

Proposal of Design and Architecture of a Digital Atlas to Practice of Veterinary Pathology

Martin Avila Dimate¹ ; Ángel Cruz-Roa² ; Diana M. Cardona Román³ 

^{1,2,3}Universidad de los Llanos, Colombia, martin.avila.dimate@unillanos.edu.co¹, aacruz@unillanos.edu.co²,
dcardona@unillanos.edu.co³

Abstract– *In veterinary medicine, the study of histology and pathology is essential for understanding normal and pathological biological processes, as well as for developing key diagnostic skills in oncology and pathological anatomy. However, access to physical histological preparations depends on specialized infrastructure, the condition of the samples, and teaching support, which limits independent learning and open access to knowledge. The digitization of histological slides using Whole Slide Imaging (WSI) technology allows some of these barriers to be overcome, replicating the microscope experience with high fidelity. However, the size of the files poses challenges for storage, organization, and visualization, especially in institutions with limited technological resources. To address this problem, a data model and architecture were developed, and mockups of a digital atlas for veterinary pathology practice were created. This tool will enable the efficient uploading, storage, and visualization of high-resolution histological samples, integrating navigation, search, and interactive tagging functionalities by systemic classification.*

Keywords-- *Veterinary pathology, digital atlas, histology, data architecture, WSI.*

Propuesta de Diseño y Arquitectura de un Atlas Digital para la Práctica de la Patología Veterinaria

Martin Avila Dimate¹ ; Ángel Cruz-Roa² ; Diana M. Cardona-Román³ 

^{1,2,3} Universidad de los Llanos, Colombia, martin.avila.dimate@unillanos.edu.co¹, aacruz@unillanos.edu.co², dcardona@unillanos.edu.co³

Resumen— En la medicina veterinaria, el estudio de la histología y la patología es esencial para comprender procesos biológicos normales y patológicos, así como para desarrollar competencias diagnósticas clave en oncología y anatomía patológica. A pesar de ello, el acceso a preparaciones histológicas físicas depende de infraestructura especializada, del estado de conservación de las muestras y del acompañamiento docente, lo que limita el aprendizaje autónomo y el acceso abierto al conocimiento. La digitalización de láminas histológicas mediante tecnología Whole Slide Imaging (WSI) permite superar parte de estas barreras, replicando la experiencia del microscopio con alta fidelidad. No obstante, el peso de los archivos plantea retos de almacenamiento, organización y visualización, especialmente en instituciones con recursos tecnológicos limitados. Para abordar esta problemática se desarrolló la propuesta de un modelo de datos, la arquitectura y se elaboraron maquetas de un atlas digital para la práctica de la patología veterinaria. Esta herramienta permitirá la carga, almacenamiento y visualización eficiente de muestras histológicas de alta resolución, integrando funcionalidades de navegación, búsqueda y etiquetas interactivas por clasificación sistémica.

Palabras clave-- Patología veterinaria, atlas digital, histología, arquitectura de datos, WSI.

I. INTRODUCCIÓN

La patología veterinaria, en particular la histopatología, es esencial en la formación clínica y diagnóstica de los médicos veterinarios, ya que permite identificar alteraciones tisulares asociadas a procesos inflamatorios, degenerativos o neoplásicos. La observación de cortes histológicos teñidos proporciona una comprensión detallada de la estructura y función de los tejidos, tanto en estado sano como patológico, lo cual es clave para el diagnóstico preciso [1].

El manejo tradicional de preparaciones histológicas en formato físico conlleva retos logísticos y pedagógicos importantes. Las láminas suelen almacenarse en cajas o archivadores siguiendo criterios variables entre instituciones por órgano, sistema, patología o especie animal, lo que puede dificultar el acceso eficiente a casos específicos [2]. Esta organización manual, aunque funcional, no escala fácilmente cuando el volumen de material crece, y con frecuencia se ve afectada por pérdidas, deterioro de las muestras o falta de

estandarización en el etiquetado [3],[4]. Esta fragmentación impide construir una visión integral y navegable del conocimiento, y limita la posibilidad de conectar diferentes niveles de información (macroscópica, microscópica, diagnóstica, etc.), como sería deseable en entornos de aprendizaje autónomo o investigación colaborativa [5].

La digitalización de láminas histológicas mediante escáneres de alta resolución permite tener imágenes completas de portaobjetos, o en inglés *Whole Slide Imaging* (WSI), ésta digitalización no solo ha transformado la forma en que se accede, analiza y comparte la información microscópica en contextos médicos y veterinarios. Además, tener láminas digitales en un repositorio facilita su almacenamiento sin degradación de la tinción, la búsqueda jerárquica y la comparación entre casos, contribuyendo significativamente a la estandarización del diagnóstico [6],[7],[8]. Al mismo tiempo, la incorporación de repositorios digitales facilita la documentación de lesiones raras en especies domésticas y silvestres, aportando al conocimiento en medicina veterinaria comparada [9].

Sin embargo, este tipo de imágenes tiene un peso digital considerable (entre 500 MB y 5 GB por lámina) dependiendo de la cantidad de tejido que cada lámina tenga, lo que impone desafíos técnicos para su almacenamiento, organización, visualización y gestión en línea, especialmente en instituciones que carecen de infraestructuras robustas o servidores dedicados [3],[10].

Además, la integración con bases de datos relacionales y no relacionales facilita el manejo estructurado y flexible de metadatos vinculados a cada imagen, como especie, órgano, diagnóstico y técnica de tinción. Este tipo de sistemas debe contemplar una adecuada organización de los contenidos, jerarquías de navegación, mecanismos de búsqueda eficientes y tiempos de carga optimizados para ofrecer una experiencia interactiva fluida [2],[10].

En este sentido, es importante comprender que muchas de las plataformas web modernas se construyen sobre arquitecturas bien definidas que permiten estructurar y gestionar el sistema de manera eficiente. Una de las más

comunes es la arquitectura de tres componentes Modelo-Vista-Plantilla (MVT): el modelo, encargado de gestionar los datos persistentes como imágenes, metadatos y registros de usuario; la vista, que contiene la lógica de negocio y procesa las solicitudes del usuario coordinando el acceso a los datos; y la plantilla, que define la interfaz presentada al usuario en el navegador. Este enfoque modular facilita el mantenimiento, la escalabilidad y la reutilización de componentes [11].

En ámbitos universitarios, los recursos para almacenar y conservar estas colecciones de láminas son limitados, por lo que surge la pregunta de investigación ¿Cómo debe ser la arquitectura de un sistema de información que gestione WSI de patologías de especies animales en ámbitos universitarios con recursos limitados? Para responder a esta pregunta, el presente artículo propone el diseño, la arquitectura y el esquema relacional de un atlas digital, sin incluir aún su despliegue en producción ni su evaluación con usuarios finales.

II. ANTECEDENTES

A. Práctica de la patología veterinaria

La práctica de la patología en especies animales, dentro del ámbito educativo, tiene como finalidad orientar al estudiante y al médico veterinario en formación clínica en la adquisición de competencias para el reconocimiento, la selección y la interpretación de las pruebas de laboratorio diagnóstico de uso más habitual [12]. Asimismo, la exposición sistemática a casos de diversa complejidad permite correlacionar los hallazgos morfológicos observados en la lámina con los signos clínicos del paciente, desarrollando así el razonamiento diagnóstico integrador que exige la práctica veterinaria [13].

Las muestras destinadas a un estudio histopatológico se obtienen con el propósito de evaluar los tejidos mediante microscopía e identificar alteraciones estructurales compatibles con procesos patológicos. En este contexto, el patólogo analiza fragmentos tisulares procedentes de biopsias, resecciones quirúrgicas o necropsias, los cuales se someten a procedimientos de procesamiento y tinción con colorantes específicos. Posteriormente, las preparaciones se examinan al microscopio para reconocer patrones de cambio morfológico característicos y asociarlos con enfermedades específicas [14].

La conservación de láminas con muestras preparadas se debe hacer en condiciones de temperatura estables para que se mantengan secas, limpias, sin polvo y ordenadas. Se guardan en cajas archivadoras de portaobjetos (ver Fig. 1), clasificadas para su estudio posterior, además se recomienda utilizar primero las láminas más antiguas para evitar el envejecimiento del vidrio o decoloración de la muestra.



Fig. 1 Sistema de almacenamiento físico de láminas histopatológicas.

B. Análisis comparativo de colecciones y atlas digitales

Existen diversos tipos de colecciones y atlas digitales que fueron considerados en su aplicabilidad al ámbito veterinario y su valor como referencia para esta propuesta. A continuación en la Tabla I se presenta una comparativa de dichos atlas en donde se sintetizan sus ventajas y desventajas.

TABLA I
 COMPARATIVA DE COLECCIONES Y ATLAS DIGITALES

Atlas/Colección	Ventajas	Desventajas
1. Virtual Pathology at the University of Leeds - University of Leeds https://www.virtualpathology.leeds.ac.uk/	- Incluye imágenes tipo WSI de alta resolución. - Usa visores avanzados para navegar imágenes. - Excelente clasificación por sistemas y casos. - Sitio moderno y bien estructurado.	- Enfocado en patología humana. - No orientado a veterinaria. - No permite subir nuevos casos desde la vista del usuario consultor.
2. Minnesota Veterinary Anatomy Courseware Web Site - University of Minnesota https://vanat.ahc.umn.edu/index.html	- Específico para veterinaria. - Clasificación clara por sistemas (nervioso, respiratorio, etc.). - Contenido educativo orientado a estudiantes. - Interfaz sencilla.	- Enfocado más en histología, no en patología. - No incluye WSI navegables (no acercamiento profundo tipo OpenSeadragon). - Diseño antiguo (solo html).
3. Genomic Data Commons (GDC) Data Portal - National Cancer Institute https://portal.gdc.cancer.gov/	- Centraliza grandes volúmenes de datos genómicos, clínicos e histológicos. - Acceso abierto a información estandarizada y validada científicamente. - Diseño innovador y útil para la visualización de datos	- Está enfocado en cáncer humano, por lo que no es aplicable directamente a la patología veterinaria. - La interfaz, aunque completa, puede ser compleja para usuarios sin experiencia en análisis de datos biomédicos.

	estadísticos de los casos.	- Requiere conocimientos avanzados para aprovechar al máximo sus funciones (bioinformática, estadística, análisis genómico).
--	----------------------------	--

Fuente: Elaboración propia con base en los sitios web visitados.

III. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO

A. Diseño e implementación

Como punto de partida de la actividad metodológica se propone utilizar la metodología de desarrollo basada en funcionalidades FDD (*desarrollo guiado por funcionalidades*), la cual se centra en la construcción de software por medio de la entrega de características (funcionalidades) en iteraciones cortas [15].

La metodología FDD fue seleccionada frente a enfoques como Scrum dado que permite que un único desarrollador organice el trabajo en torno a una lista de funcionalidades priorizadas, avanzando de forma ordenada con revisiones puntuales [15]. Metodologías como Scrum, diseñadas para equipos multidisciplinarios con roles definidos (responsable del producto, Scrum Master, desarrolladores), no resultan aplicables en un proyecto de desarrollo unipersonal con supervisión académica periódica [16].

El flujo de trabajo se organiza en cinco fases clave, tal como se muestra en la Fig 2: las tres primeras de carácter secuencial (análisis del dominio, diseño del sistema y experiencia de usuario y planificación de funcionalidades) corresponden a la planificación y las dos finales de naturaleza iterativa (desarrollo modular y validación con usuarios y mejora iterativa) que corresponden con la construcción del prototipo.

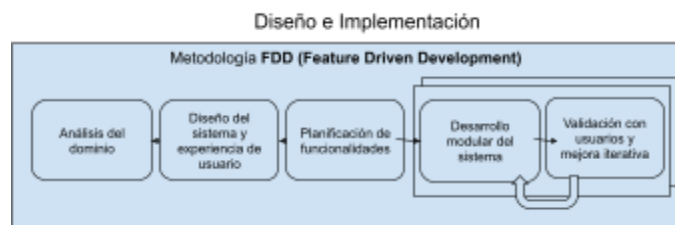


Fig 2. Metodología de desarrollo FDD (*desarrollo guiado por funcionalidades*) para la implementación de un atlas digital para la práctica de la patología veterinaria.

B. Infraestructura tecnológica y herramientas de diseño

Para garantizar la escalabilidad y el rendimiento del atlas digital, se ha seleccionado una pila tecnológica basada en una arquitectura desacoplada. La capa de servidor se implementará en Python utilizando el marco de trabajo Django, encargado de la lógica de negocio y la exposición de servicios mediante una API. Por su parte, la interfaz del usuario se desarrollará con Next.js, permitiendo una visualización adaptativa y optimizada para la navegación del usuario.

La persistencia de la información se gestiona a través de PostgreSQL, aprovechando su robustez para el manejo de metadatos complejos. Como avance fundamental en esta fase, se ha consolidado el esquema relacional mediante el uso de DBSchema, herramienta que ha permitido un refinamiento iterativo de las entidades, facilitando la adición, modificación y documentación de atributos en las tablas según los requerimientos del dominio.

Para la visualización de las muestras histológicas se integra OpenSeadragon, un visor de código abierto que permite el manejo de imágenes WSI mediante navegación jerárquica. Finalmente, la experiencia de usuario y la interfaz han sido prototipadas en Figma, donde se elaboraron maquetas de alta fidelidad que sirven como hoja de ruta para la implementación de los componentes de la vista del usuario.

C. Requerimientos del sistema

Los requerimientos del sistema fueron identificados a partir del análisis del dominio (Fig. 2). Se definen los siguientes requerimientos funcionales y no funcionales para garantizar la usabilidad del atlas digital.

Requerimientos funcionales:

- RF1. Gestión de usuarios: Registro, inicio de sesión, roles (Curador, usuario final, administrador) con permisos diferenciados.
- RF2. Carga de contenido: Subida de imágenes WSI histológicas/patológicas con descripciones textuales asociadas, metadatos (especie, patología, fecha).
- RF3. Visualización interactiva: Navegación multiescala (vista panorámica y acercamiento), anotaciones dinámicas.
- RF4. Búsqueda y navegación: Filtros por especie, tipo patológico, complejidad; búsqueda de texto completo en descripciones.
- RF5. Gestión de datos con operaciones CRUD (Crear, Leer, Actualizar y Eliminar)

Requerimientos no funcionales:

- RNF 1. Rendimiento
- RNF 2. Escalabilidad (Docker)
- RNF 3. Autenticación
- RNF 4. Usabilidad: Interfaz adaptativa
- RNF 5. Accesibilidad

- RNF 6. Disponibilidad
- RNF 7. Compatibilidad entre navegadores

Con el fin de orientar la validación futura del sistema, se establecen de forma preliminar los siguientes criterios de evaluación: (i) usabilidad, valorada mediante la escala de usabilidad del sistema (SUS) [17][18] aplicada a estudiantes y docentes que interactúen con el prototipo; (ii) rendimiento, evaluado a través de los tiempos de carga y navegación de imágenes WSI en condiciones de ancho de banda limitado; (iii) aceptación por parte de los usuarios, evaluada mediante encuestas de percepción dirigidas a curadores y usuarios finales [19]. Estos criterios serán aplicados en fases posteriores del proyecto, una vez el sistema sea desplegado en un entorno de pruebas.

IV. RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados obtenidos en la fase de diseño y prototipado del sistema, organizados en dos componentes: el esquema relacional y la arquitectura del atlas digital, y los prototipos de interfaz de usuario elaborados para los roles de curador y usuario final.

A. Diseño del sistema

El esquema relacional resultante implementa una estructura relacional normalizada que soporta la organización jerárquica de la información anatómica y patológica del atlas. La base conceptual se construye a partir de las entidades Especie, Género, Sistema, Órgano y Diagnóstico, permitiendo clasificar los casos de manera taxonómica y clínica. Cada órgano puede asociarse a múltiples diagnósticos, los cuales a su vez se vinculan a una muestra específica, garantizando coherencia semántica y navegación estructurada dentro del sistema.

La entidad central en el modelo lógico de datos es “*images*”, que representa la lámina histológica digital asociada a una muestra y a una estructura anatómica determinada. La información técnica del archivo se gestiona de manera independiente a través de *metadata_imagen*, donde se almacenan atributos como formato, resolución, aumento y ruta de almacenamiento para la gestión independiente de atributos técnicos de cada lámina (ver Fig 3).

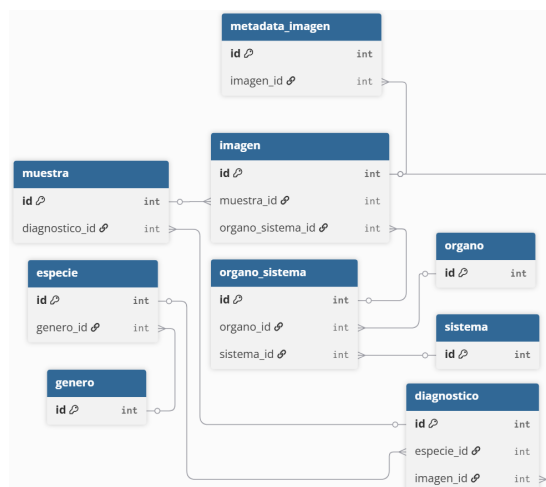


Fig 3. Modelo de datos relacional del atlas digital. Se ilustran las entidades principales y sus relaciones (especie, género, sistema, órgano, diagnóstico, muestra e imagen).

El modelo de datos incorpora un componente de enriquecimiento académico y control colaborativo mediante entidades de descripción global y local, que permiten asociar anotaciones generales o regiones específicas dentro de la imagen digital. Adicionalmente, el sistema integra un esquema de usuarios, roles y permisos, junto con mecanismos de revisión e histórico de cambios, garantizando trazabilidad, control de acceso y soporte para trabajo colaborativo en entornos académicos.

La arquitectura de los tres componentes adoptada para el atlas responde a los requerimientos que impone el manejo de imágenes WSI. Al separar cada componente (datos, lógica, interfaz de usuario) se facilita el desarrollo escalable e independiente según se requiera. Esto resulta relevante para imágenes histológicas cuyo peso puede superar los cinco GB por lámina, mientras que el lado del usuario solicita únicamente los fragmentos de imagen necesarios para la navegación multiescala activa mediante el visor OpenSadrion, el lado del servidor gestiona la lógica de teselación y entrega progresiva sin saturar la interfaz del usuario. Esta separación también reduce el acoplamiento entre módulos, facilitando el mantenimiento del sistema y su eventual extensión con nuevos componentes, sin afectar los componentes existentes, tal como se ilustra en la Fig. 4.

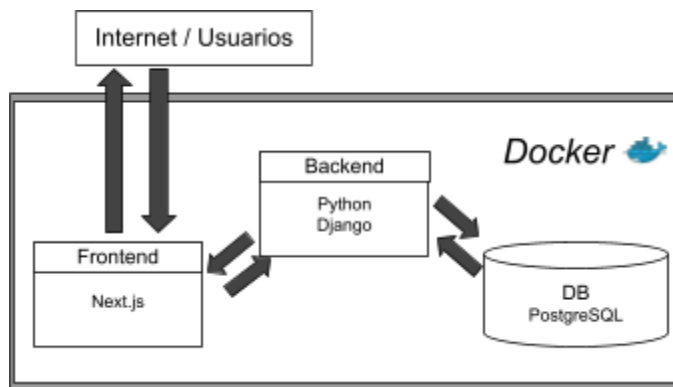


Fig 4. Arquitectura de tres componentes (MVT) propuesta para el atlas digital. Se representa la separación entre la interfaz del usuario (Next.js), la lógica del negocio (Django) y la gestión de datos (PostgreSQL).

B. Desarrollo del prototipo

Se han desarrollado prototipos funcionales que validan los flujos de trabajo para dos roles críticos: el curador (docente/patólogo) y el usuario final (estudiante).

Se diseñó una interfaz dedicada (Fig. 5) para usuarios con permisos elevados. Este panel de administración permite la carga de láminas y, fundamentalmente, la gestión de metadatos estructurados. Desde aquí, el especialista puede crear y editar colecciones, así como alimentar los catálogos de géneros, especies, sistemas y órganos. Esta estructuración manual de los datos es la que alimenta posteriormente el motor de búsqueda basado en atributos, permitiendo que el sistema filtre información compleja de manera instantánea.

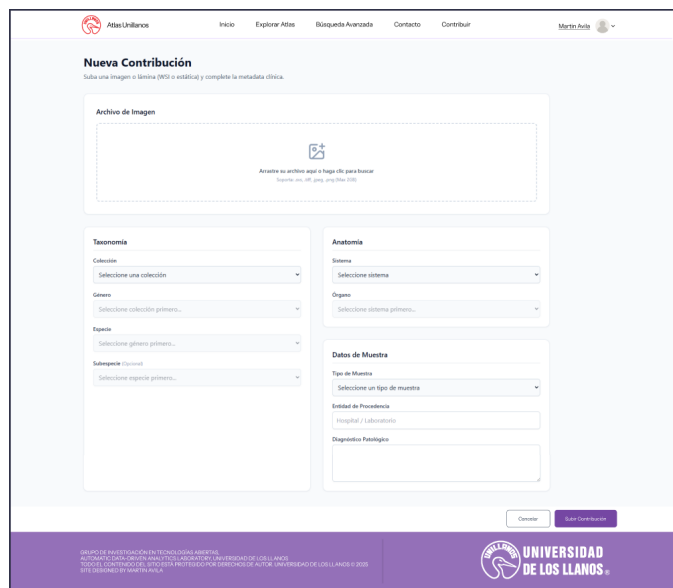


Fig 5. Interfaz de contribución del curador. Permite la gestión taxonómica y anatómica (géneros, especies, sistemas y órganos) para alimentar los filtros de búsqueda del atlas.

La interfaz de visualización (Fig. 6) integra el componente

OpenSeadragon para la navegación profunda de las muestras. A diferencia de un visor convencional, este diseño incorpora un botón para editar la información de la lámina mediante operaciones CRUD para una anotación o un comentario nuevo.

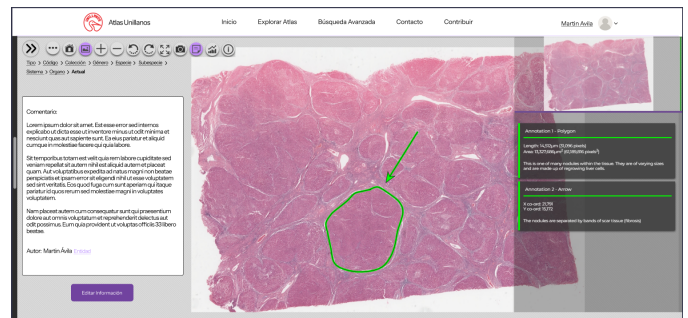


Fig 6. Interfaz del visor de patología. Integra OpenSeadragon para la navegación multiescala de láminas WSI, con panel lateral de descripciones globales y locales, y controles de edición disponibles para usuarios con permisos de curador.

V. CONCLUSIONES

La propuesta de la implementación de este atlas digital presenta una respuesta tecnológica a la necesidad de modernizar la enseñanza de la patología veterinaria, superando las limitaciones logísticas del manejo tradicional de muestras físicas. Al digitalizar las láminas mediante tecnología *WSI*, se elimina la dependencia de la infraestructura física y el riesgo de deterioro de las muestras, permitiendo un acceso abierto y autónomo al conocimiento histopatológico. Esta transición no solo preserva el material biológico, sino que democratiza el aprendizaje al permitir que múltiples usuarios consulten casos de alta complejidad de forma simultánea y remota.

La arquitectura MVT propuesta junto con una pila tecnológica basada en Django y Next.js, ofrece una solución robusta y con capacidad de ser escalable para instituciones con recursos limitados. El uso del visor OpenSeadragon es fundamental para gestionar el alto peso digital de las imágenes WSI, que pueden alcanzar los 5 GB, garantizando una navegación fluida mediante técnicas de teselación y visualización multiescala. De este modo, se replica la fidelidad del microscopio físico en un entorno virtual eficiente.

El diseño de un modelo de datos relacional normalizado permite una organización taxonómica y clínica rigurosa, vinculando especies, órganos y diagnósticos de manera coherente. Este sistema no solo facilita la búsqueda y recuperación de información, sino que también establece una base sólida para el trabajo colaborativo entre docentes y estudiantes mediante la gestión de roles, permisos y anotaciones interactivas. En conjunto, la propuesta sienta las bases para un repositorio digital que fortalezca la formación diagnóstica en medicina veterinaria comparada.

Como trabajo futuro, se planea realizar pruebas de usabilidad con estudiantes y patólogos para validar la interfaz de las maquetas y ajustar los flujos de carga de contenido. Asimismo, se contempla el despliegue del sistema utilizando contenedores Docker para asegurar su estabilidad en diversos entornos.

En conjunto, los componentes del MVT (interfaz, lógica del negocio y gestión de datos) constituyen una contribución técnica concreta y documentada que sienta las bases para el desarrollo e implementación del atlas. Desde el punto de vista educativo, la propuesta representa una alternativa viable para modernizar la enseñanza de la patología veterinaria en instituciones con recursos tecnológicos limitados, ampliando el acceso a material histopatológico de alta resolución. La naturaleza modular y abierta del diseño facilita además su adopción y adaptación en otros contextos universitarios con necesidades similares.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al proyecto código C01-01-2025-003 de la DGI / Unillanos, así como al semillero Automatic Data-Driven Analytics Laboratory (Adalab) y al Laboratorio de Software e Infraestructura Computacional Especializada de la Universidad de los Llanos por proveer los recursos de infraestructura tecnológica.

REFERENCIAS

- [1] M. F. Stidworthy *et al.*, "Virtual microscopy in veterinary pathology: A pilot study," *J. Vet. Med. Educ.*, vol. 38, no. 4, pp. 398–406, 2011.
- [2] C. L. Borgman, *Scholarship in the Digital Age: Information, Infrastructure, and the Internet*. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2007.
- [3] M. Nazim, "Managing digital library content: Issues and challenges," *Int. Inf. Lib. Rev.*, vol. 41, no. 1, pp. 47–54, 2009.
- [4] M. Terras *et al.*, *Defining Digital Humanities: A Reader*. Ashgate Publishing, 2013.
- [5] R. S. Beaman and N. Cellinese, "Mass digitization of scientific collections: New opportunities to transform the use of biological specimens and underwrite biodiversity science," *ZooKeys*, vol. 209, pp. 7–17, 2012.
- [6] S. Mukhopadhyay *et al.*, "Whole slide imaging versus microscopy for primary diagnosis in surgical pathology: A multicenter blinded randomized noninferiority study of 1992 cases (Pivotal Study)," *Am. J. Surg. Pathol.*, vol. 42, no. 1, pp. 39–52, 2018, doi: 10.1097/PAS.0000000000000948.
- [7] F. Aeffner *et al.*, "Introduction to digital image analysis in whole-slide imaging: A white paper from the Digital Pathology Association," *J. Pathol. Inform.*, vol. 10, no. 1, p. 9, 2019, doi: 10.4103/jpi.jpi_82_18.
- [8] L. Pantanowitz *et al.*, "Review of the current state of whole slide imaging in pathology," *J. Pathol. Inform.*, vol. 2, p. 36, 2011.
- [9] O. Zaiets, A. Klak, and I. Pyvovarova, "Digital pathology in veterinary medicine: Opportunities and challenges," *Ukr. J. Vet. Agric. Sci.*, vol. 5, no. 1, pp. 42–48, 2022.
- [10] S. Swaminathan, "Digital libraries: Challenges in developing countries," *IFLA J.*, vol. 38, no. 2, pp. 125–132, 2012.
- [11] Django Software Foundation, "FAQ: General — What does 'MTV' stand for?", Django Documentation, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://docs.djangoproject.com/en/stable/faq/general/#django-appears-to-be-a-mvc-framework-but-you-call-the-controller-the-view-and-the-view-the-template-how-come-you-don-t-use-the-standard-names>
- [12] A. W. Newman, C. A. Moller, S. J. M. Evans, A. Viall, K. Baker, and D. M. W. Schaefer, "American Society for Veterinary Clinical Pathology—Recommended Clinical Pathology Competencies for Graduating Veterinarians," *J. Vet. Med. Educ.*, vol. 49, no. 5, pp. 641–649, 2022, doi: 10.3138/jvme-2021-0004.
- [13] G. Ferlini Agne, A. N. Carr, R. N. Kirkwood, and K. R. Petrovski, "Assisting the Learning of Clinical Reasoning by Veterinary Medical Learners with a Case Example," *Vet. Sci.*, vol. 11, no. 9, p. 433, 2024, doi: 10.3390/vetsci11090433.
- [14] Departamento de Patología, *Manual de Prácticas de Anatomopatología*, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México, 2024. [En línea]. Disponible en: https://fmvz.unam.mx/fmvz/licenciatura/coepa/archivos/manuales_2013/M anual_Practicas_Profundizacion_Patologia.pdf
- [15] S. R. Palmer and J. M. Felsing, *A Practical Guide to Feature-Driven Development*. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice Hall, 2002, ISBN: 978-0-13-067615-3.
- [16] K. Schwaber and J. Sutherland, *The Scrum Guide: The Definitive Guide to Scrum: The Rules of the Game*, Scrum.org, nov. 2020. [En línea]. Disponible en: <https://scrumguides.org/docs/scrumguide/v2020/2020-Scrum-Guide-US.pdf>
- [17] J. Brooke, "SUS: A 'quick and dirty' usability scale," en *Usability Evaluation in Industry*, P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester, e I. L. McClelland, Eds. London, UK: Taylor & Francis, 1996, pp. 189–194.
- [18] A. Bangor, P. T. Kortum, and J. T. Miller, "An empirical evaluation of the System Usability Scale," *Int. J. Hum.-Comput. Interact.*, vol. 24, no. 6, pp. 574–594, 2008, doi: 10.1080/10447310802205776.
- [19] K. Orfanou, N. Tselios, and C. Katsanos, "Perceived usability evaluation of learning management systems: Empirical evaluation of the System Usability Scale," *Int. Rev. Res. Open Distrib. Learn.*, vol. 16, no. 2, pp. 227–246, 2015, doi: 10.19173/irrodl.v16i2.1955.