



UNIVERSIDAD
COMPLUTENSE
MADRID

Proyecto de Innovación

Convocatoria 2024/2025

Proyecto N° 103

Desarrollo de una plataforma para el estudio anatómico de las bolsas gutrales del caballo, como herramienta de autoaprendizaje y autoevaluación con metodologías activas centradas en el estudiante y formación continua en medicina veterinaria

Responsable del Proyecto:

Nieves Martín Alguacil

Sección Departamental de Anatomía y Embriología
Facultad de Veterinaria

1. Objetivos propuestos en la presentación del proyecto

El objetivo principal del proyecto es crear una plataforma interactiva de estudio anatómico independiente para entender e interpretar los problemas clínicos reales que afectan a las bolsas guturales del caballo, una estructura anatómica de gran complejidad y relevancia clínica. Para ello se deben crear modelos anatómicos reales accesibles, carentes de toxicidad y conservados mediante una técnica sostenible. Adicionalmente se crearán herramientas docentes útiles en las metodologías de aprendizaje activo (*flipped classroom* y TBL) tanto en la enseñanza teórica como en la práctica de anatomía veterinaria. Estas herramientas permitirán al estudiante realizar autoaprendizaje (estudio independiente) así como la autoevaluación del mismo. Por otra parte, este proyecto pretende facilitar al profesional veterinario activo herramientas docentes que le permitan realizar formación continuada a lo largo de su vida profesional y a la vez aumentar el número de modelos anatómicos de la **Anatomoteca** (ya existente). Esta plataforma busca integrar modelos anatómicos reales y herramientas digitales que permitan al estudiante y al profesional veterinario comprender mejor la anatomía funcional y su relación con patologías frecuentes en la práctica clínica equina.

CREACIÓN DE UNA PLATAFORMA INTERACTIVA PARA EL ESTUDIO INDEPENDIENTE DE LAS BOLSAS GUTURALES DEL CABALLO

La plataforma estará integrada en la Anatomoteca *on-line* de enseñanzas activas en anatomía (ya en funcionamiento) que estará alojada en la herramienta TEAMS® y tendrá diferentes componentes.

1.1.1. HERRAMIENTA DOCENTE INTERACTIVA PARA UTILIZAR CON METODOLOGÍAS DE APRENDIZAJE ACTIVO: TBL Y FLIPPED CLASSROOM EN LA ENSEÑANZA DE ANATOMÍA VETERINARIA.

Los modelos anatómicos reales se podrán utilizar para la formación previa que es obligatoria en la enseñanza invertida. En concreto son dos las metodologías activas en las que se utilizarán estos modelos anatómicos, TBL en las sesiones prácticas y *flipped classroom* en clase teórica. Son dos formas diferentes de aprendizaje invertido, una adaptada a la enseñanza práctica de anatomía y la segunda adaptada a la enseñanza teórica. Las bolsas guturales se estudian con el aparato respiratorio en clase teórica y al estudiar la anatomía de la cabeza mediante cortes en las sesiones prácticas. Todo el material audiovisual de la plataforma se accederá a través de la *Anatomoteca* en TEAMS®. Este material será de gran utilidad también para cualquier profesional veterinario que quiera actualizar o profundizar en el estudio de las bolsas guturales del caballo.

1.1.2. HERRAMIENTAS DOCENTES PARA REALIZAR AUTOAPRENDIZAJE O ESTUDIO INDEPENDIENTE

El aprendizaje centrado en el estudiante solo se genera utilizando metodologías didácticas activas. El estudiante debe desempeñar un papel activo en su propio aprendizaje. El profesor debe dirigir y facilitar el aprendizaje del estudiante, generando un material de estudio adecuado, que el estudiante debe preparar y aprender de forma independiente. El conocimiento así adquirido, permitirá al estudiante utilizarlo en las sesiones presenciales, para discutir y razonar individualmente y en grupo para resolver problemas reales. Los estudiantes accederán a todo el material audiovisual de la plataforma a través de la *Anatomoteca* en TEAMS® y el Campus virtual.

1.1.3. HERRAMIENTA DOCENTE PARA REALIZAR AUTOEVALUACIÓN DEL AUTOAPRENDIZAJE O ESTUDIO INDEPENDIENTE

Es importante que el estudiante pueda comprobar si está adquiriendo el conocimiento a través del autoaprendizaje o estudio independiente que realiza y comprobar si está siendo eficaz. Para ello todas las herramientas de la plataforma tendrán asociadas un vídeo interactivo en formato H5P que permitirá la autoevaluación, de acceso en TEAMS® y el Campus virtual. Adicionalmente se elaborará un banco de problemas

anatómicos reales y/o situaciones clínicas que los estudiantes deberán resolver. Posteriormente podrán acceder a vídeos explicativos cortos que les permitirá confirmar la resolución correcta de estos problemas para así afianzar su autoaprendizaje.

1.1.4. HERRAMIENTA PARA LA FORMACIÓN CONTINUADA DEL PROFESIONAL VETERINARIO A LO LARGO DE SU VIDA PROFESIONAL

Uno de los requisitos que reclama actualmente la sociedad al profesional veterinario es que este se siga formando a lo largo de su vida profesional. Planteamos que el profesional veterinario pueda acceder a material anatómico de alta calidad científica para recordar, aprender y utilizar en su formación continuada. Proponemos crear un espacio donde se muestre el material anatómico de una forma activa, donde el profesional pueda utilizar los modelos anatómicos creados y los distintos componentes formativos de las diferentes plataformas de estudio y que la *Anatomoteca* posea también un espacio físico de estudio que complemente a la *Anatomoteca* creada en TEAMS®.

1.2. ANATOMOTECA PRESENCIAL

En la **Unidad de Plastinación** creada y dirigida por la profesora Nieves Martín Alguacil en la Facultad de Veterinaria, desde 1999, se vienen generando modelos anatómicos plastinados. Son muchos y variados los especímenes anatómicos que se han ido generando (alrededor de 400), persiguiendo tres objetivos: docente, investigador y divulgativo. La plataforma anatómica que proponemos desarrollar en este proyecto, para el estudio de las bolsas gútrales del caballo, pasará a formar parte de la *Anatomoteca* y se utilizará en las clases teóricas y prácticas impartidas con metodologías activas y se expondrá en las exposiciones que realizamos durante la semana de la ciencia de la UCM. Y esperamos que en un futuro se pueda hacer realidad la creación de un espacio físico que permita de manera permanente, a estudiantes, profesores y profesionales veterinarios, acceder a todos los modelos anatómicos de estudio creados en la unidad de plastinación y por el grupo de investigación de la UCM que estudia las malformaciones congénitas en los animales domésticos. La *Anatomoteca* presencial Veterinaria constituye un espacio único de exhibición y estudio de material anatómico de alta calidad científica, por su elaboración, su conservación y el interés científico de muchas de sus piezas. En este espacio de estudio anatómico se dispondrá de disecciones anatómicas reales, secciones anatómicas reales y moldes 3D. Se realizarán proyecciones de diferentes planos anatómicos de la región parotídea del caballo que se pretende conservar mediante la técnica de plastinación. Las preparaciones anatómicas mostrarán la morfología de las bolsas gútrales *in situ*, sus dependencias y sus relaciones con los tejidos blandos adyacentes. Se realizarán replecciones vasculares con látex líquido para mostrar en rojo las arterias y en azul las venas con el fin de facilitar su visualización y estudio junto con la inervación. Las secciones anatómicas reales constituyen series de cortes de cabeza en distintos planos del espacio a la altura de las bolsas gútrales que se conservarán indefinidamente mediante la técnica de plastinación. Los moldes 3D se obtendrán a partir de reconstrucciones en tres dimensiones realizadas a partir de tomografías axiales computarizadas que se harán a diferentes cabezas de caballo. Estos modelos reproducirán fielmente la anatomía de las bolsas gútrales. Desarrollo de modelos anatómicos reales y sostenibles. Uno de los objetivos de este proyecto es que los modelos biológicos reales que se elaboren sean fácilmente accesibles y reutilizables. Proponemos que todos los modelos biológicos que preparemos (disecciones y cortes de cabeza de caballo) partiendo de material biológico real sean limpios, secos, resistentes, de duración ilimitada en el tiempo y que se pueden examinar y estudiar sin necesidad de guantes o cualquier otro tipo de medida preventiva. Este hecho permitirá a estudiantes, profesionales veterinarios acceder a un material anatómico de alta calidad científica que pueden manipular de forma segura. Este material permite ser desinfectado y reutilizado si es necesario. Con ello se pretende generar la menor cantidad de residuos posible. Un material biológico de estas características se consigue conservándolo mediante la técnica de plastinación desarrollada en Heidelberg en 1977 por el profesor Gunther von Hagens y que desarrollamos en la Unidad de Plastinación de la UCM, ubicada en la Sección Departamental de Anatomía y Embriología Veterinaria.

2. Objetivos alcanzados

El objetivo principal del proyecto ha sido crear una plataforma interactiva de estudio anatómico independiente para la comprensión de los problemas clínicos que afectan a las bolsas gústrales del caballo. Es importante destacar que, si bien el equipo de trabajo está compuesto mayoritariamente por especialistas en anatomía con un manejo funcional de herramientas informáticas, el desarrollo técnico de una plataforma virtual interactiva requiere conocimientos avanzados en programación, diseño digital y gestión de entornos virtuales de aprendizaje. Por ello, consideramos fundamental contar con la colaboración de profesionales especializados en estas áreas, quienes actuarían como apoyo externo para garantizar la calidad, funcionalidad y sostenibilidad del entorno digital propuesto. Esta colaboración técnica, esencial para alcanzar los objetivos del proyecto, implica una inversión económica específica que, hasta el momento, no ha sido cubierta. La financiación de este componente no solo permitirá materializar el espacio virtual, sino que también asegurará su integración efectiva en la docencia y su proyección a largo plazo como recurso educativo innovador.

Esta plataforma ha sido concebida como una herramienta educativa innovadora dirigida tanto a estudiantes del Grado en Veterinaria como a profesionales del ámbito veterinario que deseen reforzar o actualizar sus conocimientos en anatomía. Su diseño integra recursos docentes interactivos, materiales para el autoaprendizaje (como vídeos en formato H5P bajo la metodología *flipped classroom*) y herramientas de autoevaluación que permiten un aprendizaje autónomo y personalizado. En el marco de este proyecto, se ha desarrollado un modelo virtual tridimensional de las bolsas gústrales y sus relaciones anatómicas, a partir de imágenes en formato DICOM obtenidas mediante un prototipo de tomografía computarizada (TC) del equipo de rayos X multifunción Multivet multimodal (SEDECAL®). Las imágenes fueron captadas de la cabeza de un equino, procedente del Hospital Clínico Veterinario Complutense, tras su sacrificio por causas clínicas (Anexo, Fig. 1a). Este modelo 3D, que constituye un valioso recurso para el estudio anatómico, se encuentra actualmente alojado en el repositorio privado de modelos tridimensionales de la Sección Departamental de Anatomía y Embriología de la Facultad de Veterinaria de la Universidad Complutense de Madrid (UCM). Su visualización es posible en el siguiente enlace:

<https://anatovet3d.github.io/3DVetAnatomy/Bolsas%20Guturales/Gutuindex.html>

Material Docente Complementario. Como complemento al modelo tridimensional, se ha producido un vídeo educativo bajo la metodología *flipped classroom*, adaptable al formato H5P, que constituye un recurso expositivo de gran valor para el estudio autónomo de la anatomía topográfica de las bolsas gústrales (Anexo, Fig. 1b). Este vídeo se encuentra actualmente disponible en la *Anatomoteca* virtual alojada en la plataforma TEAMS® y está orientado a facilitar el aprendizaje independiente y visual de los contenidos anatómicos.

El material audiovisual incluye imágenes de algunos de los modelos anatómicos desarrollados durante el transcurso del proyecto, los cuales también pueden ser consultados de forma presencial en la *Anatomoteca* física de la Facultad. Esta integración de recursos digitales y presenciales refuerza la comprensión espacial y funcional de las estructuras anatómicas, promoviendo una experiencia de aprendizaje más completa y accesible. Su visualización es posible en el siguiente enlace:

https://ucomplutense.sharepoint.com/:v:/r/sites/APRENDIZAJEACTIVOENANATOMAYEMBRIOLOGIAVETERINARIA2425copia-InnovacinEducativa/Documentos%20compartidos/Innovaci%C3%B3n%20Educativa/VIDEO%20FLIPPED%20BOLSAS%20GUTURALES%20DEL%20CABALLO%20PIE%20103%2024_25.mp4?csf=1&web=1&e=dHQf8O

Banco de Problemas Anatómicos Aplicados. Como parte integral de la plataforma, se ha diseñado un banco de problemas anatómicos aplicados que constituye una herramienta didáctica de gran utilidad tanto para su implementación en sesiones presenciales bajo el enfoque *flipped classroom* (durante las clases teóricas), como para la autoevaluación del conocimiento adquirido de forma autónoma.

Cada uno de estos problemas está acompañado por un vídeo explicativo de aproximadamente cinco minutos de duración, en el que se expone y resuelve el caso planteado. Esta estrategia permite al estudiante consolidar los conceptos anatómicos mediante la aplicación práctica, favoreciendo un aprendizaje activo y significativo.

Ampliación de la Anatomoteca Presencial: Modelos Plastinados. Tal como se expone en el primer epígrafe, uno de los objetivos del proyecto ha sido la ampliación del número de modelos anatómicos plastinados disponibles en la *Anatomoteca* presencial. Para ello, se han llevado a cabo disecciones específicas en distintos planos anatómicos, así como cortes anatómicos orientados a la visualización detallada de las bolsas gutrales, con el propósito de conservar estos especímenes mediante la técnica de plastinación. Estos modelos representan un recurso de gran valor tanto para el estudio autónomo como para su utilización en sesiones prácticas con metodologías activas, como el aprendizaje basado en equipos (TBL). Como resultado del proyecto, se han elaborado más de diez modelos anatómicos, actualmente conservados en solución de formaldehído, ya que no ha sido posible someterlos al proceso de plastinación durante el curso académico 2024/25 debido a la falta de acceso regular a la sala de plastinación. Una muestra representativa de estos modelos se presenta en la (Anexo, Fig. 2). Está previsto que estos modelos anatómicos sean plastinados tan pronto como se restablezca el acceso a las instalaciones, con el fin de garantizar su conservación a largo plazo. Se trata de modelos anatómicos únicos, de alta calidad tanto desde el punto de vista anatómico como didáctico, que enriquecerán significativamente el material docente disponible en la Sección Departamental de Anatomía y Embriología de la Facultad de Veterinaria.

Modelo Físico 3D de Bolsas Gutrales y Aparato Hioideo. En este mismo contexto, se ha desarrollado un modelo físico tridimensional en plástico que representa las bolsas gutrales y el aparato hioideo, a partir de reconstrucciones digitales generadas mediante datos obtenidos en una tomografía axial computarizada (TAC) realizada a la cabeza de un cadáver equino. Este modelo constituye una herramienta didáctica de gran valor para la comprensión de la disposición espacial y la orientación anatómica de las bolsas gutrales, así como de su relación con las estructuras del aparato hioideo (Anexo, Fig. 3).

3. Metodología empleada en el proyecto

Procesamiento Digital y Elaboración de Modelos Anatómicos. Todo el material docente desarrollado en el marco de este proyecto ha sido diseñado con el objetivo de facilitar el autoaprendizaje, garantizando en todo momento la fidelidad anatómica de los modelos generados. El modelo virtual tridimensional se ha elaborado a partir del procesamiento de imágenes DICOM obtenidas mediante tomografía computarizada (TC), utilizando el software libre 3D Slicer (<https://www.slicer.org/>). A partir de este procesamiento, se generaron modelos 3D del cráneo, las bolsas guturales, la cavidad nasal y los senos paranasales. Posteriormente, estos modelos fueron adaptados mediante el software de modelado 3D Blender (<https://www.blender.org/>) para incorporar imágenes de cortes anatómicos reales. Finalmente, se programó un visor interactivo que permite la visualización integrada del modelo tridimensional y de las imágenes anatómicas asociadas. Asimismo, se ha producido un modelo físico en plástico de las bolsas guturales y del aparato hioideo, relacionado con el esqueleto real de la cabeza de un caballo, mediante técnicas de impresión 3D en las instalaciones de la Facultad de Veterinaria. Para su elaboración, se importaron los archivos DICOM a software especializado como 3D Slicer o InVesalius, donde se realizó la segmentación de las estructuras anatómicas de interés utilizando herramientas semiautomáticas y técnicas de umbralado por intensidad. Una vez aisladas las regiones deseadas, se generaron mallas tridimensionales (en formatos STL u OBJ), que fueron refinadas con programas de edición como Blender o Meshmixer para corregir imperfecciones y optimizar su calidad. El esqueleto de la cabeza que complementa el modelo fue preparado mediante técnicas anatómicas tradicionales, a partir de la cabeza de un caballo adulto cedido para fines docentes. Cabe señalar que la elaboración de algunos de estos modelos se ha visto limitada por la imposibilidad de utilizar el cocedero de huesos durante gran parte del curso académico, debido a la lentitud en su reparación, lo que ha impedido el procesamiento adecuado de las piezas óseas.

Elaboración de Modelos Anatómicos Reales y Técnica de Plastinación. Los modelos anatómicos reales desarrollados en este proyecto se han elaborado a partir de seis cabezas de caballo, procedentes de animales sacrificados por causas clínicas en el Hospital Clínico Veterinario de la Universidad Complutense de Madrid (UCM), y cedidas por sus propietarios con fines docentes. Este material ha sido conservado siguiendo técnicas anatómicas tradicionales. Inicialmente, las cabezas se almacenan congeladas hasta su procesamiento. Tras la descongelación, se realiza la perfusión a través de las arterias carótidas con una solución de formaldehído y etanol al 4 %, y posteriormente se conservan en refrigeración a 4 °C. El proceso de disección de cada pieza puede extenderse entre dos y cuatro semanas. Se trata de un trabajo muy laborioso y exigente técnicamente mediante el que se han conseguido modelos anatómicos únicos de un valor didáctico incalculable. En tres de las cabezas se ha llevado a cabo una repleción vascular con látex coloreado (rojo para arterias carótidas y azul para venas linguales), con el objetivo de facilitar la identificación de los vasos sanguíneos durante la disección (Anexo, Fig. 2e). Estas cabezas han sido utilizadas para elaborar modelos que muestran distintos planos de disección (Anexo, Fig. 2a y 2c), así como para realizar cortes anatómicos seriados de cabezas previamente congeladas, empleados en el estudio anatómico seccional (Anexo, Fig. 2e). Otros modelos se han generado a partir de la disección de cortes anatómicos realizados con la pieza aún congelada (Anexo, Fig. 2b y 2d). Estos modelos están destinados a ser conservados mediante la técnica de plastinación, un procedimiento que como hemos descrito anteriormente preserva el material biológico. La técnica S10 desarrollada por el profesor von Hagens consta de cuatro fases principales: (1) fijación con formaldehído para detener la descomposición; (2) deshidratación mediante inmersión en acetona a -20 °C para sustituir el agua y los lípidos; (3) impregnación forzada en una cámara de vacío con polímero líquido (silicona), que reemplaza la acetona en los tejidos; y (4) curado del polímero para fijar permanentemente la preparación anatómica.

4. Recursos humanos

Dra. **Nieves Martín Alguacil** (Catedrática de Universidad). Como directora del proyecto y responsable de la Unidad de Plastinación de la Sección Departamental de Anatomía y Embriología de la Facultad de Veterinaria ha desempeñado un papel fundamental en su diseño y conceptualización. La iniciativa se basa en una filosofía centrada en el autoaprendizaje, implementada dentro de un entorno de aprendizaje invertido (*flipped classroom*). Bajo su liderazgo, el equipo docente ha demostrado que es posible incorporar metodologías de aprendizaje activo en contextos educativos tradicionales, superando con éxito los desafíos inherentes a este enfoque. Diversas publicaciones internacionales en el ámbito de la docencia respaldan y validan esta experiencia. Además, la Dra. Nieves destaca especialmente por su implicación activa en el diseño de actividades de autoevaluación, integradas coherentemente dentro de esta metodología de autoaprendizaje, con el objetivo de fomentar la autonomía del estudiante y su capacidad de autorregulación. En su calidad de catedrática de Anatomía, ha participado activamente en la creación de los modelos anatómicos, elaborando los planos de disección y supervisando minuciosamente los resultados finales.

Dr. **Luis Javier Avedillo Cea** (Profesor Ayudante Doctor). Ha desempeñado un papel activo en el diseño y desarrollo de los modelos anatómicos del proyecto. Su labor ha abarcado desde la selección y conservación del material biológico con fines de plastinación, hasta la repleción vascular mediante látex coloreado. Ha participado activamente en tareas de disección e identificación de estructuras anatómicas, así como en la elaboración precisa de cortes anatómicos utilizando sierra de cinta. Además, ha sido responsable de la toma, selección y clasificación de imágenes fotográficas, contribuyendo así a la creación de un banco visual de gran valor didáctico. También ha colaborado en la producción del video educativo en formato *flipped classroom*, reforzando el enfoque innovador del proyecto.

Dr. **Rubén Mota Blanco** (Profesor Sustituto) ha intervenido activamente en el diseño y desarrollo de los modelos anatómicos utilizados en el proyecto. Su labor ha incluido la disección e identificación detallada de estructuras anatómicas, así como la ejecución de cortes anatómicos de precisión. Además, ha contribuido en el procesamiento informático asociado al proyecto, aportando valor en la gestión y tratamiento digital de los recursos. También ha participado en la producción del video educativo en formato *flipped classroom*, reforzando así la estrategia de autoaprendizaje planteada.

Dra. **Rosa María Mendaza de Cal** (Profesor Ayudante Doctor) ha sido responsable del diseño y desarrollo de un modelo virtual en 3D de las bolsas gutrales del caballo, concebido como recurso didáctico muy útil tanto para estudiantes como para profesionales veterinarios. A partir de imágenes DICOM procedentes de una tomografía computarizada (TC) de la cabeza de un equino, ha procesado los datos utilizando el software libre 3DSlicer, generando modelos tridimensionales detallados del cráneo y de las bolsas gutrales, entre otras estructuras relevantes. Posteriormente, ha adaptado y enriquecido el modelo mediante el programa de diseño 3D Blender (Blender Foundation), integrando imágenes de cortes anatómicos reales.

D. **Miguel Gallego Agúndez** (estudiante del Programa de Doctorado de la Facultad de Veterinaria, UCM). Ha colaborado activamente en tareas de disección anatómica y en la obtención de material gráfico, participando en la toma de imágenes fotográficas para documentar y enriquecer los recursos visuales del proyecto.

Dña. **Ángela Labrador Pérez** (PAS en la Universidad Complutense, Técnico de Sala de Disección en la Facultad de Veterinaria). Ha desempeñado un papel esencial en tareas de asistencia y apoyo logístico a lo largo del proyecto. Su implicación ha sido especialmente destacada en la conservación del material anatómico, no solo durante la ejecución del proyecto, sino también con miras a su futuro procesamiento mediante técnicas de plastinación, contribuyendo así a la preservación a largo plazo de los modelos anatómicos desarrollados.

5. Desarrollo de las actividades

En una primera fase, se contempla la preparación y recolección del material anatómico equino necesario para el desarrollo del proyecto. Esta etapa incluye la gestión de la cesión de cabezas de caballo por parte del Hospital Clínico Veterinario de la UCM, con el consentimiento de los propietarios para su uso con fines docentes. Una vez recibidas, las cabezas se conservan inicialmente mediante congelación hasta su procesamiento. Posteriormente, se realiza la perfusión a través de las arterias carótidas con una solución de formaldehído y etanol al 4 %, lo que permite una mejor conservación de los tejidos. El material perfundido se mantiene en refrigeración a 4 °C hasta su utilización. Esta fase es fundamental para garantizar la calidad del material anatómico que servirá de base para la elaboración de modelos reales y digitales.

La segunda fase se centra en la disección anatómica y la generación de modelos anatómicos reales. Cada cabeza se somete a un cuidadoso proceso de disección, siguiendo distintos planos anatómicos, con el objetivo de obtener piezas representativas de alto valor didáctico. En algunos casos, se realiza una repleción vascular con látex coloreado (rojo para arterias y azul para venas) para facilitar la visualización e identificación de los vasos sanguíneos durante la disección. Estas piezas permiten la elaboración de modelos que muestran diferentes niveles de profundidad anatómica, así como cortes anatómicos seriados que se utilizan para el estudio seccional. Además, se preparan esqueletos craneales mediante técnicas tradicionales, completando así el conjunto de modelos físicos. El proceso de disección puede extenderse entre dos y cuatro semanas por pieza, lo que requiere una planificación cuidadosa y una dedicación intensiva. La participación activa de los estudiantes en la preparación del material anatómico constituye un pilar fundamental del proyecto, no solo por el apoyo técnico que brindan, sino por el profundo valor formativo que esta experiencia les aporta. Su implicación directa en tareas como la recepción y conservación del material biológico, la disección meticulosa, la repleción vascular, la documentación fotográfica, la digitalización y la impresión 3D, les permite adquirir competencias prácticas que difícilmente podrían desarrollarse en un entorno exclusivamente teórico. Esta colaboración les ofrece una oportunidad única para profundizar en el conocimiento anatómico desde una perspectiva aplicada, enfrentándose a la complejidad real de las estructuras, a la variabilidad biológica y a los desafíos técnicos que implica la manipulación de material cadavérico.

Además, el trabajo en equipo, la planificación de tareas, la resolución de problemas técnicos y la toma de decisiones fundamentadas son habilidades transversales que se fortalecen significativamente durante su participación en el proyecto. Los estudiantes no solo aprenden anatomía, sino que también se forman como futuros profesionales capaces de integrar conocimientos, aplicar técnicas avanzadas y colaborar en entornos multidisciplinares. Esta experiencia, altamente enriquecedora, contribuye a su madurez académica y profesional, y les permite desarrollar un sentido de pertenencia y responsabilidad hacia la comunidad universitaria. En muchos casos, esta participación despierta vocaciones docentes o investigadoras, y refuerza su motivación por el aprendizaje autónomo y la excelencia académica. Por todo ello, el papel de los estudiantes colaboradores no solo es valioso para el desarrollo del proyecto, sino que representa una inversión formativa de gran impacto en su trayectoria educativa.

La participación activa de los estudiantes en la preparación del material anatómico constituye un pilar fundamental del proyecto, no solo por el apoyo técnico que brindan, sino por el profundo valor formativo que esta experiencia les aporta. Su implicación directa en tareas como la recepción y conservación del material biológico, la disección meticulosa, la repleción vascular, la documentación fotográfica, la digitalización y la impresión 3D, les permite adquirir competencias prácticas que difícilmente podrían desarrollarse en un entorno exclusivamente teórico. Esta colaboración les ofrece una oportunidad única para profundizar en el conocimiento anatómico desde una perspectiva aplicada, enfrentándose a la complejidad real de las estructuras, a la variabilidad biológica y a los desafíos técnicos que implica la manipulación de material cadavérico. Además, el trabajo en equipo, la planificación de tareas, la resolución de problemas técnicos y la toma de decisiones fundamentadas son habilidades transversales que se fortalecen significativamente durante su participación en el proyecto. Los estudiantes no solo aprenden anatomía, sino que

también se forman como futuros profesionales capaces de integrar conocimientos, aplicar técnicas avanzadas y colaborar en entornos multidisciplinares. Esta experiencia, altamente enriquecedora, contribuye a su madurez académica y profesional, y les permite desarrollar un sentido de pertenencia y responsabilidad hacia la comunidad universitaria. En muchos casos, esta participación despierta vocaciones docentes o investigadoras, y refuerza su motivación por el aprendizaje autónomo y la excelencia académica. Por todo ello, el papel de los estudiantes colaboradores no solo es valioso para el desarrollo del proyecto, sino que representa una inversión formativa de gran impacto en su trayectoria educativa. La colaboración de la técnico de sala de disección en este equipo ha sido un elemento clave para el desarrollo exitoso del proyecto, aportando no solo su experiencia técnica, sino también una visión práctica y resolutive en cada una de las fases del trabajo. Su conocimiento especializado en el manejo de material anatómico, técnicas de conservación, preparación de piezas y uso de equipamiento específico —como los sistemas de perfusión, cámaras de refrigeración, herramientas de disección— ha sido fundamental para garantizar la calidad, seguridad y eficiencia de los procedimientos realizados. Además, su participación ha permitido mantener una continuidad técnica en el proyecto, asegurando que los protocolos se cumplieran con rigor y que los materiales se manipularan adecuadamente en todo momento. Su capacidad para anticipar necesidades logísticas, resolver incidencias técnicas y coordinar recursos ha permitido optimizar los tiempos de trabajo y adaptarse a las limitaciones surgidas durante el curso académico, como la falta de acceso a determinadas instalaciones. En definitiva, su apoyo ha sido indispensable para la ejecución técnica del proyecto.

En la tercera fase se aborda la digitalización del material y la creación de modelos tridimensionales interactivos. A partir de imágenes DICOM obtenidas mediante tomografía computarizada (TC), se realiza la segmentación de las estructuras anatómicas de interés utilizando software especializado como 3D Slicer o InVesalius. Estas imágenes permiten generar modelos tridimensionales del cráneo, las bolsas guturales, la cavidad nasal y los senos paranasales. Las mallas generadas se refinan con programas de edición como Blender o Meshmixer, y se integran imágenes reales de cortes anatómicos para enriquecer el modelo. Finalmente, se desarrolla un visor interactivo que permite la exploración del modelo 3D y de las imágenes anatómicas asociadas, facilitando así el aprendizaje visual y espacial de las estructuras.

La cuarta fase está dedicada a la producción de material didáctico complementario. Se elaboran vídeos educativos bajo la metodología flipped classroom, adaptables al formato H5P, que permiten al estudiante estudiar de forma autónoma y a su ritmo. Además, se diseña un banco de problemas anatómicos aplicados, cada uno acompañado de un vídeo explicativo de corta duración que guía al estudiante en la resolución del caso. Estos recursos se alojan en la anatomoteca virtual de la Facultad, accesible a través de la plataforma TEAMS®, y están orientados a reforzar el aprendizaje activo y la autoevaluación. Esta fase garantiza que los modelos anatómicos, tanto físicos como digitales, se integren en un entorno pedagógico coherente y accesible.

En la quinta fase se lleva a cabo la impresión 3D de modelos físicos anatómicos, utilizando las mallas digitales generadas previamente. Las estructuras seleccionadas, como las bolsas guturales y el aparato hioideo, se imprimen en plástico en las instalaciones de la Facultad de Veterinaria. Estos modelos se ensamblan con el esqueleto real preparado, creando piezas híbridas de gran valor didáctico. El proceso incluye la segmentación precisa de las estructuras, la conversión a formatos imprimibles (STL u OBJ), y la optimización de las mallas para asegurar su fidelidad anatómica. Estos modelos físicos permiten una manipulación directa por parte del estudiante, complementando la experiencia de aprendizaje virtual.

La sexta fase contempla la conservación a largo plazo de los modelos anatómicos reales mediante la técnica de plastinación. Esta técnica, desarrollada por Gunther von Hagens, permite preservar el material biológico mediante la sustitución de los líquidos corporales por polímeros de silicona. El proceso consta de cuatro etapas: fijación con formaldehído, deshidratación en acetona a baja temperatura, impregnación forzada en cámara de vacío con polímero líquido, y curado del material. Sin embargo, durante el desarrollo del presente

proyecto no ha sido posible aplicar esta técnica debido a la imposibilidad de acceder a la sala de plastinación durante el curso académico 2024/25. Esta limitación se ha visto agravada por la lentitud en la reparación del cocedero, lo que ha impedido el procesamiento adecuado de las piezas óseas y ha retrasado la finalización de esta fase esencial para la conservación del material.

Finalmente, en la séptima fase, evaluación del impacto educativo y difusión de resultados tiene como objetivo fundamental valorar el impacto real de los recursos desarrollados sobre el aprendizaje del alumnado y promover la difusión del trabajo realizado en entornos académicos y profesionales. Para ello, se plantea una estrategia de evaluación sistemática que permita recoger evidencias objetivas y subjetivas sobre la utilidad, accesibilidad y eficacia de los modelos anatómicos (tanto físicos como digitales), así como del material docente complementario (vídeos, banco de problemas, visor 3D, etc.).

En primer lugar, se diseñarán encuestas específicas dirigidas a estudiantes de los distintos cursos en los que se haya implementado el uso de estos recursos. Estas encuestas incluirán ítems cuantitativos (tipo Likert) y cualitativos (respuestas abiertas) que permitan valorar aspectos como la claridad de los contenidos, la facilidad de uso de las herramientas, el grado de comprensión anatómica alcanzado, la motivación generada y la percepción general del aprendizaje. Asimismo, se recogerá la opinión del profesorado implicado en la docencia, con el fin de identificar fortalezas, debilidades y posibles mejoras en la integración de estos materiales en el aula. Además de la evaluación mediante encuestas, se contempla la posibilidad de realizar análisis comparativos de resultados académicos entre cohortes que hayan utilizado los recursos del proyecto y aquellas que no, siempre respetando los principios éticos y de confidencialidad. Esta comparación permitirá obtener indicadores más objetivos sobre el impacto del proyecto en el rendimiento académico.

En cuanto a la difusión, se prevé la presentación de los resultados en jornadas de innovación docente, congresos de educación veterinaria y foros especializados en anatomía, tecnología educativa y aprendizaje activo. También se elaborarán publicaciones científicas en revistas indexadas que recojan tanto la metodología empleada como los resultados obtenidos, con el objetivo de compartir la experiencia con otras instituciones y fomentar la replicabilidad del modelo. Asimismo, se valorará la posibilidad de crear una página web o micrositio institucional donde se expongan los recursos desarrollados, se compartan buenas prácticas y se facilite el acceso a materiales seleccionados.

Esta fase final no solo cierra el ciclo del proyecto, sino que garantiza su sostenibilidad, visibilidad y mejora continua, consolidando una propuesta docente innovadora, basada en la integración de tecnología, anatomía aplicada y metodologías activas de aprendizaje. Como consecuencia de la toma sistemática de fotografías durante todas las fases del proyecto, se ha generado un banco fotográfico anatómico de gran valor, que constituye un recurso docente complementario de primer orden. Este banco incluye imágenes de alta calidad que documentan con precisión cada etapa del proceso: desde el estado original de las piezas anatómicas, pasando por las distintas fases de disección, repleción vascular, cortes anatómicos y montaje de modelos, hasta su integración en materiales digitales o físicos. La creación de este archivo visual no solo permite conservar un registro detallado y trazable del trabajo realizado, sino que también ofrece un material versátil que puede ser reutilizado en múltiples contextos educativos. Desde el punto de vista docente, este banco fotográfico permite ilustrar conceptos anatómicos complejos con imágenes reales, facilitando la comprensión espacial y topográfica de las estructuras. Puede ser utilizado en presentaciones teóricas, materiales de autoaprendizaje, cuestionarios interactivos, y como apoyo visual en sesiones prácticas. Además, su integración en plataformas digitales permite el acceso remoto por parte del alumnado, lo que amplía las posibilidades de estudio independiente y refuerza el aprendizaje visual. También resulta especialmente útil para estudiantes con dificultades para asistir a prácticas presenciales o para repasar contenidos fuera del aula. En definitiva, este banco fotográfico no solo documenta el trabajo técnico y científico del proyecto, sino que se convierte en una herramienta pedagógica de alto impacto, alineada con los principios de accesibilidad, innovación y calidad educativa.

6. Anexos

MODELO VIRTUAL EN 3D Y VIDEO FLIPPED DE LAS BOLSAS GUTURALES DEL CABALLO



Figura1. A, Presentación del modelo virtual en 3D de las bolsas guturales y sus relaciones anatómicas a partir de imágenes en formato DICOM obtenidas en un prototipo TC; y, **B**, presentación del video *flipped-class* dedicado al estudio de las bolsas guturales del caballo.

MODELOS ANATÓMICOS CONSERVADOS ACTUALMENTE EN SOLUCIÓN DE FORMALDEHÍDO PENDIENTES DE SU CONSERVACIÓN DEFINITIVA MEDIANTE LA TÉCNICA DE PLASTINACIÓN



Figura 2. Ejemplos de algunos de los modelos anatómicos elaborados, actualmente conservados en solución de formaldehído, a la espera de ser sometidos al proceso de plastinación para su perpetua conservación. **A**, Vista lateral derecha de un plano de disección superficial de la cabeza de un caballo donde se ha retirado la glándula parótida y la mitad caudal del músculo masetero; **B**, Corte sagital de la cabeza de un caballo para visualizar el interior del compartimento lateral de la bolsa gutural izquierda y su relación anatómica con la glándula parótida; **C**, Vista caudolateral izquierda de la región parotídea de un caballo, donde se ha retirado los dos tercios distales de la rama y el cuerpo de la mandíbula, así como toda la musculatura asociada, incluida la glándula parótida para visualizar un molde plástico de la bolsa gutural izquierda; **D**, corte parasagital del tercio caudal de la cabeza de un caballo para visualizar el receso medial de la bolsa gutural derecha, así como las estructuras nerviosas (IX, X, XI y XII pares craneales) y la arteria carótida interna en relación a ella; y, **E**, corte transversal a nivel de la articulación témporo-mandibular de la cabeza de un caballo adulto donde se han inyectado con látex coloreado en rojo las arterias y en látex coloreado en azul las venas, para visualizar los recesos caudales de ambas bolsas guturales.

MODELO OSEO DE CABEZA DE CABALLO QUE MUESTRA LA DISPOSICIÓN Y RELACIONES ANATÓMICAS DE LAS BOLSAS GUTURALES

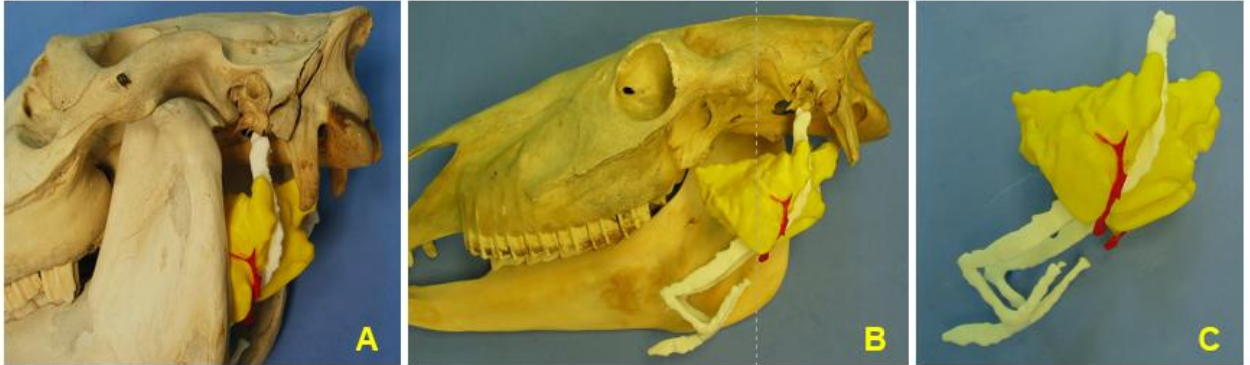


Figura 3. Modelo anatómico elaborado por impresión 3D en plástico de las bolsas guturales y del aparato hioideo relacionado con el esqueleto real de la cabeza de un caballo de similares características. **A**, Vista lateral izquierda del tercio caudal del esqueleto de la cabeza de un caballo; **B**, vista lateral izquierda del esqueleto de la cabeza de un caballo, donde se ha retirado la mandíbula izquierda para visualizar completamente el modelo elaborado en plástico por impresión 3D; y **C**, modelo elaborado en plástico donde se muestran las bolsas guturales (en amarillo), el aparato hioideo (en blanco) y la arteria carótida externa en rojo.