



UNIVERSIDAD  
**COMPLUTENSE**  
MADRID

Proyecto de Innovación

Convocatoria 2022/2023

Nº de proyecto: 80

El encéfalo de los animales en 3d (segunda parte)

Responsable del Proyecto: Juncal González Soriano

Facultad de Veterinaria

Departamento: Anatomía y Embriología

## 1. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto

Los objetivos propuestos en este proyecto respondieron a la necesidad de facilitar el conocimiento tridimensional del encéfalo de los animales con interés, tanto para veterinarios como para biólogos, relacionando su anatomía con el uso de una técnica cada vez más extendida, la resonancia magnética. Se trató de producir una herramienta útil y accesible para todas aquellas titulaciones que imparten docencia relacionada con la Neuroanatomía animal, como sucede en los Grados de Veterinaria y Ciencias Biológicas, en el Diploma de Especialización en Animales Exóticos y en el Máster de Neurociencia. El material a realizar tenía una importancia mayor en el contexto actual, en el que se quiere dotar a los estudiantes de instrumentos no presenciales que les ayuden en su proceso de aprendizaje.

El valor principal del proyecto es el de proponer el desarrollo de un recurso educativo en abierto, con posibilidades de internacionalización, útil tanto para estudiantes como para profesionales, con el objetivo de propiciar la transferencia universidad-empresa. Se quiere beneficiar a ambos colectivos, al tener a disposición unos datos útiles, hasta ahora inexistentes.

Se ha querido resolver así un problema endémico en nuestros planes de estudio, en los que casi siempre hay falta de relación entre las materias básicas y aquellas que son más aplicadas. En el caso que nos ocupa, tanto en Veterinaria como en Biología se adquieren competencias en el conocimiento de la anatomía del sistema nervioso. Pero hay que pensar en la necesidad de comprender lo que se ve, en saber interpretar y relacionar imágenes con casos clínicos. Por eso, son necesarias herramientas que faciliten el entendimiento de lo que se estudia, como es la impresión 3D, o de técnicas que en muchos casos tienen una enorme utilidad en la vida profesional, como es el caso de la resonancia magnética.

Cabe señalar que el cumplimiento de estos objetivos está asegurado por los miembros de este grupo de trabajo. Vamos a referirnos a algunos de ellos, más allá de los docentes de las Facultades de Veterinaria y Ciencias Biológicas. Por ejemplo, dos de las integrantes del equipo de trabajo, Isabel García Real y Encarnación Fernández Valle, son las responsables del Servicio de Diagnóstico por Imagen del Hospital Clínico Veterinario Complutense y de la Unidad de RMN del CAI Bioimagen Complutense, respectivamente. Raquel Salguero es Diplomada por el Colegio Europeo de Especialistas en Animales Exóticos, y tanto Andrés Montesinos como María Ardiaca son Diplomados por el Colegio Europeo de Especialistas en Animales Exóticos. Por último, José Luis Corral Pumarega es personal técnico del CAI de Talleres de Apoyo a la Investigación de la UCM. La participación de José Fernández Manrique, de la Universidad de Los Llanos (Colombia), asegura su internacionalización y la multiplicación de su impacto.

Con estas premisas, nuestros objetivos se dividieron en:

### 1. **Objetivos Generales.** -

Realizar un atlas multidimensional del cerebro de la tortuga y del gato, combinando imágenes de secciones cerebrales sin teñir, con otras tratadas con tinciones que marcan diversas estructuras cerebrales y otras más de resonancia magnética.

Crear una herramienta educativa digital (una herramienta Flash interactiva) que podrá ser empleada por estudiantes y profesionales de la veterinaria y de la biología. Esta herramienta establecerá una correlación anatómica entre los tres tipos de imágenes que acabamos de enumerar.

### 2. **Objetivos Específicos.** – Se dividen en los siguientes puntos:

a. Establecer las regiones del encéfalo en cada especie (tortuga y gato), así como sus componentes y estructuras principales.

b. Tomar imágenes de los encéfalos seleccionados. En primer lugar, realizar imágenes de resonancia magnética incluyendo imágenes de toda la superficie cerebral, en sus caras laterales, dorsales y ventrales. A continuación, se propuso llevar a cabo secciones coronales de los encéfalos, tomando imágenes de la superficie de estas secciones, primero sin teñir y

a continuación de los mismos cortes una vez tratados con tinciones específicas.

c. Analizar e identificar las estructuras anatómicas de interés en las imágenes de las secciones cerebrales con y sin tinción y de resonancia magnética, realizando de esta manera una correlación entre los tres tipos de imágenes, y delimitando las regiones cerebrales en las superficies laterales, dorsales y ventrales.

d. Realizar impresiones 3D de las secciones con tinciones que marcan diversas estructuras cerebrales.

3. Orientar los resultados obtenidos a la resolución de problemas neurológicos que se caracterizan por la alteración de estas imágenes fisiológicas.
4. Creación de una herramienta educativa digital (herramienta Flash interactiva) para facilitar y facilitar la comprensión del estudio del encéfalo de los animales en tres dimensiones, para su uso online en el campus virtual UCM o en cualquier otro espacio web, fuera de la Universidad Complutense. El fin perseguido fue facilitar la adquisición, tanto de competencias generales, como de competencias específicas en relación con el conocimiento de la neuroanatomía de la tortuga y del gato. Esta herramienta tiene interés para estudiantes y profesionales veterinarios y biólogos. También se facilitarán los archivos necesarios para poder realizar las impresiones 3D.

## 2. Objetivos alcanzados

Todos los objetivos enumerados anteriormente han sido alcanzados de forma satisfactoria. Siguiendo la misma estructura anterior, los objetivos conseguidos

### 1. Objetivos Generales. –

Se han llevado a cabo dos tipos de atlas para cada especie: bidimensional y tridimensional, con imágenes en blanco, teñidas y de resonancia, aunque el atlas bidimensional (en 2D) no estaba incluido en la propuesta del proyecto. En cada caso se han identificado las estructuras nerviosas principales, para conseguir el fin último que era la elaboración de la herramienta interactiva realizada mediante este proyecto de innovación educativa.

### 2. Objetivos Específicos. – Se dividen en los siguientes puntos:

a. En cada una de las regiones cerebrales de las especies propuestas se han delimitado las partes principales, las estructuras que se sitúan o se clasifican dentro de ellas y sus principales conexiones. Esta información se ha añadido a la herramienta digital creada, que se pretende alojar en la web de la Sección Departamental de Anatomía y Embriología Veterinaria. Todos estos datos se van a utilizar, como se ha mencionado anteriormente, en todas aquellas titulaciones que imparten docencia relacionada con la Neuroanatomía animal, como sucede en los Grados de Veterinaria y Ciencias Biológicas, en el Diploma de Especialización en Animales Exóticos y en el Máster de Neurociencia, entre otras. No hay que olvidar la participación en el proyecto de un profesor de Colombia (Unillanos), que a su vez facilitará su utilización por los estudiantes interesados.

b. Se han tomado imágenes de los encéfalos seleccionados en el orden propuesto en los objetivos iniciales, es decir, de resonancia y de los encéfalos seccionados.

c. Se han analizado e identificado las estructuras anatómicas de interés, tanto en las secciones cerebrales como en las de resonancia magnética. Todo ello ha propiciado que en la actualidad estemos en la fase de impresión de las imágenes 3D para utilizarlas en la docencia, como primer objetivo.

e. Se ha creado una herramienta educativa digital interactiva de estudio del encéfalo de los animales en tres dimensiones, para su uso online en el campus virtual UCM o en cualquier otro espacio web, fuera de la Universidad Complutense.

d. Se ha logrado un objetivo que no estaba previsto, y en nuestra opinión, muy importante. Se ha publicado un trabajo en una revista de primer cuartil (Q1): *Animals* 2023, 13, 1601. <https://doi.org/10.3390/ani13101601> (“The Application of 3D Anatomy for Teaching Veterinary Clinical Neurology” by Lidia Blázquez-Llorc, Lubna Morales de Paz, Rosario Martín-Orti, Inmaculada Santos-Álvarez, María E. Fernández-Valle, David Castejón, María I. García-Real, Raquel Salgüero-Fernández, Pilar Pérez-Lloret, Nerea Moreno, Sara Jiménez, María J. Herrero-Fernández and Juncal González-Soriano).

### 3. Metodología empleada en el proyecto

La metodología del proyecto ha estado orientada a conseguir los objetivos generales y específicos enunciados en el apartado correspondiente. Las fases y actividades del proyecto se resumen a continuación:

-A.a Obtención y preparación de los encéfalos necesarios para el desarrollo del proyecto. Se utilizaron cadáveres de tortugas (la mayoría *Trachemys scripta*, especie considerada como invasora) procedentes del Centro de Recuperación de Animales Silvestres (CRAS). Por lo que respecta al gato, se utilizaron cerebros de la Sección Departamental de Anatomía y Embriología (Veterinaria) de la Facultad de Veterinaria de la UCM. Los animales incluidos en el estudio no presentaron evidencia de enfermedad en el momento del fallecimiento o eutanasia (realizada siempre por motivos ajenos a la realización de este proyecto).

-A.b Obtención de las resonancias magnéticas en los planos transversal, sagital y dorsal, empleando principalmente secuencia eco de espín y eco de gradiente (secuencias SE potenciadas en T1, SE potenciadas en T2 y secuencias FLAIR). Se tomaron imágenes de las superficies laterales, dorsales y ventrales de los encéfalos.

-A.c Sección de los encéfalos, toma de imágenes de las superficies de estas secciones y utilización de tinciones específicas, fotografía de las imágenes teñidas, e identificación del mayor número posible de estructuras en el cerebro de ambas especies, con sus relaciones y significado evolutivo.

-A.d Escaneo de las secciones teñidas para obtener las correspondientes impresiones 3D.

-A.e Combinación de las secciones escaneadas (sin teñir y teñidas) y de aquellas obtenidas mediante resonancia magnética, para que sean lo más parecidas posibles.

-A.f Elaboración de un atlas 3D, combinando cortes biológicos y resonancias.

-A.g Alojamiento del material obtenido en los campos virtuales UCM de las asignaturas correspondientes, tanto en el Grado de Veterinaria como en el de Biología. Los resultados del proyecto quedarán a disposición de cualquier estudiante UCM interesado en el tema.

-A.h Alojamiento de estos resultados en cualquier otro espacio web, para que esta herramienta digital esté disponible para profesores/profesionales externos a nuestra Universidad

-A.i Facilitar la internacionalización, sobre todo para aquellas instituciones que utilizan el español como lengua vehicular, de este recurso.

Estas actividades se han llevado a cabo en las siguientes instalaciones:

- Sección Departamental de Anatomía y Embriología de la Facultad de Veterinaria y Departamento de Biología Celular de la Facultad de Ciencias Biológicas.

- Servicio de Diagnóstico por Imagen del Hospital Clínico Veterinario Complutense (CAI de Bioimagen Complutense).

- Unidad de Resonancia Magnética del CAI de Bioimagen Complutense.

- CAI de Talleres de Apoyo a la Investigación de la Universidad Complutense de Madrid´.

#### **4. Recursos humanos**

Los recursos humanos utilizados para conseguir los resultados del proyecto responden a la propuesta inicial. Todos los miembros han participado de forma activa, aportando su especialidad en cada caso. Estos participantes son:

Juncal Milagros González Soriano

María Ardiaca García

Lidia Blázquez Llorca

David Castejón Ferrer

José Luis Corral Pumarega

Encarnación Fernández Valle

María Isabel García Real

Sara Jiménez Álvarez

Rosario Martín Orti

Andrés Montesinos Barceló

Nerea Moreno García

Pilar Pérez Lloret

M<sup>a</sup>. José Ruiz Fernández

José Fernández Manrique

David Moreno Molera

Raquel Salguero Fernández

Inmaculada Santos Álvarez

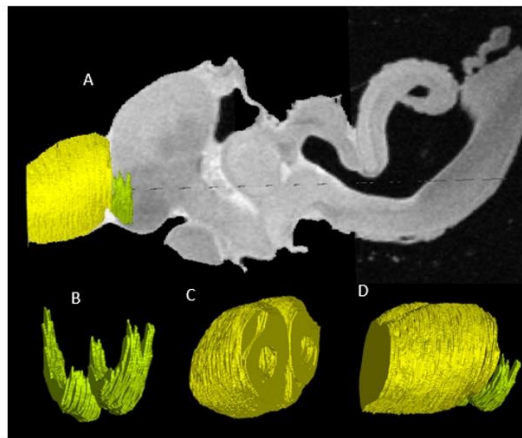
Silvia Villaverde Morcillo

Cabe destacar la interdisciplinaridad, ya que son profesores, PAS y estudiantes de distintos Centros de la UCM, o profesionales externos, como es el caso de María Ardiaca García, Raquel Salguero o Silvia Villaverde. A destacar también la participación de José Fernández Manrique, clave para la internacionalización del proyecto. Se trata de un grupo transversal, y muy equilibrado, que ha permitido asegurar el cumplimiento de los objetivos del proyecto, asegurando su viabilidad al 100%. Por lo que se refiere a la parte más “académica”, en el equipo de trabajo hay profesores de anatomía del Grado en Veterinaria, junto a una profesora y una estudiante de doctorado, ambas pertenecientes a la Facultad de Ciencias Biológicas, y especialistas en el sistema nervioso, sobre todo de anfibios y reptiles. En cuanto a la parte de resonancia magnética, se encuentran Isabel García Real (Servicio de Diagnóstico por Imagen del Hospital Clínico Veterinario de la UCM), Encarnación Fernández Valle (responsable del Servicio de Resonancia Magnética ICIS Bioimagen UCM), Raquel Salguero Fernández (Diplomada del Colegio Europeo de Especialistas en Diagnóstico por Imagen) y José Luis Corral Pumarega (personal técnico del CAI de Talleres de Apoyo a la Investigación de la UCM). El grupo se completa con veterinarios clínicos, diplomados en el Colegio Europeo de Especialistas en Animales Exóticos. La internacionalización se pretende consolidar con la participación del profesor José Fernández Manrique (Universidad de Los Llanos-Colombia), que ya participó en el desarrollo del proyecto 88/2021-2022, con excelentes resultados.

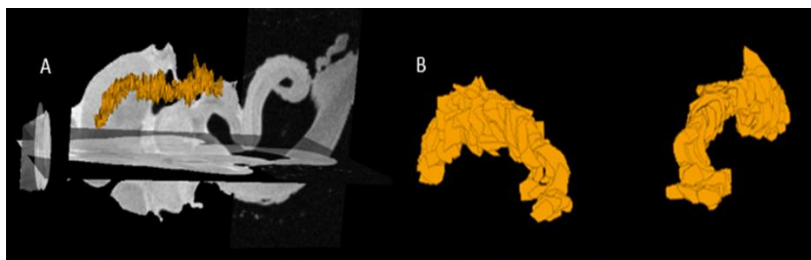
## 5. Desarrollo de las actividades

El desarrollo de las actividades comenzó en septiembre de 2022, tal y como estaba previsto, y ha finalizado recientemente, en junio de 2023. Pronto nos dimos cuenta que podíamos aprovechar la oportunidad para involucrar a estudiantes de Grado (concretamente del Grado en Veterinaria), para el desarrollo de TFGs. En este sentido se acaban de presentar dos trabajos en la convocatoria de junio de 2023: “Atlas multidimensional del cerebro de la tortuga” (Laura Mardomingo Peco), dirigido por Lidia Blázquez Llorca y Juncal González Soriano y “Estudio en 3D del encéfalo del gato” (Beatriz Galán Gutierrez), dirigido por Inmaculada Santos Álvarez y Rosario Martín Orti. Estos trabajos son el mejor reflejo del desarrollo de las actividades, ya que recogen las diferentes fases propuestas para la consecución de los objetivos del proyecto Innova 80/2022-2023. Igualmente, dicho desarrollo ha permitido publicar un trabajo en una revista de primer cuartil (Q1): *Animals* 2023, 13, 1601. <https://doi.org/10.3390/ani13101601> (“The Application of 3D Anatomy for Teaching Veterinary Clinical Neurology” by Lidia Blázquez-Llorca, Lubna Morales de Paz, Rosario Martín-Orti, Inmaculada Santos-Álvarez, María E. Fernández-Valle, David Castejón, María I. García-Real, Raquel Salgüero-Fernández, Pilar Pérez-Lloret, Nerea Moreno, Sara Jiménez, María J. Herrero-Fernández and Juncal González-Soriano).

Damos a continuación algunos ejemplos:



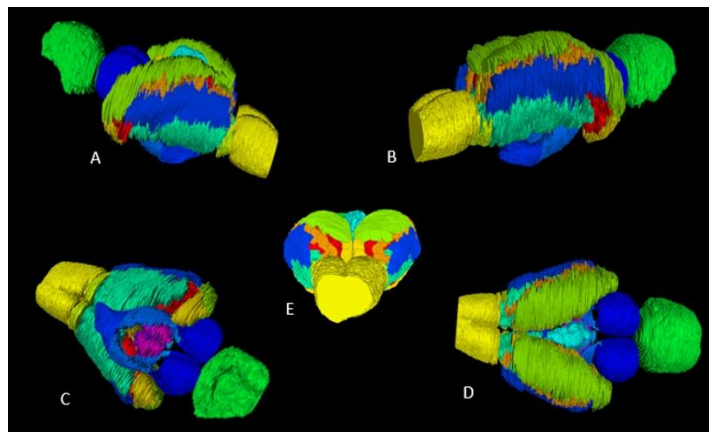
**Figura 1.** Encéfalo de tortuga. Bulbo olfatorio (amarillo) y tubérculo olfatorio (verde-amarillo). **A**, Vista lateral del bulbo y tubérculo olfatorios sobre los ejes ortogonales del encéfalo. **B**, Vista craneolateral del tubérculo olfatorio. **C**, Visión caudolateral del bulbo olfatorio. **D**, Reconstrucción tridimensional del bulbo y tubérculo olfatorios, visión craneolateral.



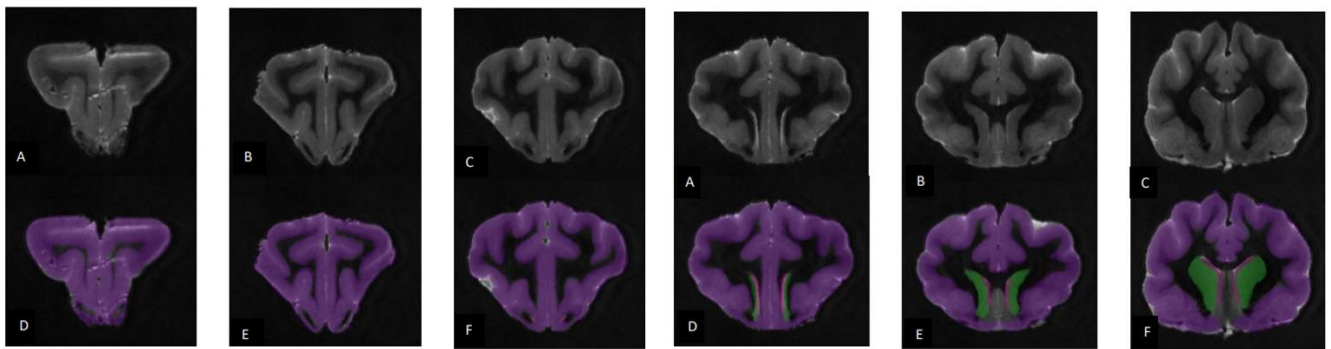
**Figura 3.** Encéfalo de tortuga. Engrosamiento palial. **A**, Vista lateral sobre ejes ortogonales. **B**, Modelo tridimensional, vista craneal.



**Figura 10. Atlas bidimensional del encéfalo de la tortuga. Corte histológico 9, Imagen de Resonancia 125.** Imagen del atlas bidimensional del encéfalo de la tortuga donde se comparan dos imágenes de resonancia magnética, una segmentada (derecha) y otra sin segmentar (izquierda), unidas a un corte histológico de la misma zona (centro). Todas ellas representan una misma sección coronal del encéfalo donde se identifican: cuerpo estriado (verde espuma), engrosamiento palial (naranja), cresta ventricular dorsal (rojo), corteza lateral (azul oscuro), corteza medial (amarillo), corteza dorsal (verde claro), quiasma óptico (azul marino) y epífisis (azul celeste).

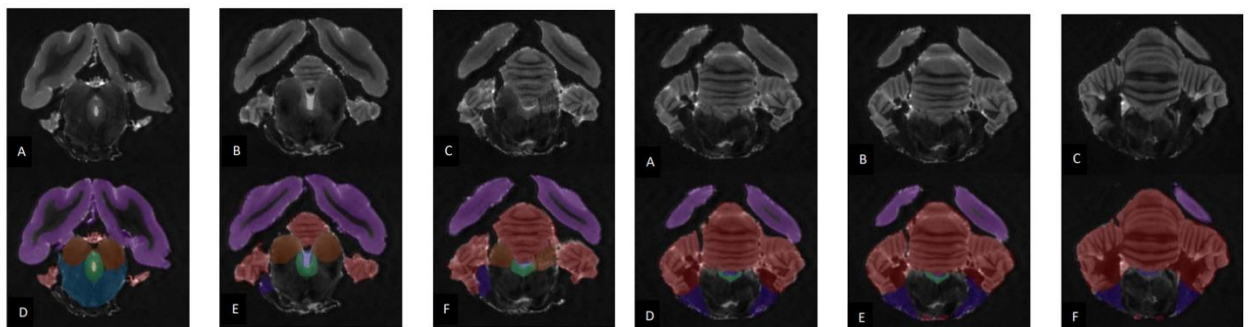


**Figura 5.12. Reconstrucción tridimensional del encéfalo de la tortuga.** Vista lateral derecha (A), crancolateral izquierda (B), ventrocaudal (C), dorsal (D) y craneal (E).



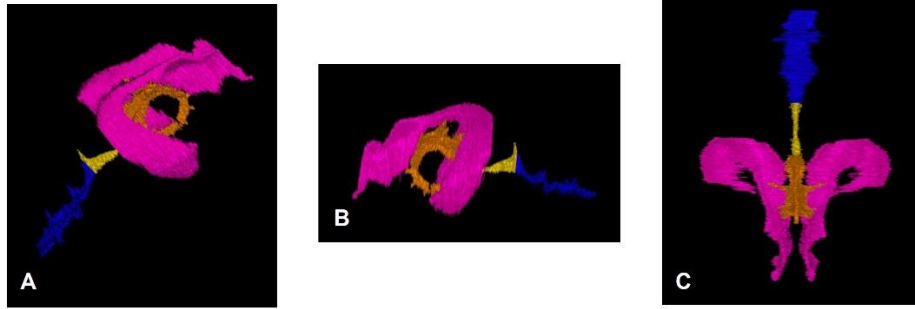
Secciones transversales del encéfalo de gato; A-C) resonancia magnética sin segmentar, (D-F) resonancia magnética segmentada. A,D) sección n° 1; B,E) sección n° 44; C,F) sección n° 104. Morado: corteza cerebral; en negro (sin segmentar) aparece la sustancia blanca.

Secciones transversales del encéfalo de gato; A-C) resonancia magnética sin segmentar, (D-F) resonancia magnética segmentada. A,D) sección n° 117; B,E) sección n° 130; D,F) sección n° 168. Morado: corteza cerebral, rosa: ventrículos laterales, verde claro: núcleo caudado.

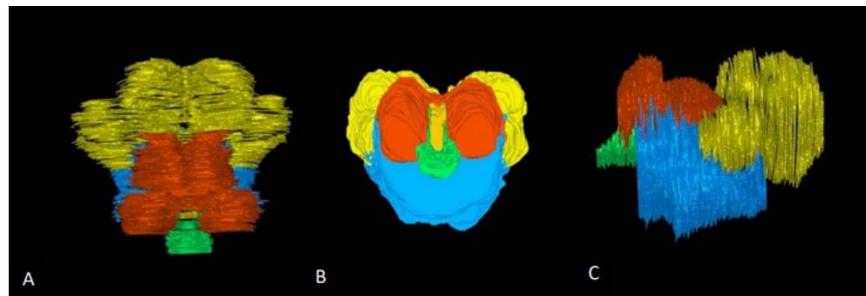


Secciones transversales del encéfalo de gato; A-C) resonancia magnética sin segmentar, (D-F) resonancia magnética segmentada. A,D) sección n° 357; B,E) sección n° 373; C,F) sección n° 387. Morado: corteza cerebral, azul: pedúnculos cerebrales, naranja oscuro: colículos, mostaza: acueducto mesencefálico, verde: sustancia gris periacueductal, azul oscuro: cuarto ventrículo, rojo: cerebelo, morado oscuro: pedúnculos cerebelosos.

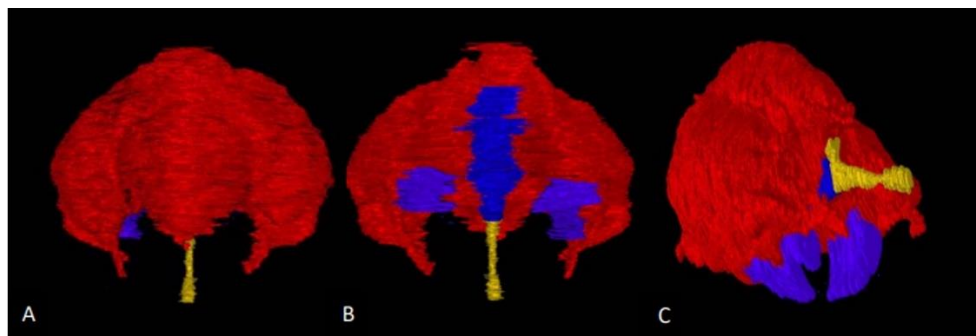
Secciones transversales del encéfalo de gato; A-C) resonancia magnética sin segmentar, (D-F) resonancia magnética segmentada. A,D) sección n° 396; B,E) sección n° 398; C,F) sección n° 410. Morado: corteza cerebral, verde: sustancia gris periacueductal, azul oscuro: cuarto ventrículo, rojo: cerebelo, morado oscuro: pedúnculos cerebelosos, rojo oscuro: pirámides.



A) vista dorsal, B) vista lateral, C) vista lateral oblicua derecha. **Rosa:** ventrículos laterales, **naranja:** tercer ventrículo, **mostaza:** acueducto mesencefálico, **azul oscuro:** cuarto ventrículo



A) vista dorsal, B), vista caudal, C) vista lateral derecha. **Amarillo:** tálamo, **naranja oscuro:** colículos, **azul:** pedúnculos cerebrales, **mostaza:** acueducto mesencefálico, **verde:** sustancia gris periacueductal



A) vista dorsal, B) vista ventral, C) vista lateral oblicua izquierda. **Rojo:** cerebelo, **azul oscuro:** cuarto ventrículo, **mostaza:** acueducto mesencefálico, **morado oscuro:** pedúnculos cerebelosos medios

## 6. Anexos