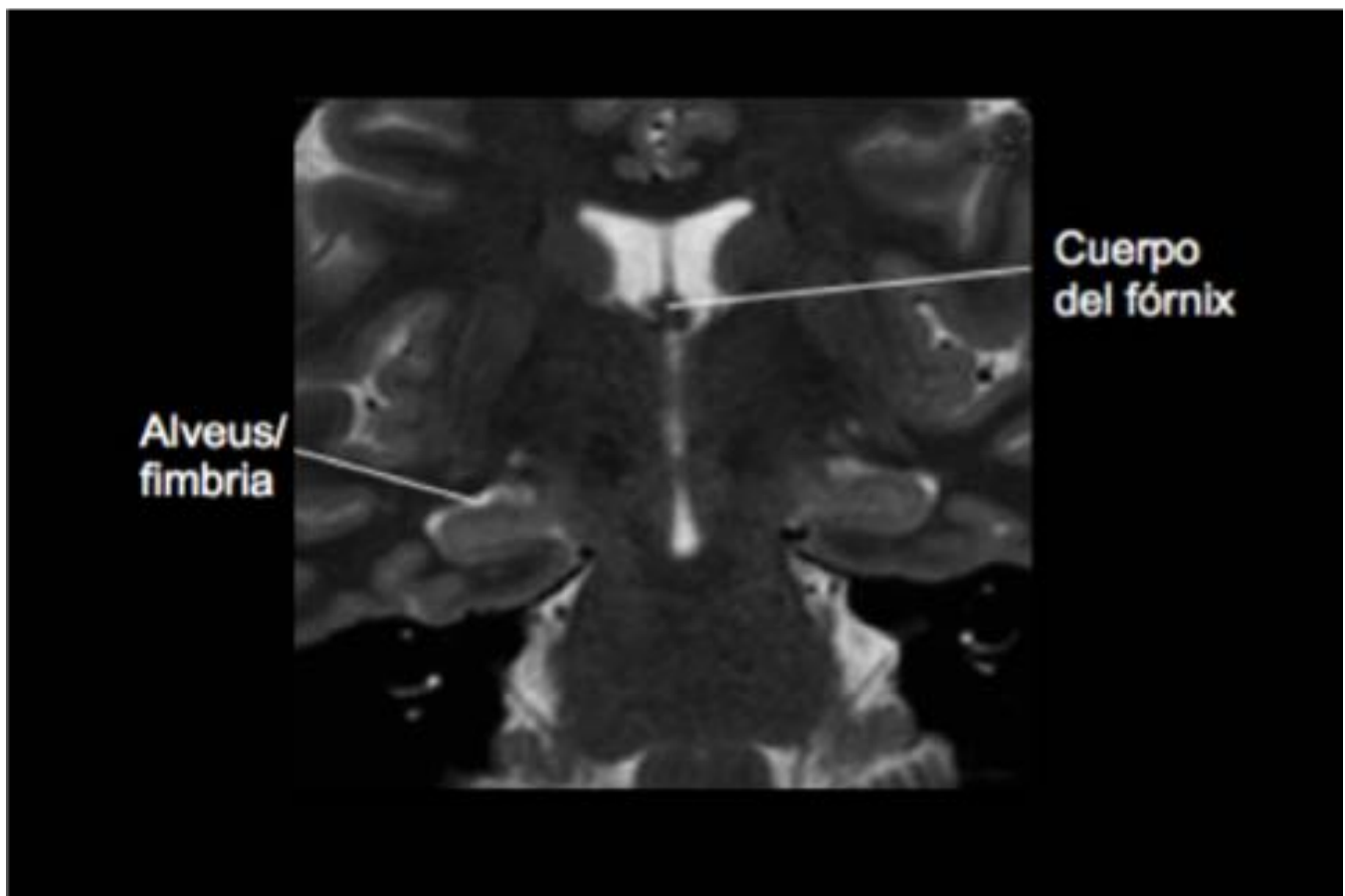
Visión ampliada de la Fig. 10.



**Fig. 12:** Reconstrucción 3D realizada con el editor 3D Amira 3.1; TGS (Template Graphics Software). El cuerpo del fórnix se continúa con la columna anterior del fórnix la cual en relación con la comisura blanca anterior se divide en fibras precomisurales (no mostradas) y postcomisurales, alcanzando estas últimas los cuerpos mamilares y constituyendo parte del circuito de Pápez.



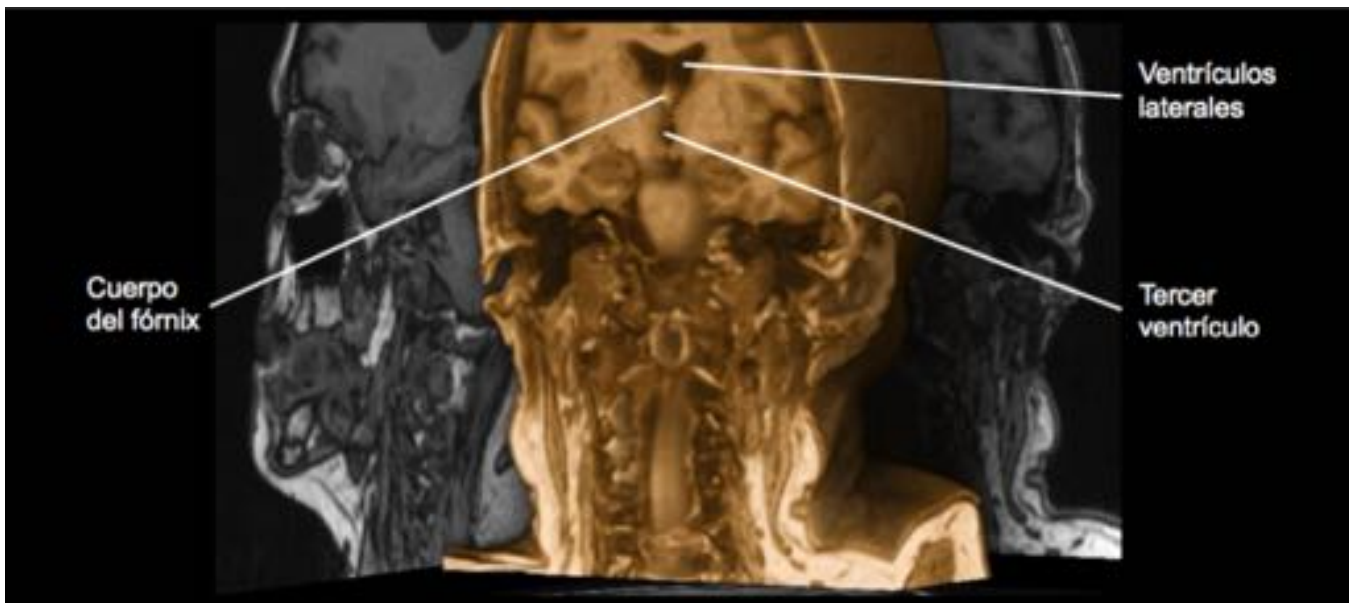
**Fig. 13:** Corte fino de RM potenciada en T2 en proyección coronal oblicua al hipocampo. A nivel de la cabeza del hipocampo, se localizan las fibras postcomisurales.



**Fig. 14:** Corte fino de RM potenciada en T2 en proyección coronal oblicua al hipocampo. En un corte más posterior se localizarían el alveus y la fimbria encima del cuerpo del hipocampo y el cuerpo del fórnix en la línea media y superior a la región talámica.

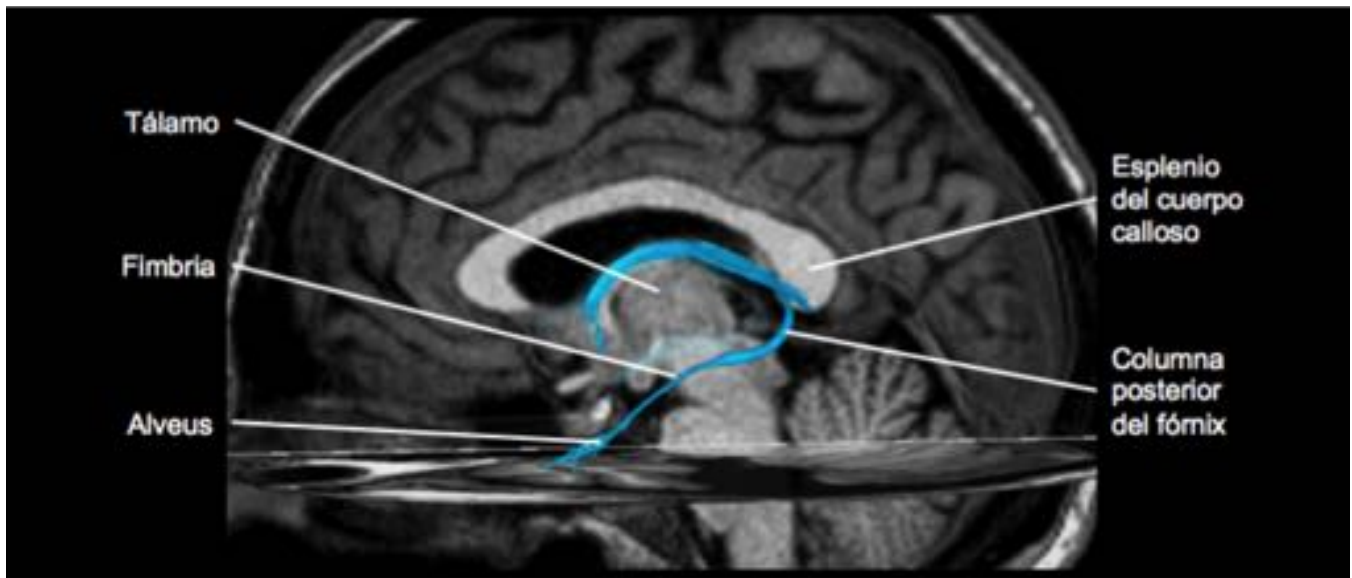


**Fig. 15:** Corte fino de RM potenciado en T2 en proyección coronal oblicua al hipocampo. En un corte mas posterior se observa la región más posterior de la fimbria, encima de la cola del hipocampo, y su continuación con las columnas posteriores del fórnix.

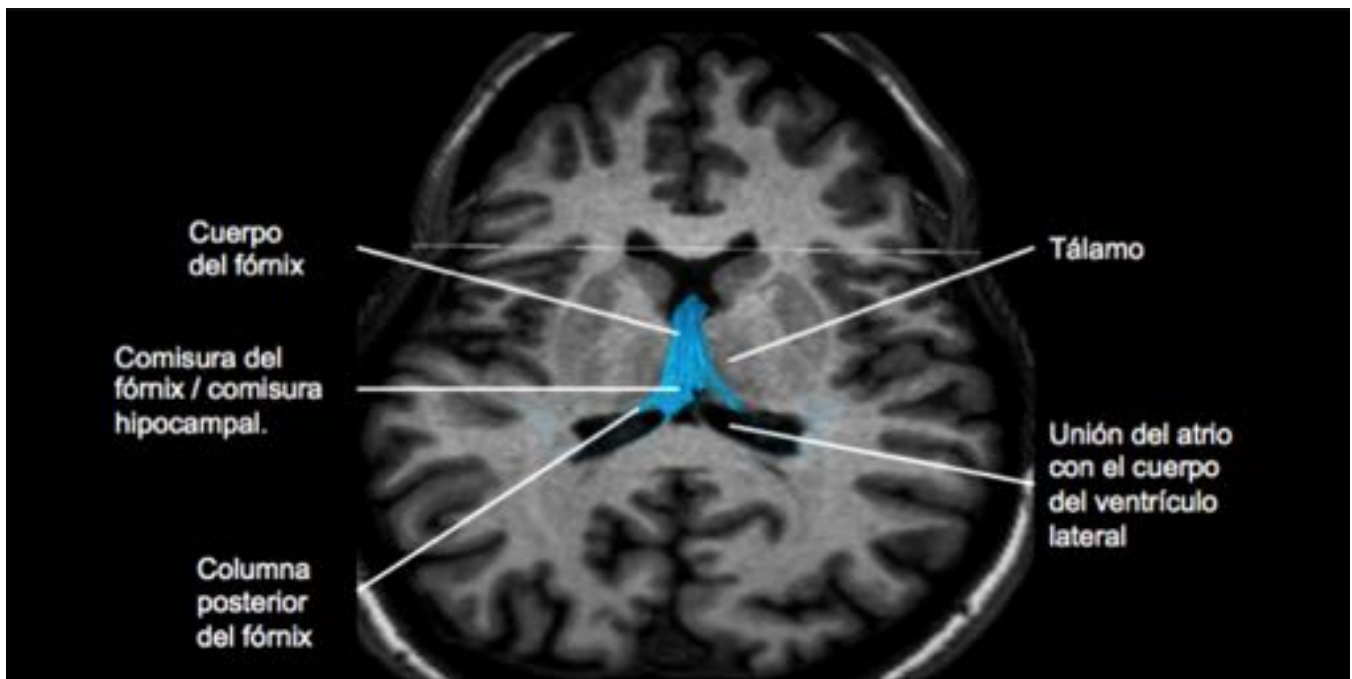


**Fig. 16:** Reconstrucción 3D Volume Rendering de RM potenciada en T1 3D SPGR . Se identifican el cuerpo del fórnix respecto al sistema ventricular, inferior a los ventrículos laterales y superior al tercer ventrículo.

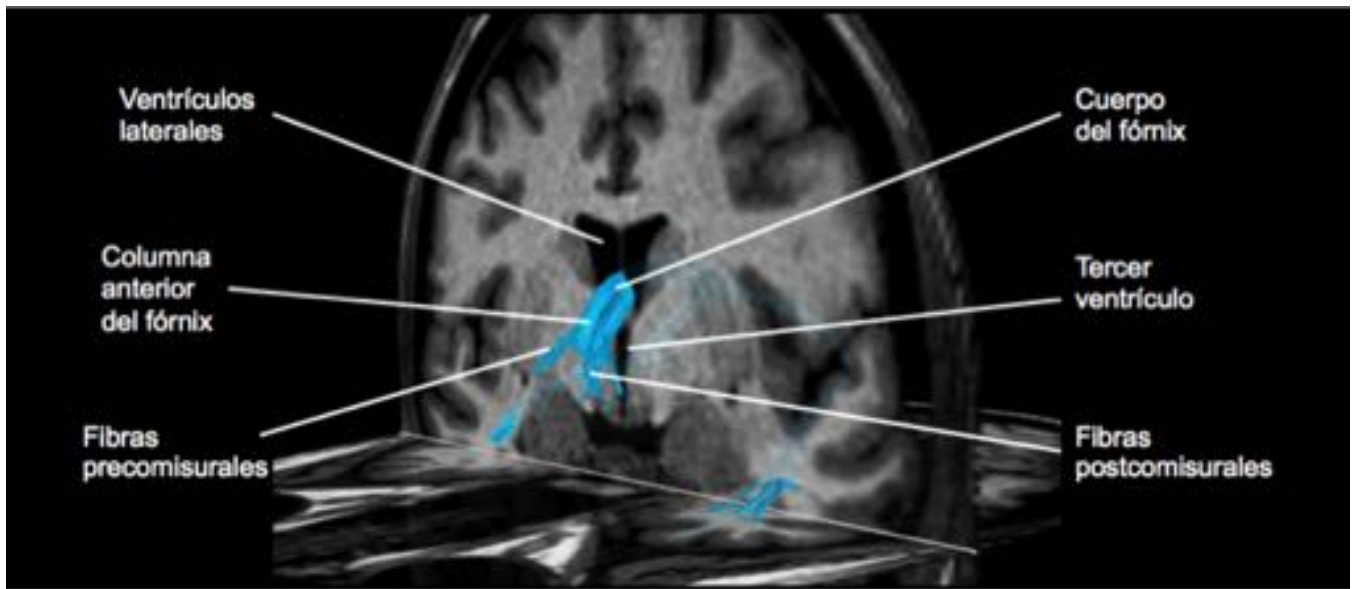




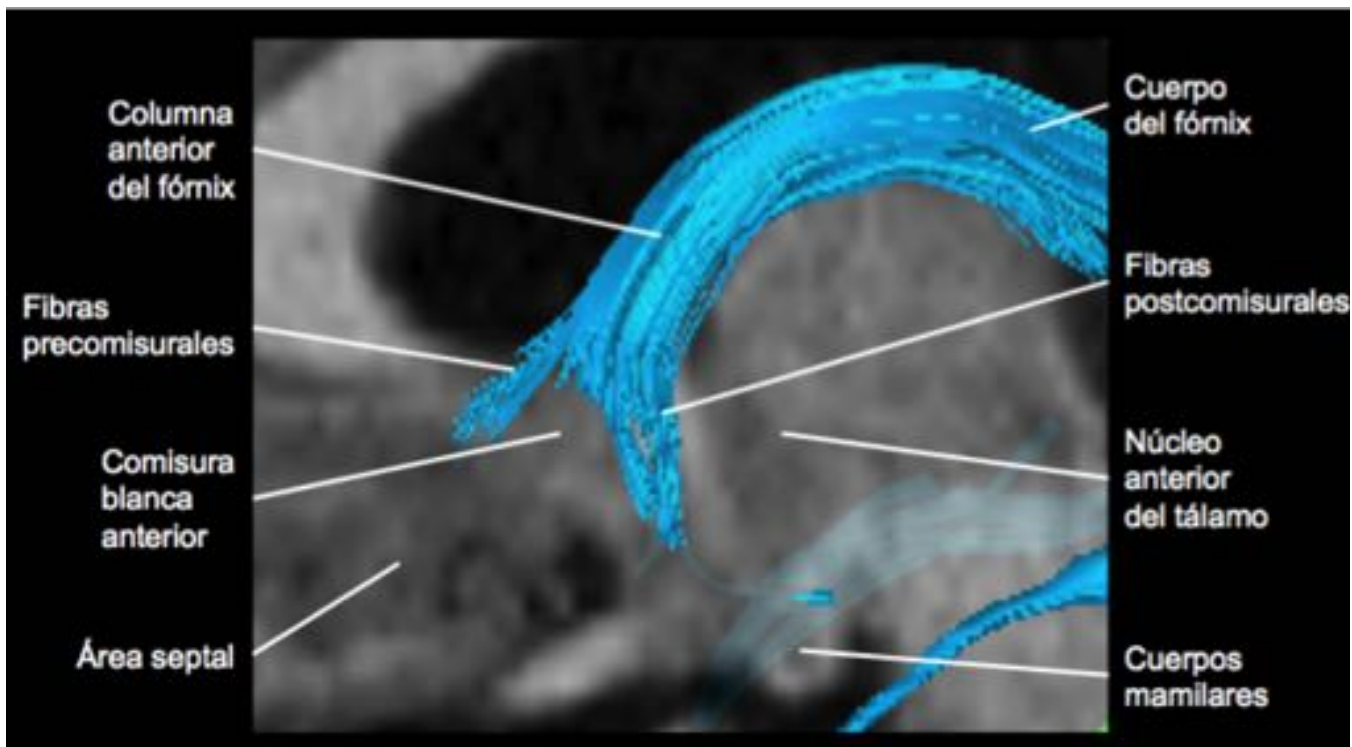
**Fig. 17:** RM potenciada en T1 3D SPGR y estudio de tractografía. El alveus se continua con la fimbria y esta a su vez se convierte en la columna posterior del fórnix. Ambas columnas posteriores se unen por debajo del espleno del cuerpo calloso



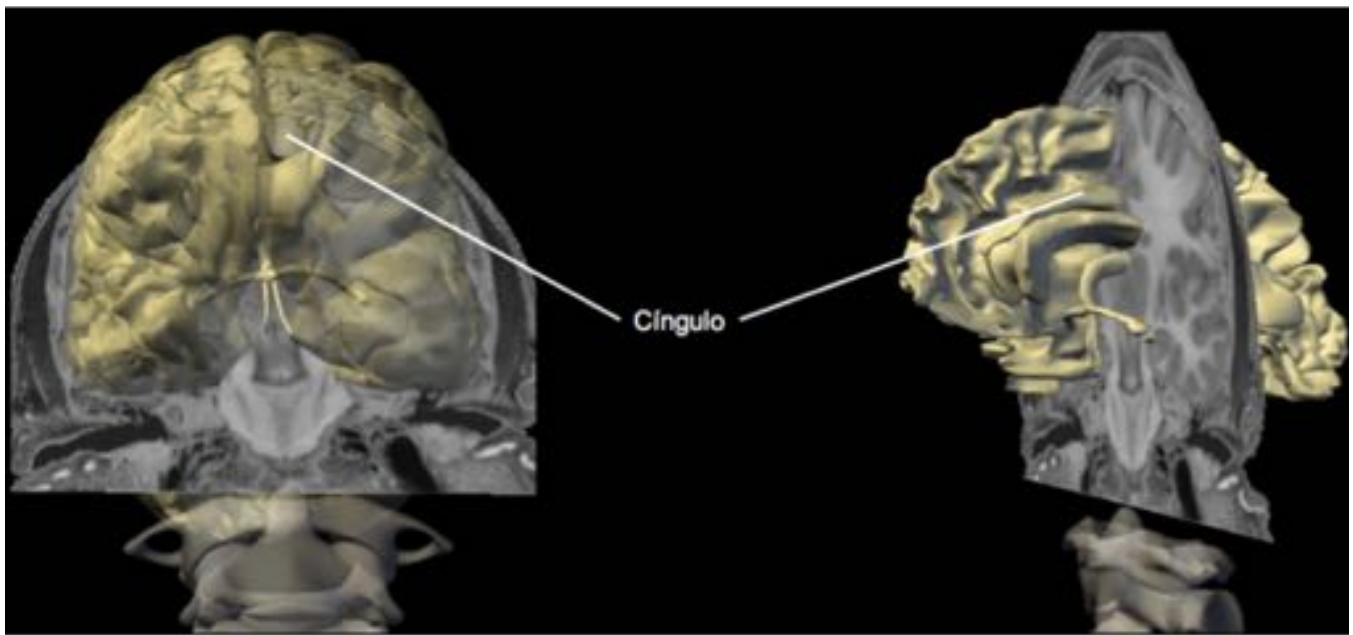
**Fig. 18:** RM potenciada en T1 3D SPGR y estudio de tractografía. Ambas columnas posteriores se unen por debajo del espleno del cuerpo calloso y por delante de los ventrículos laterales para formar el cuerpo del fórnix, el cual se sitúa por encima del tálamo.



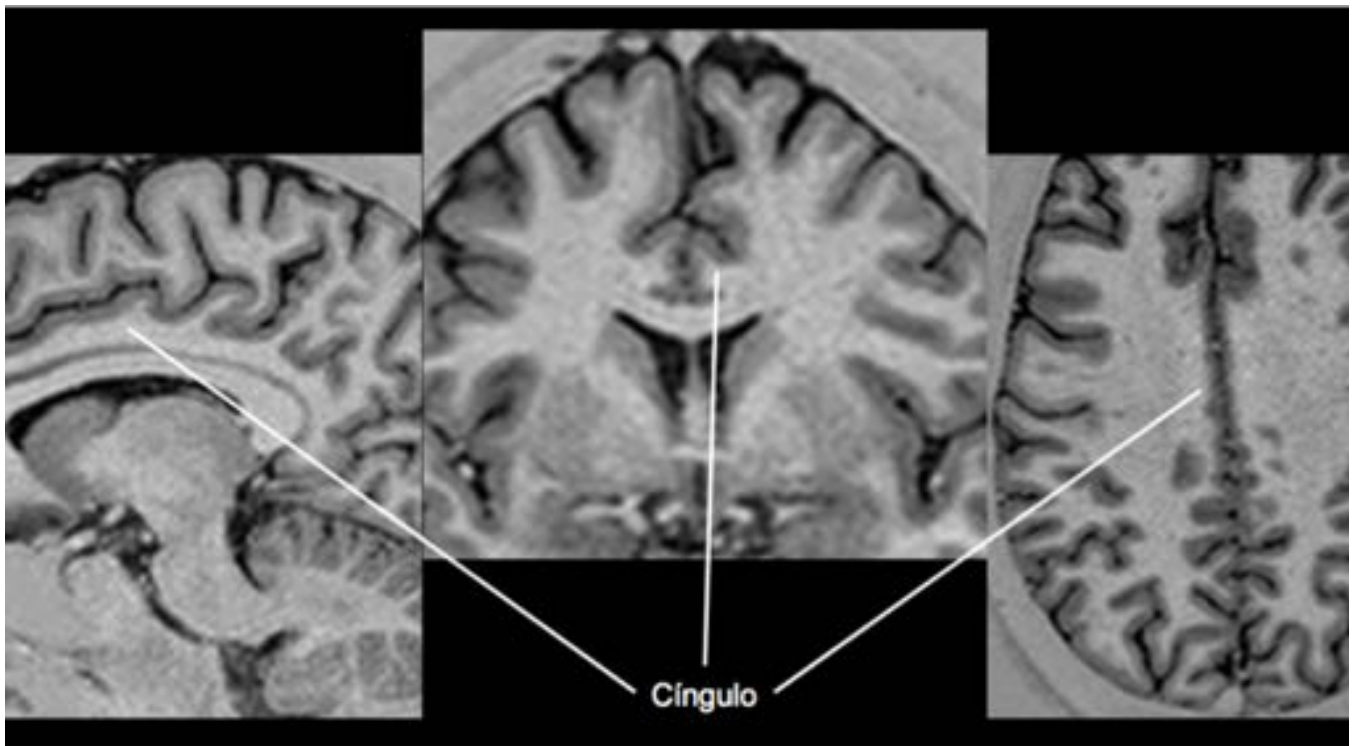
**Fig. 19:** RM potenciada en T1 3D SPGR y estudio de tractografía. El cuerpo del fórnix se localiza entre los ventrículos laterales y por encima del tercer ventrículo.



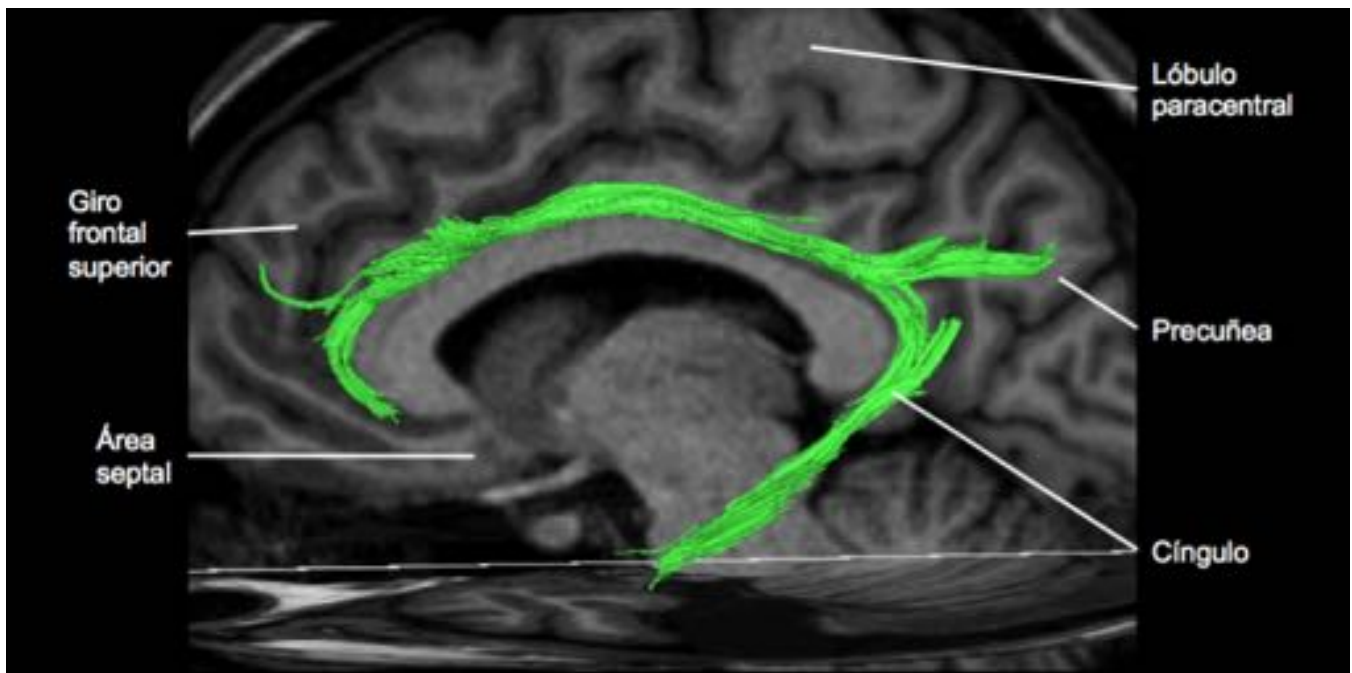
**Fig. 20:** RM potenciada en T1 3D SPGR y estudio de tractografía. Imagen ampliada de la región mas anterior del fórnix, donde el cuerpo se continúa con la columna anterior y esta a su vez se divide en fibras precomisurales y postcomisurales en relación a la comisura anterior. Las precomisurales alcanzarían el área septal y las postcomisurales los cuerpos mamilares.



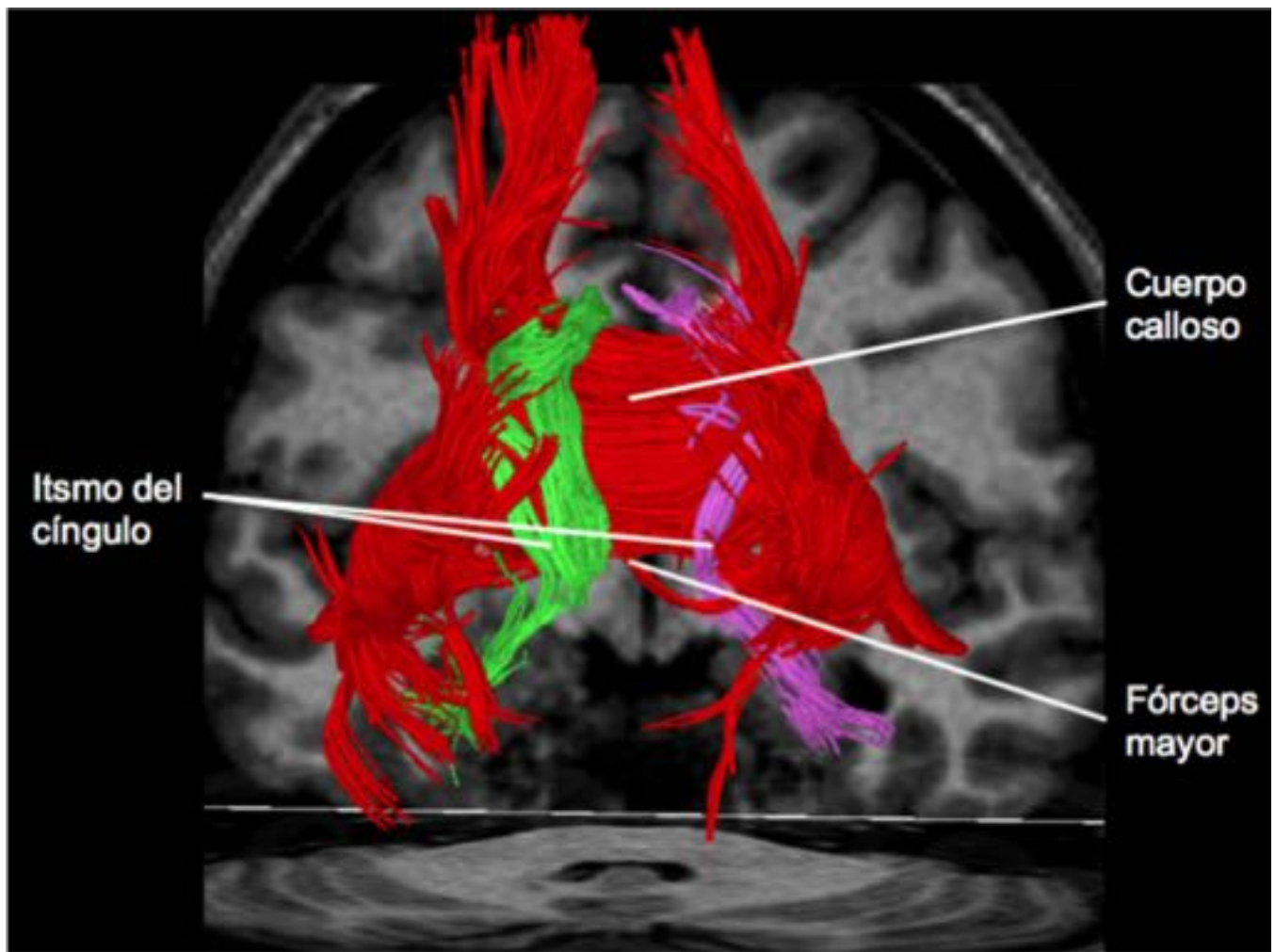
**Fig. 21:** Reconstrucción 3D ealizada con el editor 3D Amira 3.1; TGS (Template Graphics Software). Se identifica el cíngulo encima del cuerpo caloso.



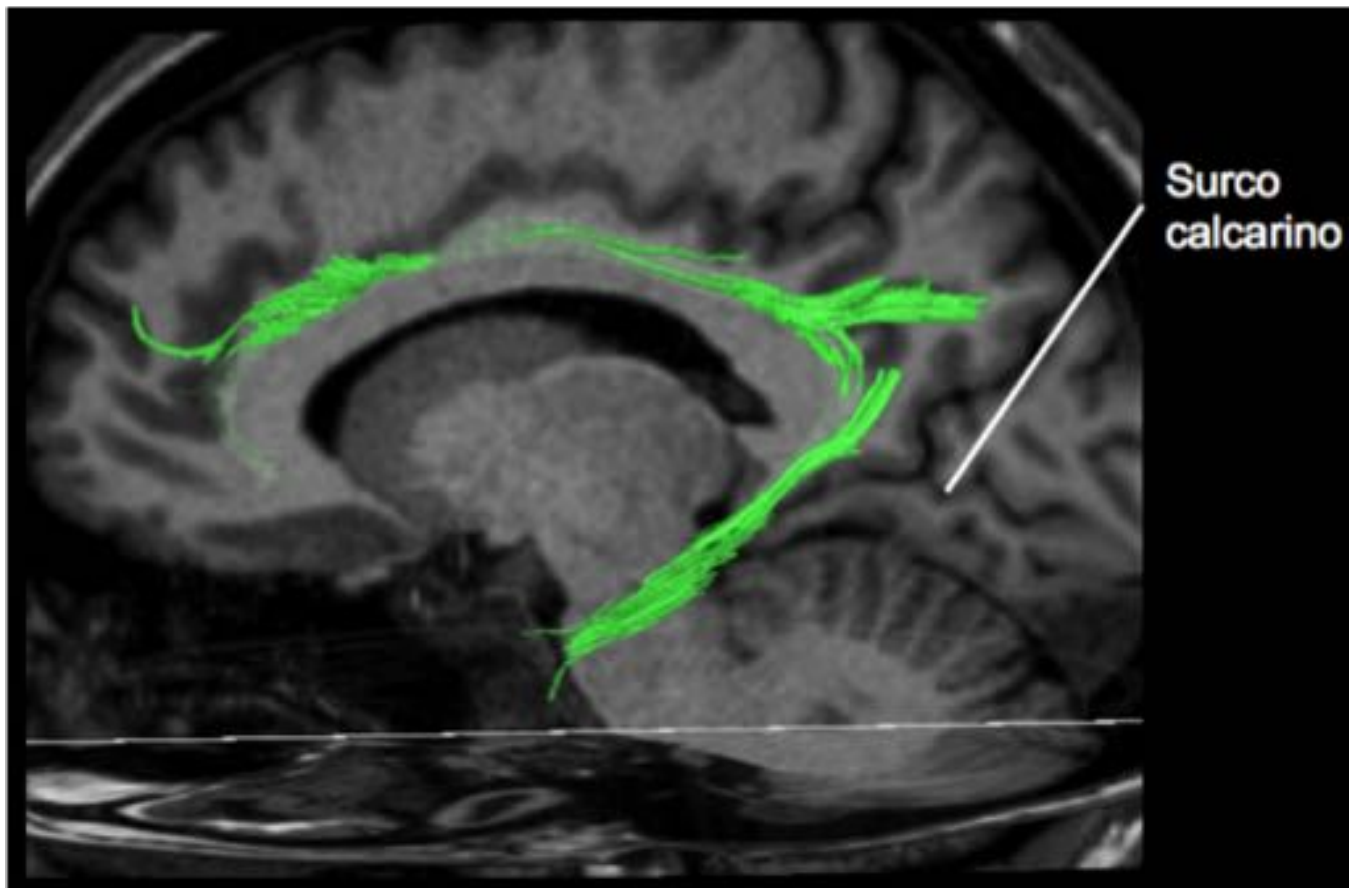
**Fig. 22:** Cortes de RM sagital, coronal y axial potenciada en T1-IR. Se identifica el cíngulo en los tres planos.



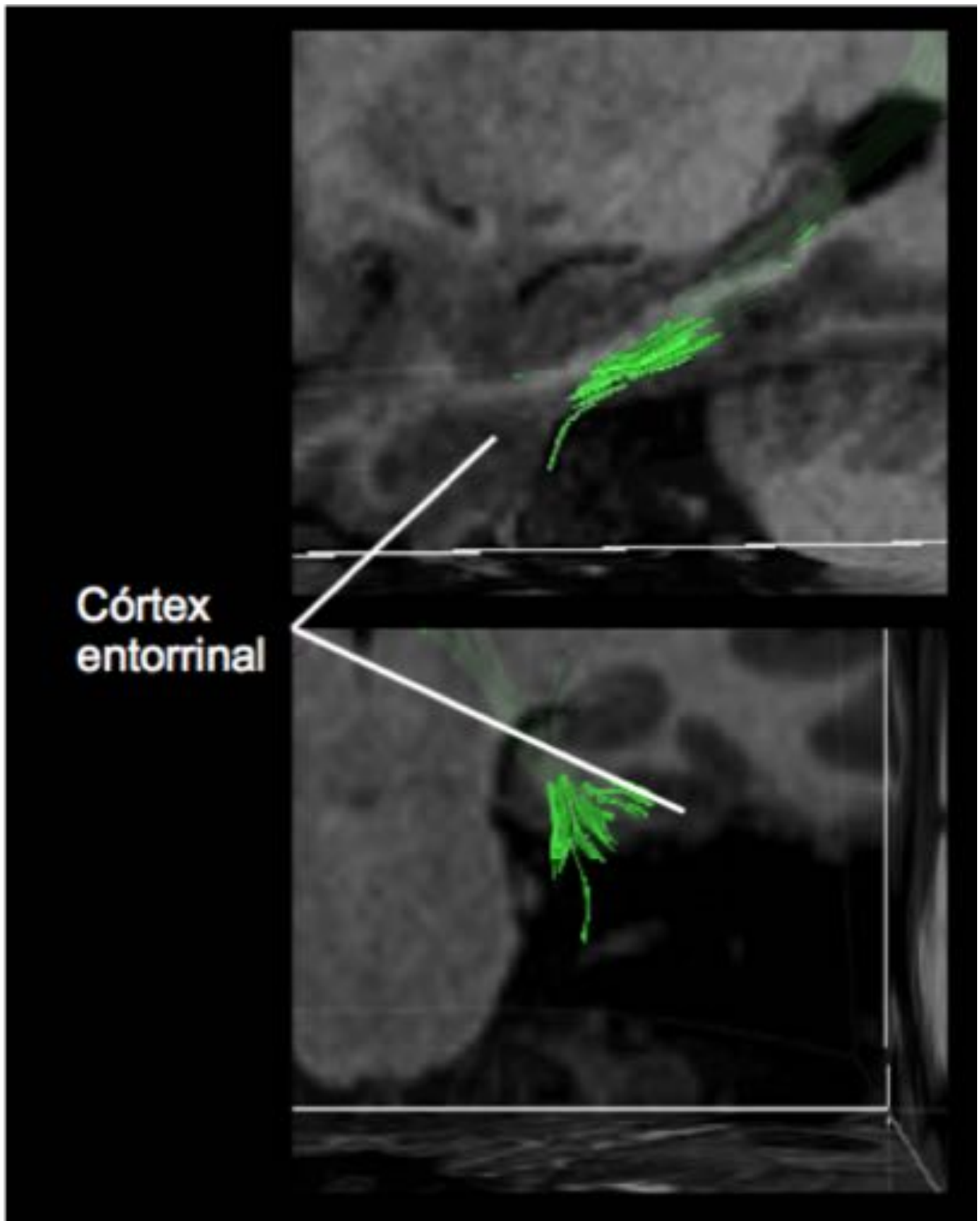
**Fig. 23:** RM potenciada en T1 3D SPGR y estudio de tractografía. El cíngulo se localiza por encima del cuerpo calloso y recibe fibras del giro frontal superior, del lóbulo paracentral y, como se evidencia en el estudio, principalmente de la precuña, que son las mayores cuantitativamente y por lo tanto las que condicionan un mayor engrosamiento del Cíngulo. En su región más anterior el cíngulo se curva por delante de la rodilla del cuerpo calloso alcanzando el área septal.



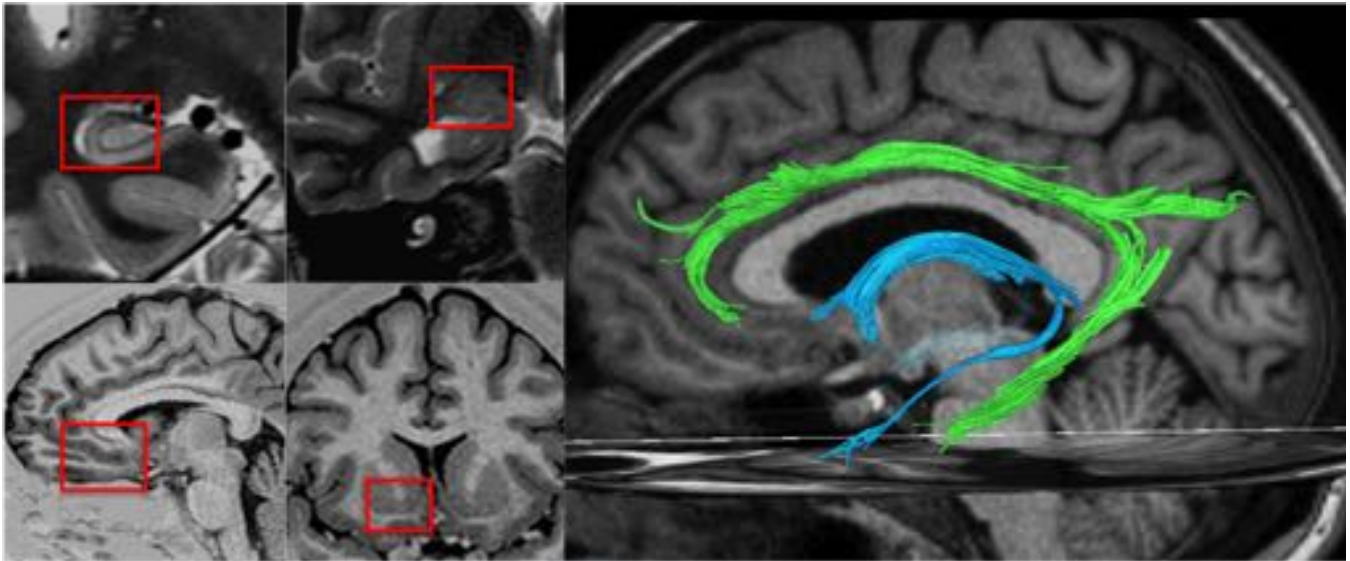
**Fig. 24:** RM potenciada en T1 3D SPGR y estudio de tractografía. Ambos cíngulos se localizan por encima del cuerpo callo y se estrechan al angularse por detrás del fórceps mayor del cuerpo calloso, donde se localiza el itsmo del cíngulo.



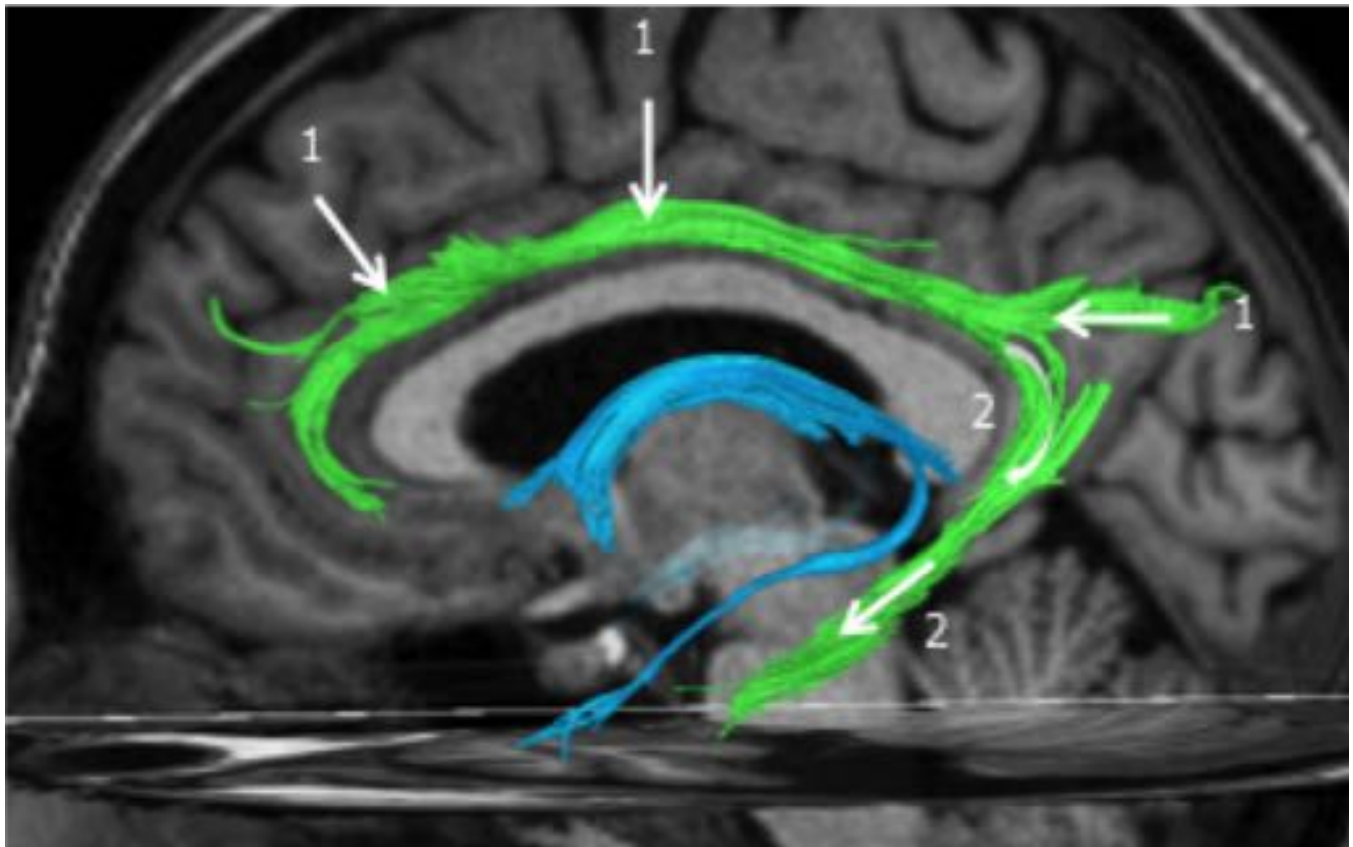
**Fig. 25:** RM potenciada en T1 3D SPGR y estudio de tractografía. Por debajo de este nivel el cíngulo discurre por delante de la región más rostral del surco calcarino.



**Fig. 26:** RM potenciada en T1 3D SPGR y estudio de tractografía. Finalmente se observa como el cíngulo alcanza la región del córtex entorrinal.

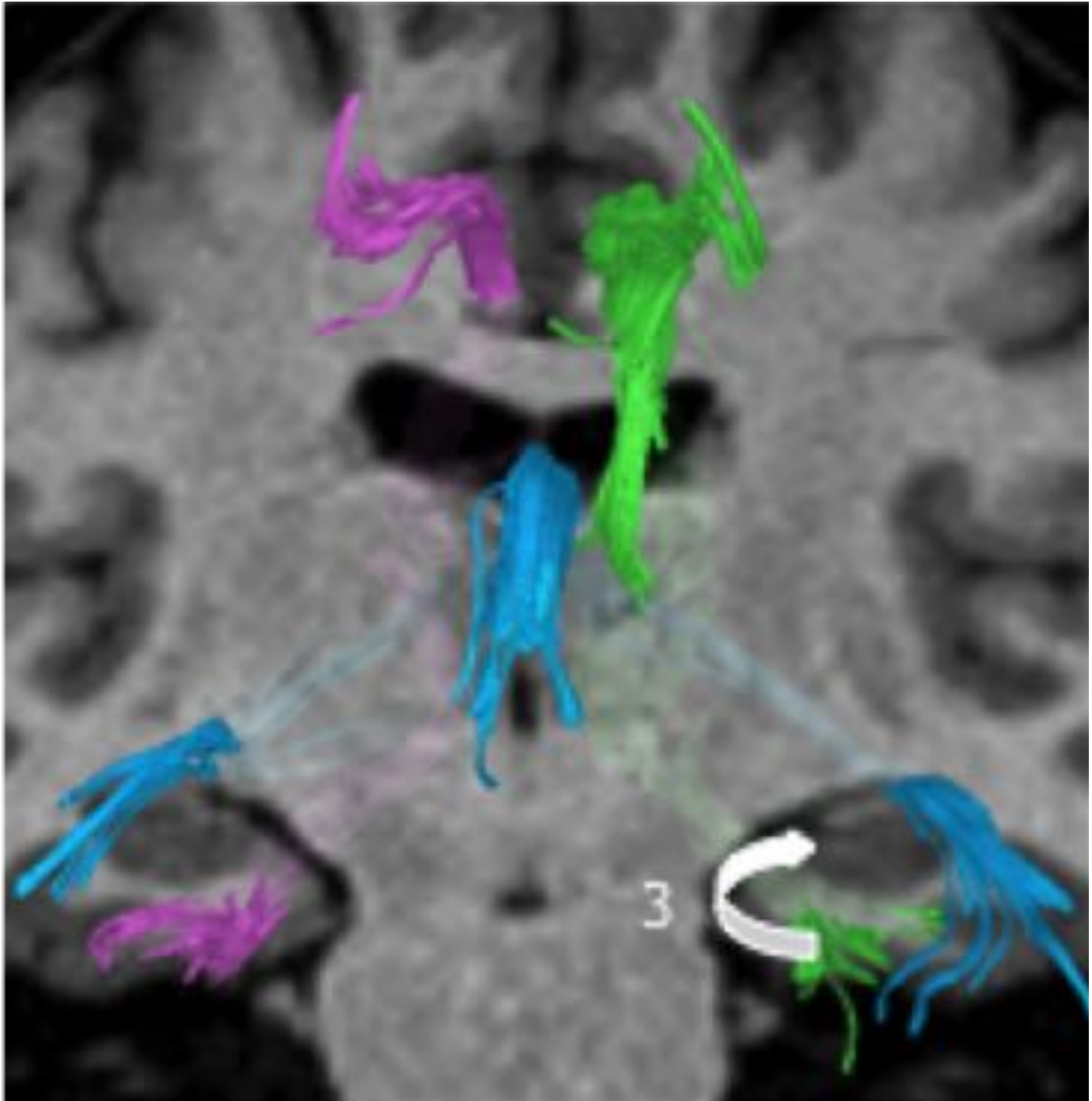


**Fig. 27:** Imágenes de Radiología Convencional y de RM potenciada en T1 con tractografía donde se muestran algunas de las principales estructuras del SL implicadas en el Circuito de Papez

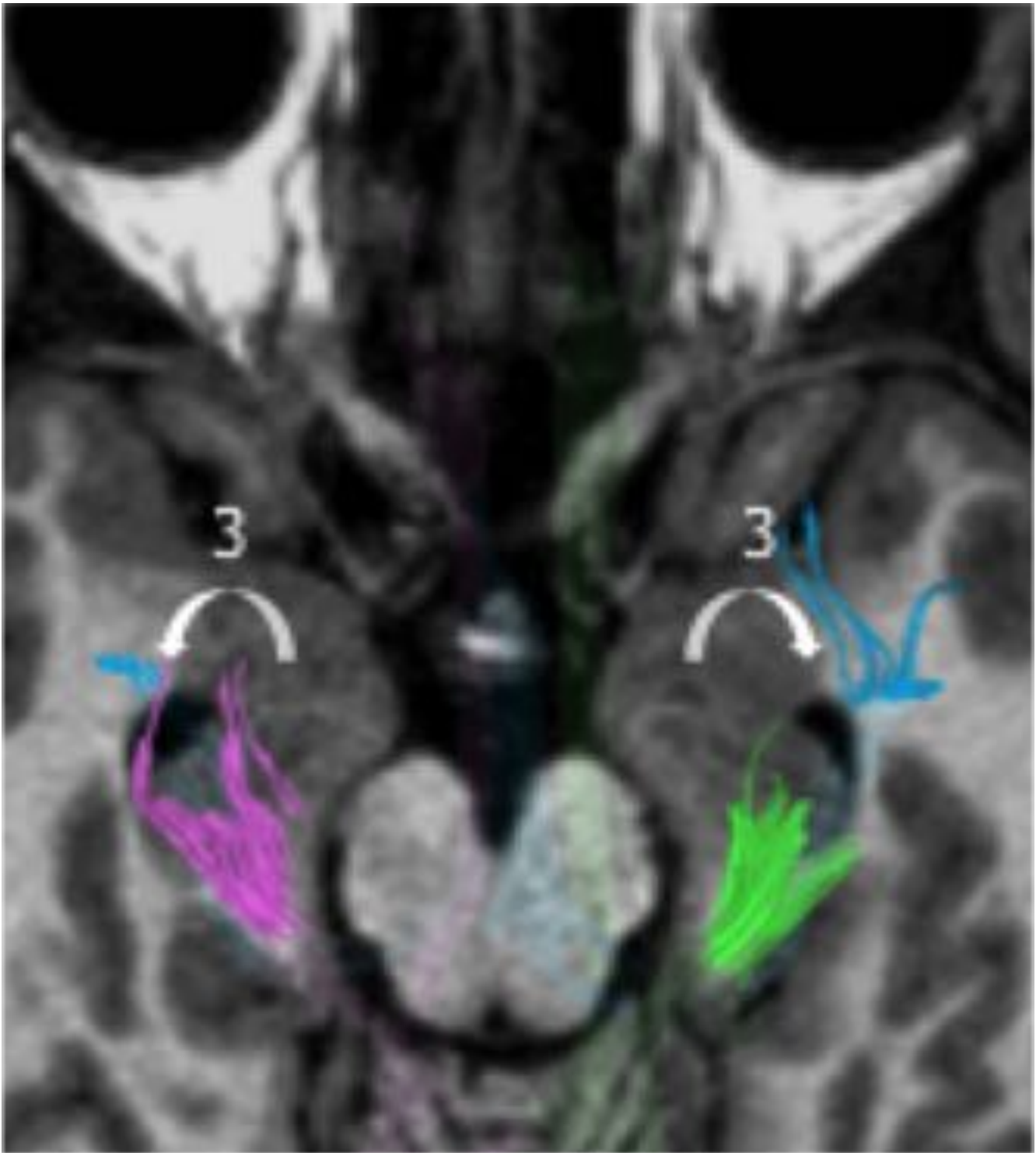


**Fig. 28:** RM potenciada en T1 3D SPGR y estudio de tractografía. Tras recibir fibras del giro frontal superior, del lóbulo paracentral y de la precuña (1) el cíngulo se incurva inmediatamente posterior al fórceps mayor del cuerpo callosos presentando un trayecto anteroinferior (2) para alcanzar la formación del hipocampo.

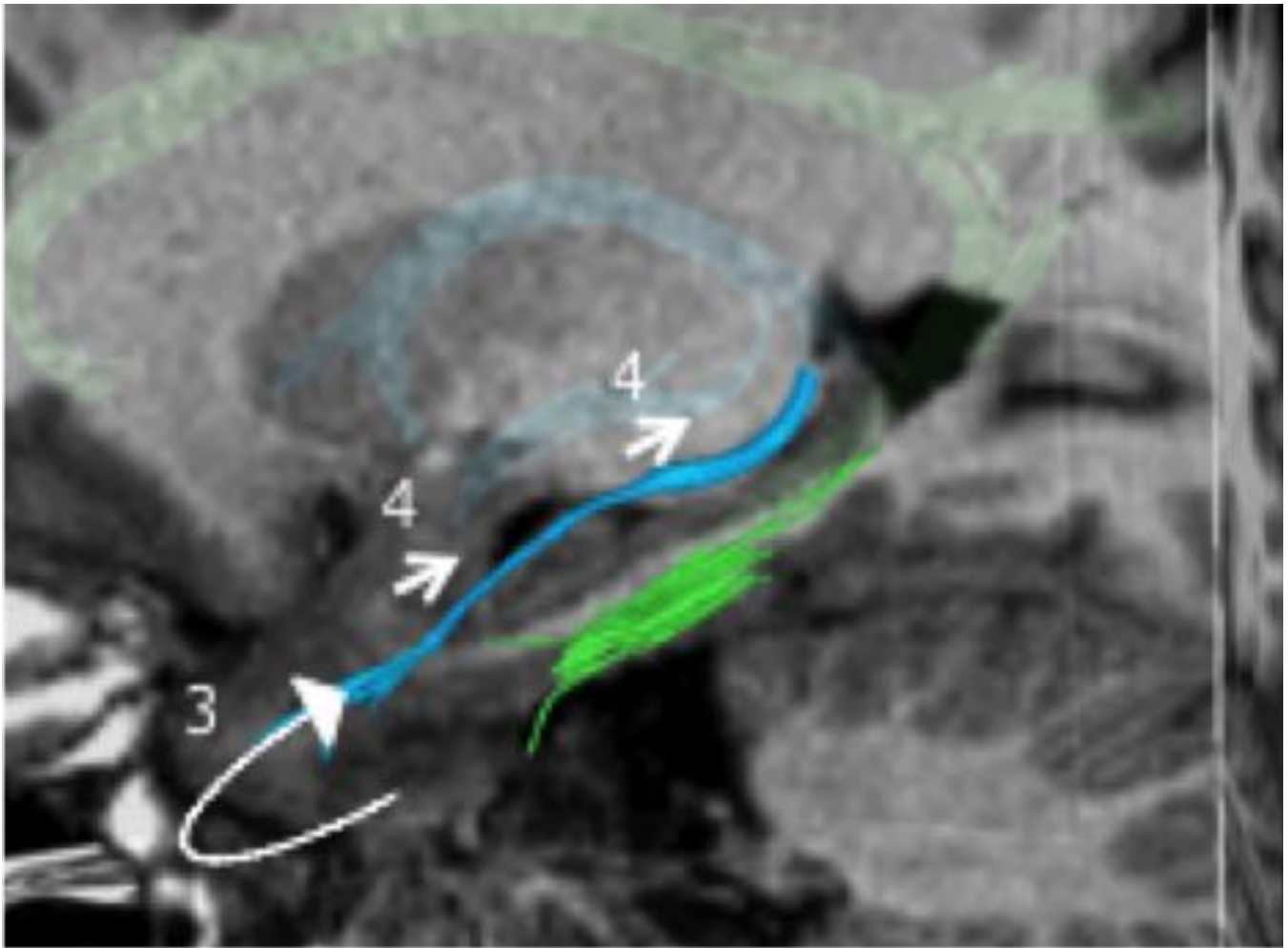




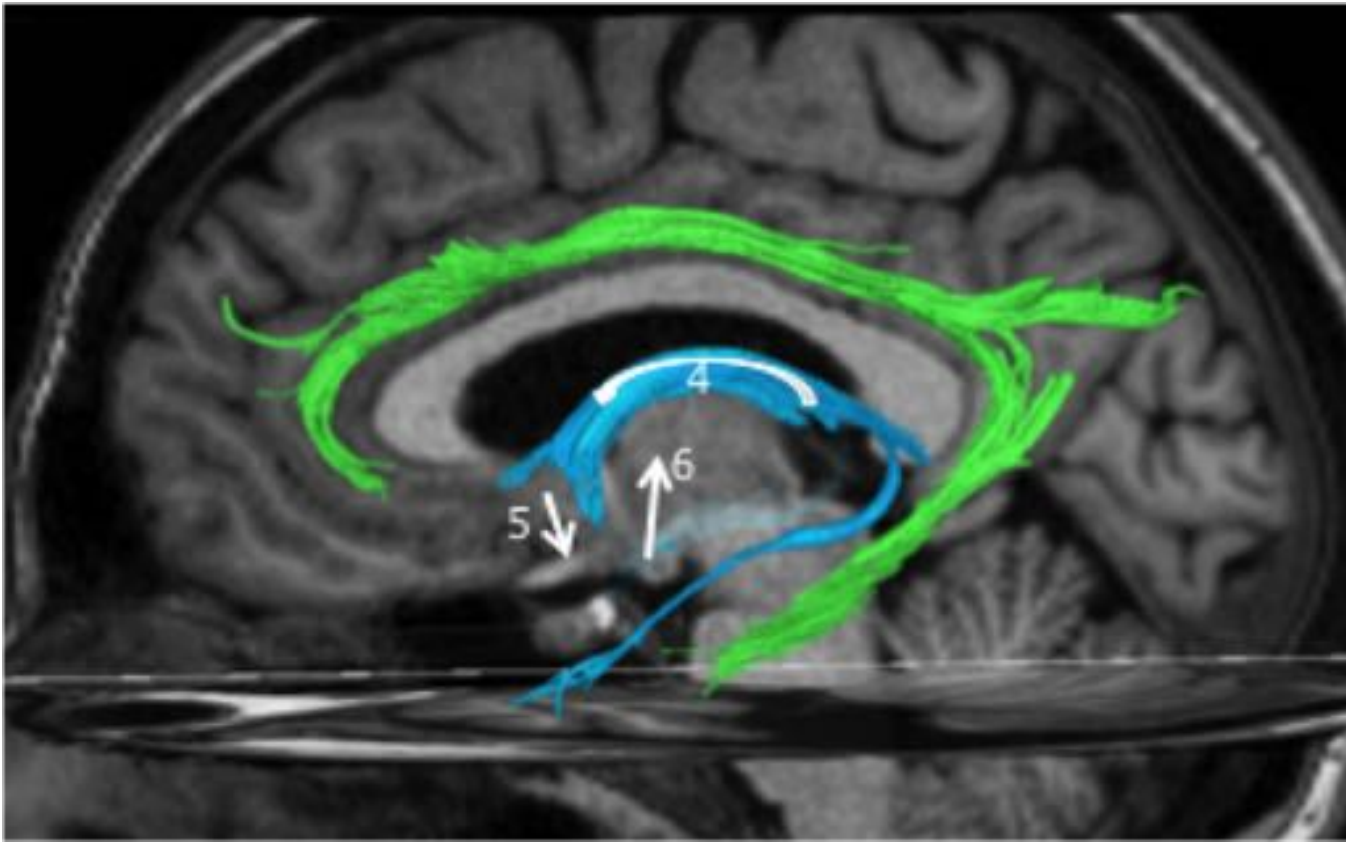
**Fig. 29:** RM potenciada en T1 3D SPGR y estudio de tractografía. Desde el córtex entorrinal, y a través del subículo, la información se proyecta al asta de Ammon o hipocampo propiamente dicho (3) y desde este al Álveus.



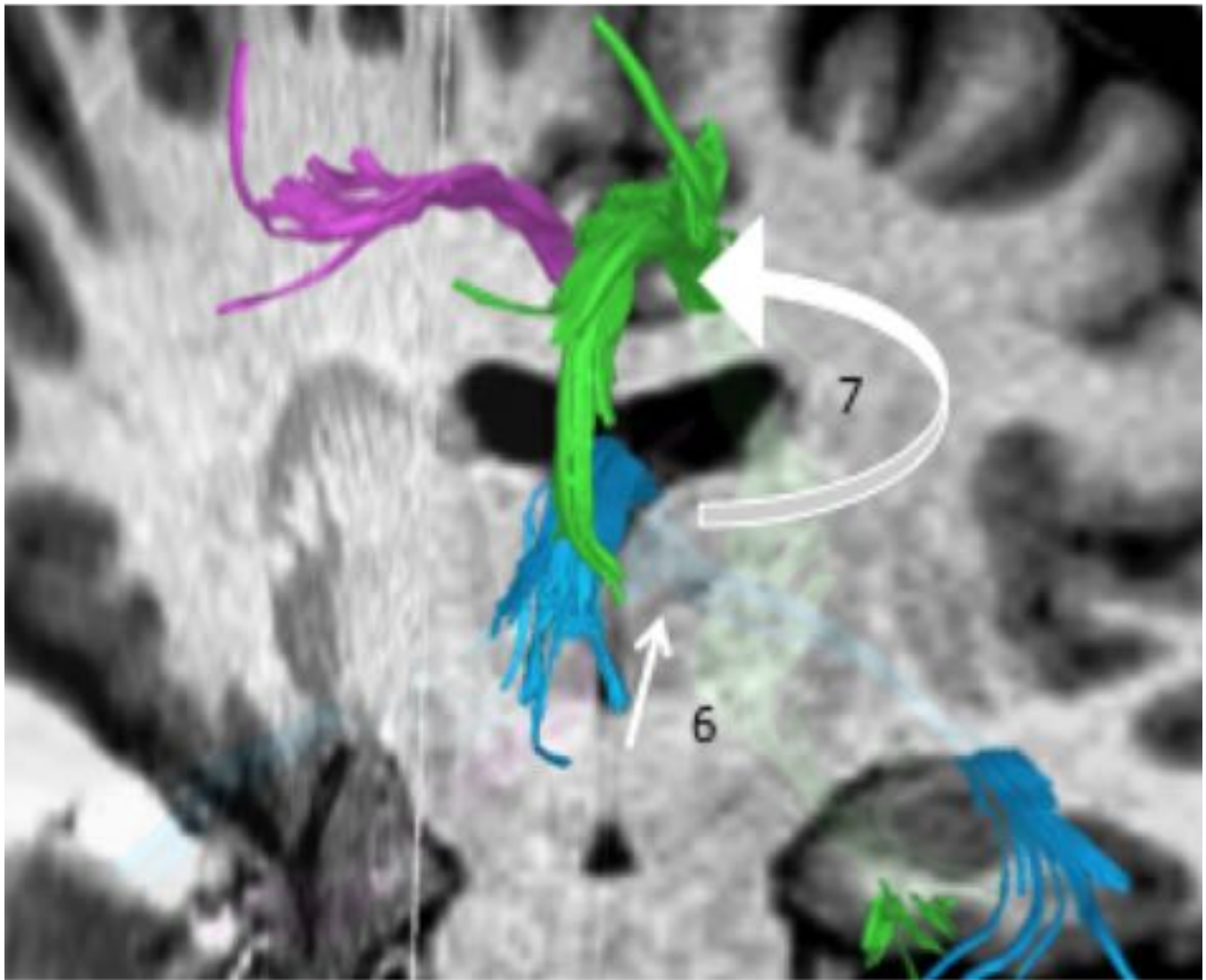
**Fig. 30:** RM potenciada en T1 3D SPGR y estudio de tractografía. Desde el córtex entorrinal, y a través del subículo, la información se proyecta al asta de Ammon o hipocampo propiamente dicho (3), y desde este al álveus.



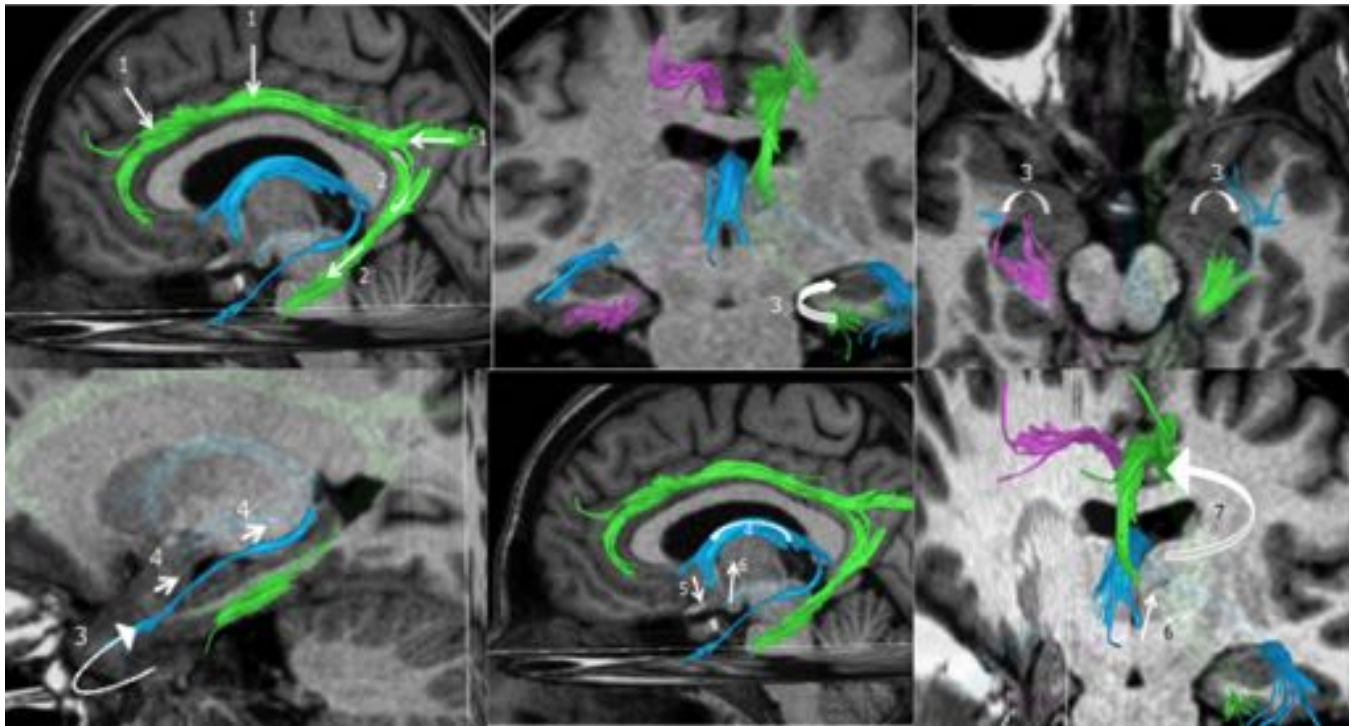
**Fig. 31:** RM potenciada en T1 3D SPGR y estudio de tractografía. Desde el hipocampo la información pasaría al álveus (3), de este a la fimbria y por último al fórnix (4).



**Fig. 32:** RM potenciada en T1 3D SPGR y estudio de tractografía. En su región más anterior la columna anterior del fórnix (4) se divide en fibras pre y postcomisurales (5), alcanzando estas los núcleos mamilares, los cuales proyectan sus fibras a través del tracto mamilotalámico (6) al núcleo anterior del tálamo.



**Fig. 33:** RM potenciada en T1 3D SPGR y estudio de tractografía Por último desde el tálamo, a través de las radiaciones talámicas anteriores (7), la información alcanzaría el giro cingular, completándose así el circuito de Papez.



**Fig. 34:** RM potenciada en T1 3D SPGR y estudio de tractografía. Se muestra el circuito de Papez completo.

## Conclusiones

- 1.- La correlación anatomo-radiológica llevada a cabo con las secciones anatómicas seriadas del VHP permitió valorar la morfología de estas estructuras en toda su integridad, lo que resulta de interés de cara al análisis de las relaciones anatómicas de estas áreas encefálicas con diferentes procesos patológicos.
- 2.- La técnica de tractografía cerebral basada en el tensor de difusión de resonancia magnética, proporciona la visualización de la anatomía y la integridad de los tractos de las fibras de la sustancia blanca, aportando hallazgos adicionales no visibles por técnicas de RM convencionales.
- 3.- Esta técnica de diagnóstico por la imagen permitió la visualización in vivo de las conexiones de sustancia blanca entre los distintos componentes del Sistema Límbico, siendo su conocimiento fundamental para comprender los diferentes cuadros clínicos a los que nos enfrentamos y poder realizar así una adecuada planificación prequirúrgica ante una posible resección por un tumor cerebral.
- 4.- A pesar del importante progreso conseguido en los últimos años en la comprensión de la anatomía de la sustancia blanca, sigue sin conocerse con precisión la trayectoria y terminaciones corticales de la mayoría de los tractos de sustancia blanca. La disección de fibras con preservación cortical es una herramienta para la investigación en neurociencia, ya que permite separar completamente cada uno de los fascículos, y también seguir sus fibras

terminales hasta su terminación en la corteza cerebral. El conocimiento preciso de la trayectoria y las terminaciones corticales de un fascículo es el primer paso para entender la función de esas conexiones en el cerebro. Posiblemente, en un futuro no muy lejano, estas técnicas de tractografía por RM permitan un conocimiento más exhaustivo de estas interconexiones cerebrales y comprender mejor las funciones en las que están implicadas.

## Bibliografía / Referencias

- Wakana S, Jiang H, Nagae-Poetscher LM, van Zijl PC, Mori S. (2004) Fiber tract-based atlas of human white matter anatomy. *Jan*;230(1):77-87.
- Concha L, Gross DW, Beaulieu C. (2005) Diffusion tensor tractography of the limbic system. *AJNR Am J Neuroradiol*. Oct;26(9):2267-74.
- Huang H, Zhang J, Jiang H, Wakana S, Poetscher L, Miller MI, van Zijl PC, Hillis AE, Wytik R, Mori S. (2005) DTI tractography based parcellation of white matter: application to the midsagittal morphology of corpus callosum. *NeuroImage* 26:195-205.
- Fernández-Miranda JC1, Rhoton AL Jr, Alvarez-Linera J, Kakizawa Y, Choi C, de Oliveira EP. (2008) Three-dimensional microsurgical and tractographic anatomy of the white matter of the human brain. *Neurosurgery*. Jun;62(6 Suppl 3):989-1026.
- Colnat-Coulbois S1, Mok K, Klein D, Pénicaud S, Tanriverdi T, Olivier A. (2010) Tractography of the amygdala and hippocampus: anatomical study and application to selective amygdalohippocampectomy: Laboratory investigation Dec;113(6):1135-43.
- Luna A, Villanova JC. (2012) Aplicaciones del tensor de difusión en SNC y columna. Bases, Conceptos Técnicos y Aplicaciones Clínicas de la RM de Difusión.
- Shah A1, Jhavar SS, Goel A. (2012) Analysis of the anatomy of the Papez circuit and adjoining limbic system by fiber dissection techniques. Feb;19(2):289-98.
- Li YD, He HJ, Dong HB, Feng XY, Xie GM, Zhang LJ. (2013) Discriminative analysis of early-stage Alzheimer's disease and normal aging with automatic segmentation technique in subcortical gray matter structures: a multicenter in vivo MRI volumetric and DTI study. *Acta Radiologica* 54(10):1191-200.
- Recio M, Hernández D, Hernández LC, Martínez de Vega V, Carrascoso J. (2013) Imagen de tractografía 3T: Anatomía y aplicaciones clínicas. *Radiología* 55(1): 57-68.
- Duane E Haines y col. (2014) Principios de neurociencia. Aplicaciones básicas y clínicas. 4º ed. Elsevier.

## Imágenes en esta sección:



**Fig. 35:** Muchas Gracias