

# **Estudio Comparativo entre los Métodos Tradicionales y el Uso de Técnicas Avanzadas de Diagnóstico por Imagen para el Aprendizaje de Anatomía: Resultados Preliminares**

Francisco Suárez, Daniel Morales, Magnolia Conde De Felipe\*, David Farray, Mario Encinoso, Ana S Ramírez\*, Conrado Carrascosa\*, J Raduan Jaber\*

Facultad de Veterinaria, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Campus de Cardones  
s/n. 35413, Las Palmas, España

\*Grupo de Innovación Educativa VETFUN, Facultad de Veterinaria, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. Las Palmas, España

## **RESUMEN**

La anatomía puede resultar un desafío tanto para enseñar como para aprender dentro del plan de estudios de medicina veterinaria. Durante muchos años se han utilizado técnicas tradicionales para su enseñanza, pero en la actualidad se está avanzando hacia modelos digitales alternativos e interactivos para involucrar al estudiante y mejorar el aprendizaje anatómico. Sin embargo, las innovaciones digitales en el plan de estudios generalmente han estado más orientadas hacia el plan de estudios médico. De esta manera, el objetivo de este trabajo consistió en la aplicación y comparación de herramientas tradicionales frente a modelos digitales interactivos creados mediante técnicas avanzadas de diagnóstico por imagen para el aprendizaje de anatomía veterinaria. Nuestra experiencia mostró que la combinación de ambas herramientas favoreció una mayor comprensión y evaluación de la materia por parte de los estudiantes, convirtiendo dichas actividades, en innovadoras e interesantes para nuestros alumnos.

**Palabras clave:** Diagnóstico por imagen, Anatomía, Innovación docente.

## **1. INTRODUCCIÓN**

Tradicionalmente, la adquisición de conocimientos anatómicos ha sido un pilar fundamental de la educación médica y la formación clínica. En el pasado, los estudiantes se basaban en largas conferencias didácticas (clases magistrales), disección de cadáveres, libros de texto y modelos simplificados que desarrollaban sus conocimientos y habilidades en anatomía [1,2]. De hecho, la anatomía ha sido considerada como la base de la formación médica [1,3]. En los últimos años, la reducción de créditos de los programas docentes, y la falta de personal calificado para enseñar anatomía aplicada clínicamente han provocado una clara merma en la calidad docente de esta materia [4]. A todos estos inconvenientes se le unen otros aspectos que han acentuado los problemas docentes, aquí se incluyen los materiales empleados para la preservación de los cadáveres, los cuales son altamente tóxicos y conllevan cierta peligrosidad para los estudiantes, y la dificultad para la obtención de animales debido a las nuevas regulaciones europeas en materia de bienestar animal.

Como consecuencia de esto y del rápido avance del empleo de las técnicas avanzadas de diagnóstico por imagen en medicina, incluyendo los ultrasonidos (US), la resonancia magnética (RM), y la tomografía computarizada (TC), el campo de productos digitales creados a partir de éstas ha crecido de forma sorprendente, sobre todo en medicina humana [5–7]. Este hecho nos da una idea de su potencial para ser utilizadas de forma rutinaria en nuestras clases. Sin embargo, ha habido una escasez en este campo desde la perspectiva veterinaria. Ciertamente, ha habido algunos intentos de desarrollar materiales educativos y de formación para la comunidad veterinaria, pero dichos intentos han estado limitados al cerebro de la rata o la rana, las extremidades del caballo, y más recientemente, la cabeza del perro [8–12].

No obstante, aquí el desafío radica en hacer visible lo invisible. Incluso la disección más hábil de especímenes solo puede revelar ciertos aspectos de las relaciones estructurales, y solo después de realizar

una inversión significativa de tiempo y recursos. Por otro lado, la aplicación de técnicas de imagen avanzada puede hacer que muchos aspectos de lo invisible sean visibles. Fundamentalmente, a través de la obtención de cortes seriados de pequeño grosor en diferentes planos del espacio y reconstrucciones tridimensionales que permiten visualizar claramente las relaciones entre estructuras específicas. Además, dichas técnicas favorecen la interacción con estructuras y conceptos que facilitan el razonamiento tridimensional, así como explorar y repetir la visualización de una amplia variedad de estructuras por parte del estudiante.

Por lo tanto, nuestro propósito fue aprovechar las nuevas tecnologías de imagen para desarrollarlas de una manera única, creando una modalidad efectiva para que los estudiantes aprendan la anatomía tridimensional utilizando imágenes de RM, TC y US. Teniendo en cuenta que determinadas regiones anatómicas como la cavidad celómica o la cabeza representan algunas de las áreas más complicadas de estudio para los estudiantes y actualmente están subrepresentadas en los recursos disponibles, este trabajo brinda una oportunidad para probar nuevos enfoques educativos, y ponerlos en un futuro próximo a disposición de los estudiantes en una plataforma interactiva.

## 2. MATERIAL Y MÉTODOS

### *Diseño del Estudio*

La población de estudio (N=32) estaba compuesta por estudiantes de Anatomía II de la Facultad de Veterinaria de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria (Islas Canarias, España), que estaban cursando el segundo año de estudio. Los criterios de inclusión eran ser estudiantes matriculados en ese año académico, los cuales no hubieran estado relacionados anteriormente con la materia y que estuvieran dispuestos a participar en el estudio. Estos estudiantes fueron divididos en dos grupos, el primero se formaría empleando únicamente los métodos tradicionales de aprendizaje (disecciones, cortes transversales y libros de texto). Mientras que el segundo grupo contaría además de lo anterior, de imágenes de las mismas regiones mediante las técnicas de imagen anteriormente mencionadas. Una vez realizada la actividad formativa, los dos grupos realizaron un examen de 6 preguntas cortas relacionadas con la materia impartida, donde tendrían que identificar las estructuras señaladas y sus relaciones con los órganos adyacentes. Antes de responder al examen, se proporcionó a los estudiantes una declaración de consentimiento informado que explicaba el propósito del ejercicio, el tiempo estimado de finalización y las garantías de confidencialidad.

### *Estudio anatómico*

Para realizar este estudio se llevaron a cabo disecciones y cortes anatómicos para facilitar la identificación de las estructuras observadas en las imágenes de TC y RM (Figuras 1 y 4). Así, una vez realizados los procedimientos mediante técnicas de imagen, varios de estos especímenes se prepararon para diseccionar aquellas estructuras que considerábamos más relevantes, mientras que otros especímenes se colocaron en un soporte de aislamiento de plástico en decúbito ventral y se almacenaron en un congelador a -80°C hasta que estuvieron completamente congelados. Posteriormente, los cadáveres congelados se seccionaron utilizando una sierra eléctrica para obtener secciones anatómicas transversales secuenciales de las regiones seleccionadas. Estas secciones eran más gruesas que las de la TC y la RM para preservar la integridad y la posición de las estructuras anatómicas en las secciones. Estas secciones se limpiaron con agua, se enumeraron y se fotografiaron en las superficies craneal y caudal. Posteriormente, seleccionamos aquellas secciones anatómicas que mejor coincidían con las imágenes de TC y RM para identificar las estructuras relevantes. Para ayudarnos en este asunto, también utilizamos textos anatómicos y referencias relevantes descritas en nuestro proyecto docente.

### *Técnica de US*

El examen de ultrasonido se realizó con un equipo de ultrasonido GE LOGIQ e Vet (USA) utilizando transductores microconvexos 8C y lineales 12L. Esta técnica permitió evaluar diferentes órganos dentro de la cavidad abdominal, y confirmar que dichos órganos tenían un aspecto normal.

### *Técnica de TC*

Las imágenes de TC se obtuvieron en el Hospital Veterinario de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria utilizando un escáner de TC helicoidal de 16 cortes (Toshiba Astelion, Canon Medical System, Tokio, Japón). Los animales se colocaron de manera simétrica en decúbito ventral en la camilla de TC. Se utilizó un protocolo clínico estándar (100 kVp, 80 mA, matriz de adquisición de 512 x 512, campo de

visión de 1809 x 858, un factor de paso espiral de 0.94 y rotación de 1.5 s) para obtener imágenes transversas secuenciales de TC (1 mm de espesor) (Figuras 2 y 3). Los datos originales se registraron y transfirieron a la estación de trabajo de TC. Estas imágenes no detectaron variaciones de densidad ni variaciones anatómicas en la cabeza y cuerpo de los animales utilizados en esta investigación. En este estudio, aplicamos dos ventanas de TC ajustando los anchos de ventana (WW) y los niveles de ventana (WL) para apreciar la apariencia de las estructuras de TC: una configuración de ventana ósea (WW=1500; WL=300) y una configuración de ventana de tejido blando (WW=350; WL=40). Por otro lado, también se obtuvieron imágenes reconstruidas multiplanares dorsales y sagitales (MPR) para visualizar mejor otras estructuras anatómicas de los animales seleccionados utilizando un formato dicom 3D estándar (OsiriX MD, Ginebra, Suiza).

#### *Técnica de resonancia magnética (RM)*

Las imágenes de resonancia magnética se obtuvieron con un equipo Canon Vantage Elan de 1.5 T, utilizando secuencias T1W en un plano transversal (TR: 634 ms, TE: 10, FOV: 1809x829, grosor 2 mm, matriz 192x160), secuencias T2W en un plano transversal (TR: 4769 ms, TE: 120, FOV: 1809x829, grosor 2 mm, matriz 192x224), secuencias T2W en un plano dorsal (TR: 5271 ms, TE: 120, FOV: 1809x829, grosor 2.5 mm, matriz 240x192), y secuencias T2W en un plano sagital (TR: 4450 ms, TE: 120, FOV: 1809x829, grosor 2.9 mm, matriz 224x224). Las imágenes de RM se obtuvieron con un grosor de corte de 2.7-3.5 mm.

### **3. RESULTADOS Y DISCUSION**

Mediante el empleo de técnicas de imagen y las disecciones utilizadas se presentaron diversas figuras que revelaron las estructuras anatómicas que utilizamos para la consecución de nuestro objetivo y que sirven como ejemplo del método utilizado (Figuras 1-4). La Figura 1 comprende una recopilación de varias disecciones que muestran las principales estructuras dentro de la cavidad celómica y que forman parte del método tradicional de enseñanza de la anatomía en el Grado en Veterinaria. Las Figuras 2-3 consisten en cuatro imágenes para cada caso: A) una sección anatómica, B) una ventana de TC para los pulmones, C) una ventana de TC para tejido blando y D) una ventana de TC para hueso. Estas imágenes se presentan en una progresión rostrocaudal, comenzando desde los pulmones (Figura 2) hasta los niveles del hígado (Figura 3). Finalmente, la Figura 4 está compuesta por tres imágenes: A) una disección anatómica, B y C) imágenes de reconstrucción volumétrica MPR dorsal en ventana de TC para los pulmones en diferentes niveles.

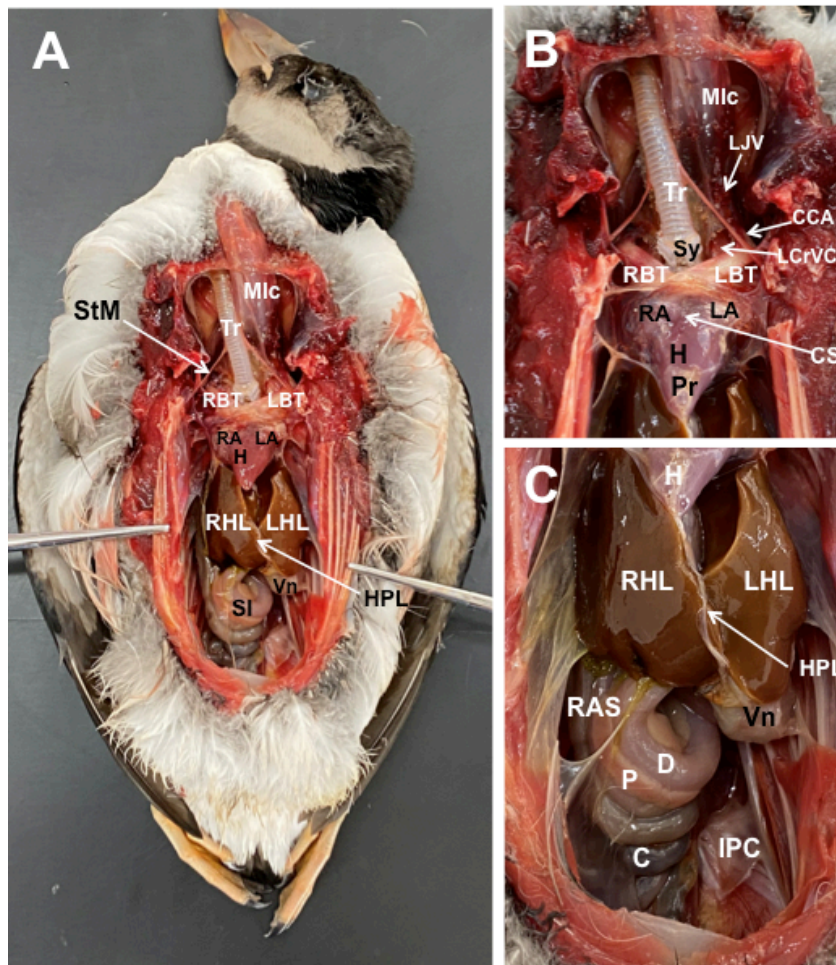


Figura 1. Imagen de disección de la cavidad celomica de *Fratercula arctica* (A), imágenes de las estructuras cardiovasculares (B), y digestivas (C).

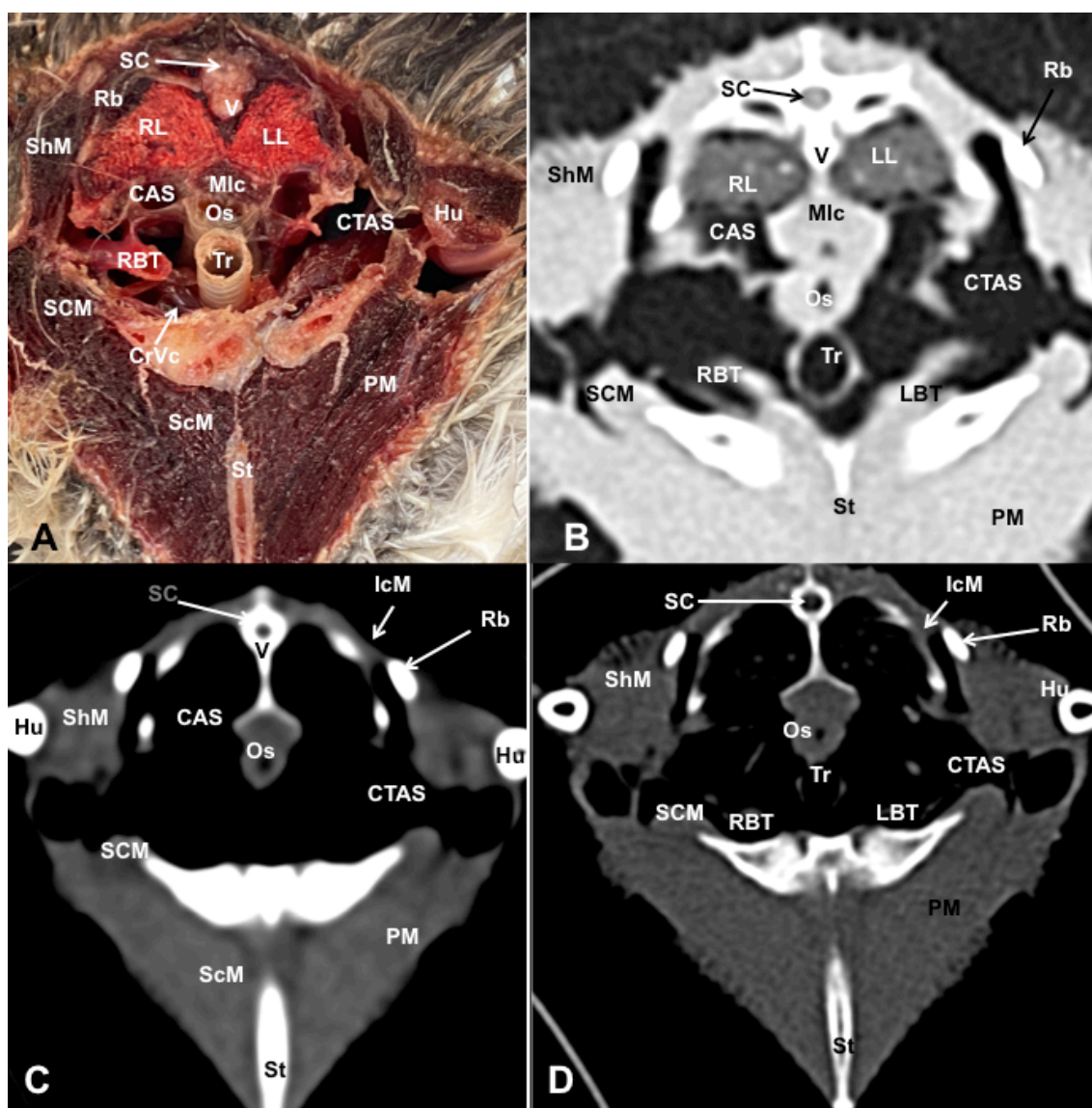


Figura 2. Corte anatómico transversal (A), imagen de TC en ventana pulmonar (B), imagen de TC en ventana de tejido blando (C), y hueso (D) correspondiente a Fratercula arctica a nivel de los pulmones.

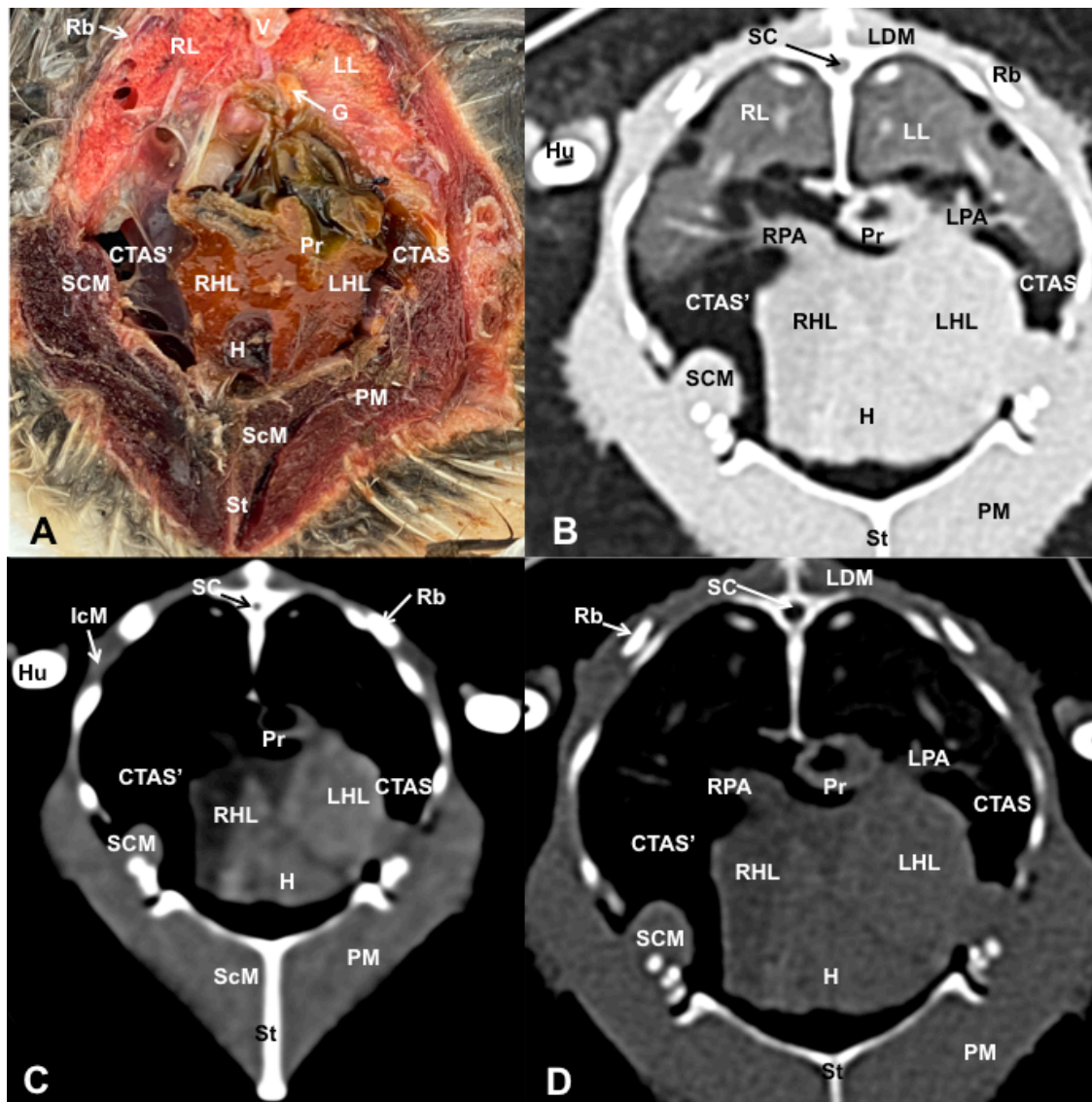


Figura 3. Corte anatómico transversal (A), imagen de TC en ventana pulmonar (B), imagen de TC en ventana de tejido blando (C), y hueso (D) correspondiente a Fractura arctica a nivel del hígado.

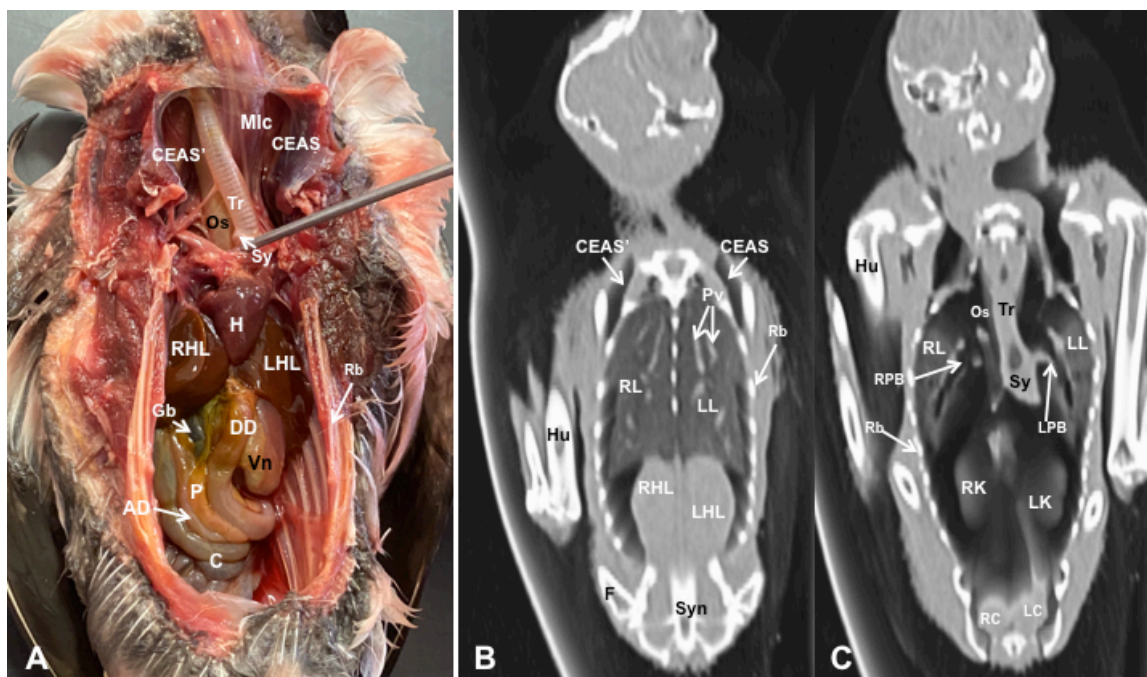


Figura 4. Imagen de disección de la cavidad celómica (A), imágenes por TC de volumen rendering TC en ventana pulmonar a nivel de los pulmones (B), y riñones (C).

En términos generales, los dos grupos mostraron un elevado nivel de aprendizaje y comprensión de la topografía y organización espacial de la región objeto de estudio. Esto se basó fundamentalmente en el porcentaje de respuestas correctas obtenidas por los alumnos de los dos grupos en el examen, donde 27 de los 32 alumnos obtuvieron resultados positivos. Sin embargo, cuando se evaluó el número de estudiantes aprobados en cada grupo, se observó una clara diferencia entre ambos grupos. De esta manera, en el grupo donde solo tuvieron acceso a los métodos tradicionales, 12 de los 16 alumnos superó dicha prueba (75% de los integrantes del grupo). Mientras que en el segundo grupo, donde además de los métodos tradicionales, se incluyeron las técnicas de imagen, el número de estudiantes aprobados llegó a 15 de 16 alumnos, lo que representa un 94%. Estos resultados parecen indicar que su inclusión como método para la enseñanza de anatomía puede ser muy beneficioso. Así, en los últimos años, la aplicación de estos procedimientos ha sido muy empleada para la enseñanza de asignaturas clínicas del grado de medicina o veterinaria [5,6,10,12,13]. A pesar de estos intentos, pocos han sido completamente aprovechados con fines educativos ya que en su mayoría carecían del nivel de detalle requerido para los estudiantes de veterinaria. El esfuerzo más notable fue el del Proyecto Animal Visible (VAP) [14], donde se creó una base de datos en 3D de alta resolución del tronco del perro con la intención de ser utilizada como base para futuras reconstrucciones interactivas. Si bien la calidad de este modelo ciertamente superó a la de los modelos anteriores, carecía de detalles de la anatomía craneal, en particular la vascularización, una región que es notoriamente difícil de comprender para los estudiantes.

En nuestro estudio, hemos presentado claramente una metodología de flujo de trabajo bien definida que podría ser exitosa en la creación de un recurso educativo y de entrenamiento completamente interactivo sobre diferentes regiones anatómicas. A través del uso de programas de software comúnmente disponibles, el flujo de trabajo presentado aquí, que combina la renderización en 3D, y los cortes en diferentes planos del espacio, ha resultado en un modelo anatómico de la cavidad celómica de las aves. Esto se ha logrado mediante el uso de datos reales de tomografía computarizada de un frailecillo Atlántico. Por lo tanto, hemos demostrado a través de nuestro flujo de trabajo cómo se puede crear un programa de formación innovador y con suerte, mejorar la comprensión de nuestros estudiantes de veterinaria en un campo de anatomía complejo, a través de un formato sencillo y atractivo.

Por último, creemos que este trabajo plantea el reto de cambiar el enfoque convencional para el estudio de la anatomía animal, que implica disecciones para visualizar órganos y estructuras internas, lo cual podría

experimentar una profunda transformación con la irrupción de estas técnicas de imagen que son las modalidades más avanzadas para identificar la anatomía normal y las anomalías en los órganos internos de animales vivos [9]. Estas modalidades son técnicas esenciales que permiten una mejor caracterización morfológica de las distintas cavidades al proporcionar vistas de secciones corporales desde múltiples planos tomográficos sin reposicionar al animal, lo que resulta en imágenes con una resolución anatómica excepcional sin superposición de tejidos, alto contraste entre diferentes estructuras y una excelente diferenciación de tejidos que facilita la visualización de las relaciones espaciales entre los órganos [15].

#### 4. CONCLUSIONES

En esta contribución se aplicaron diversas técnicas de diagnóstico por imagen con el fin de observar el grado de aprendizaje cuando se comparaban con métodos de enseñanza tradicionales. En base a nuestros resultados, creemos que dichas técnicas fomentan la satisfacción del estudiante y el compromiso con su proceso de aprendizaje, creando un ambiente educativo cómodo, y en consonancia con lo que podrán ver en su rutina profesional. Además, una investigación centrada en el impacto de esta aplicación en estudiantes con bajas habilidades espaciales sería de gran valor para respaldar su lugar en el plan de estudios. Sin embargo, es importante destacar la necesidad de seguir profundizando en este estudio, utilizando un mayor número de estudiantes para obtener resultados más concluyentes.

#### 5. REFERENCIAS

- [1] Sugand K, Abrahams P, Khurana A. The Anatomy of Anatomy: A Review for its Modernisation. *Anatomical Sciences Education* 3(2): 83–93 (2010).
- [2] Elizondo-Omaña R.E., Guzmán-López S. and De Los Angeles García-Rodríguez M. Dissection as a teaching tool: past, present, and future. *The Anatomical Record Part B: The New Anatomist* 285(1): 11–15 (2005).
- [3] Turney B.W. Anatomy in a modern medical curriculum. *Ann R Coll Surg Engl* 89: 104–107 (2007).
- [4] Patel KM, Moxham BJ. The relationships between learning outcomes and methods of teaching anatomy as perceived by professional anatomists. *Clinical Anatomy* 21: 182–189 (2008).
- [5] 3D4Medical. <http://www.3d4medical.com> [Accessed 11th July 2023]
- [6] Anatomy.TV <https://www.anatomy.tv> [Accessed 12th July 2023]
- [7] BodyViz <http://www.bodyviz.com> [Accessed 11th June 2022]
- [8] Robertson D, Johnston W, Nip W. The Whole Frog Project. The Second International WWW Conference 1994. Available: <http://froggy.lbl.gov/papers/WWW.94/paper.html> [Accessed 11th July 2022]
- [9] Toga AW, Santori EM, Hazani R, Ambach K. A 3D digital map of the rat brain. *Brain Research Bulletin* 38(1): 77–85 (1995).
- [10] Martinelli MJ, Kuriashkin IV, Carragher BO, Clarkson RB, Baker GJ. Magnetic Resonance Imaging of the Equine Metacarpophalangeal Joint: Three Dimensional Reconstruction and Anatomic Analysis. *Veterinary Radiology and Ultrasound* 38(3): 193–199 (1997).
- [11] Czeibert K, Baksa G, Grimm A, Nagy SA, Kubinyi E, Petneházy Ö. MRI, CT and high resolution macro-anatomical images with cryosectioning of a Beagle brain: Creating the base of a multimodal imaging atlas. *PLoS One* 14(3):e0213458 (2019).
- [12] Blázquez-Llorca L, Morales de Paz L, Martín-Orti R, Santos-Álvarez I, Fernández-Valle ME, Castejón D, García-Real MI, Salgüero-Fernández R, Pérez-Lloret P, Moreno N, Jiménez S, Herrero-



Fernández MJ, González-Soriano J. The Application of 3D Anatomy for Teaching Veterinary Clinical Neurology. *Animals (Basel)* 13(10):1601 (2023).

[13] Ziegler A, Faber A, Mueller S, Bartolomaeus T. Systematic comparison and reconstruction of sea urchin (Echinoidea) internal anatomy: a novel approach using magnetic resonance imaging. *BMC Biol* 6, 1–15 (2008).

[14] Bottcher P, Maierl J, Schiemann T, Glaser C, Weller R, Hoehne KH, et al. The Visible Animal Project: A Three Dimensional, Digital Database for High Quality Three Dimensional Reconstruction. *Vet Radiol Ultrasound* 40(6): 611–616 (1999).

[15] Arencibia, A.; Corbera JA.; Ramírez, G.; Díaz-Bertrana, ML.; Pitti, L.; Morales, M.; Jaber, JR. Anatomical Assessment of the Thorax in the Neonatal Foal Using Computed Tomography Angiography, Sectional Anatomy, and Gross Dissections. *Animals* 2020, 10(6):1045.