

CONOCIENDO MASTOFAUNA: USO DE MODELOS 3D Y REALIDAD AUMENTADA PARA LA APROXIMACIÓN A LA MORFOLOGÍA DE CRÁNEOS CON PROFESORES DE BIOLOGÍA EN FORMACIÓN

VALENTINA
PILLIMUE
HENAO



UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA
LICENCIATURA EN BIOLOGÍA
BOGOTÁ
2025



UNIVERSIDAD
PEDAGÓGICA
NACIONAL

**Conociendo Mastofauna: Uso De Modelos 3D Y Realidad Aumentada Para La
Aproximación A La Morfología De Cráneos Con Profesores De Biología En
Formación**

**Trabajo de grado como requisito parcial para optar por el título de
Licenciada en Biología**

**Presentado por:
Valentina Pillimue Henao
Cod. 2021210047**

**Dirigido por:
Jairo Robles-Piñeros PhD.**

**Grupo de Investigación
INTERCITEC-UPN**

**UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA NACIONAL
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA
PROGRAMA LICENCIATURA EN BIOLOGÍA
BOGOTÁ
2025**

DEDICATORIA

A lo largo de esta aventura, solo me queda recordar las risas, los momentos de angustia y cada una de las experiencias que han dado forma a mi carrera como licenciada. Agradezco profundamente a todas las personas que estuvieron conmigo en cada instante: cuando reía, cuando lloraba o cuando me propuse culminar este camino, que es apenas el primero de muchos. Porque sé que, sin su apoyo, no habría llegado hasta aquí ni podría soñar con lo que aún está por venir.

En primer lugar, dedico este logro a mis padres, Nelson René Pillimue Varela y Luz Estella Henao Marín. Papi y mami, quiero demostrarles que su ejemplo de fuerza, resiliencia y sabiduría me ha traído hasta este momento. Perdónenme por todas las veces que, entre lágrimas, les dije que tenía miedo de no lograrlo. Ustedes, con su amor y dedicación, me ayudaron a levantarme y fueron mi soporte en los momentos más difíciles. Espero que este logro sea una de las razones por las cuales puedan sentirse orgullosos de su “ratoncita”.

A mi hermano, mi manito, gracias por hacerme reír cuando el estrés me consumía, por escucharme, por ayudarme a tomar decisiones con cabeza fría y recordarme que, a veces, es necesario detenerse, respirar y seguir adelante. Prometo seguir creciendo para que te sientas siempre orgulloso de tu hermana, y que sepas que yo también estaré aquí para apoyarte en cada uno de tus logros.

Durante mi recorrido académico conocí a muchas personas que transformaron mi manera de ver el mundo, mis pensamientos y mi forma de afrontar las adversidades. A todas ellas, gracias por acompañarme y hacer de este viaje de autodescubrimiento una experiencia más ligera y significativa.

Entre esas personas, quiero dedicar unas palabras a mi mejor amigo, Luis. Eres quien, a pesar de las peleas, los disgustos, las risas y los llantos, siempre estuvo ahí: apoyándome, acompañándome en mis locuras y siendo esa voz de la razón cuando estaba a punto de explotar. Eres una luz en mi camino, la persona que viene a mi mente cuando pienso en la palabra “felicidad”. Gracias por dejarme ser parte de tu vida y por enseñarme el verdadero significado de la amistad.

Asimismo, quiero mencionar con especial cariño a las amistades que llegaron en la etapa final de esta carrera: Óscar, Yen, Nata y Valentina. Aunque el tiempo compartido fue corto, su presencia dejó una huella profunda en mi corazón. En poco tiempo se convirtieron en un refugio de risas, comprensión y apoyo genuino. Gracias por acompañarme en este cierre de ciclo, por su compañía sincera y por recordarme que las amistades verdaderas no dependen de los años, sino de la conexión y el cariño que se construye día a día. Espero poder seguir compartiendo la vida con ustedes, celebrar juntos los nuevos comienzos y seguir contando con su amistad, apoyo y amor en los caminos que aún nos quedan por recorrer.

Por último, quiero agradecerle a mi pareja, Leandro. Mi amor, no habría llegado tan lejos en esta travesía sin ti. Eres mi faro cuando me siento perdida, mi calma en medio del caos y mi motivación cuando las lágrimas me invaden y pienso en rendirme. Gracias por escucharme, por sostenerme con paciencia cuando el cansancio me superaba y por recordarme, una y otra vez, todo lo que soy capaz de lograr. Has sido mi compañero incondicional, celebrando mis pequeñas victorias y acompañando mis tropiezos con amor y comprensión.

Gracias por reírte de mis chistes malos, por guiarme en la oscuridad y por amarme por quien soy y como soy, incluso en mis momentos más difíciles. Gracias por tu ternura, por creer en mí cuando yo misma dudaba, y por enseñarme que el amor también se construye con apoyo mutuo, respeto y complicidad. Este es mi primer gran logro, pero no el último que quiero compartir contigo. Espero poder estar también a tu lado en cada meta que alcances, acompañarte en tus sueños como tú lo hiciste con los míos, y seguir caminando juntos, con la certeza de que somos un equipo que se impulsa, se cuida y se admira profundamente.

AGRADECIMIENTOS

En esta investigación hay varias personas e instituciones a las cuales deseo expresar mi más sincero agradecimiento por el apoyo brindado durante todo el proceso y por contribuir al desarrollo óptimo de este trabajo.

En primer lugar, quiero agradecer a mi director de tesis, profesor Jairo Robles. Profe, si no fuera por tu guía, tu apoyo constante y tu disposición, no habría sido posible alcanzar este logro que, con mucho cariño, considero nuestro. Gracias por tu paciencia, por tus consejos y por acompañarme con tanta dedicación. Perdóname por lo intensa y preguntona que llegué a ser, pero cada inquietud nacía del deseo de aprender y de hacer las cosas bien. Espero que te sientas tan orgulloso como yo de lo que hemos construido juntos.

También quiero agradecer al Museo de Historia Natural de la Universidad Pedagógica Nacional, especialmente a la profesora Martha y al profesor Héctor, quienes desde que fui voluntaria me brindaron su apoyo, su acompañamiento y su ejemplo. Gracias por mostrarme lo hermoso de pertenecer a una comunidad que ama la enseñanza, la ciencia y la vida. De ustedes aprendí que enseñar con amor y pasión es una forma de transformar el mundo, y que nunca está mal soñar con llegar más lejos.

Extiendo mi gratitud al equipo del Colab, al profesor Diego Rivera, a Esteban López y a todos mis compañeros que, con generosidad, escucharon mis ideas y me ayudaron a materializar sueños que hoy se convierten en realidades. Gracias por compartir su conocimiento, tiempo y entusiasmo, por trabajar en equipo y creer en esta propuesta desde el inicio.

Agradezco igualmente a los expertos, el señor Gilberto Mendoza, el Dr. Gonzalo Pelaloza Jiménez y la Dra. Susana Abella Peña, que aportaron su guía, tiempo y sabiduría, contribuyendo con sus valoraciones y sugerencias al fortalecimiento de esta investigación. Sus observaciones fueron fundamentales para alcanzar la solidez y el sentido que hoy tiene este trabajo.

Finalmente, quiero expresar mi reconocimiento a la Universidad Pedagógica Nacional, a la Facultad de Ciencia y Tecnología y al programa de Licenciatura en Biología, por los aprendizajes, las experiencias y los espacios formativos que me han permitido crecer tanto en lo académico como en lo personal.

A todos ustedes, muchísimas gracias. Sin su apoyo, compañía y confianza, nada de esto habría sido posible.

TABLA DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN.....	12
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	14
JUSTIFICACIÓN.....	17
OBJETIVOS.....	21
MARCO TEÓRICO	22
1. La Clase Mammalia, Diversidad y Adaptación	22
1.1 Latidos y formas: comprensión teórica de los mamíferos.....	22
1.2 Características Generales de los Mamíferos	24
1.3 Clasificación Taxonómica.....	27
1.4 Morfología y anatomía del orden Eutheria	30
1.5 Craneometría en Mamíferos: Caracteres Diagnósticos y Adaptaciones Funcionales	36
1.6 Características Craneales y Dentales de Órdenes Seleccionados de Mamíferos	45
1.7 Anatomía Comparada, Biodiversidad y Evolución en Mamíferos	54
2. Enseñanza de la Mastozoología en la Formación de Profesores de Biología.....	56
2.1 Educar desde la experiencia: aproximación al marco pedagógico.....	56
2.2 Importancia de la Experimentación en el Aula para la Enseñanza	58
2.3 Conocimiento Didáctico del Contenido y Conocimiento Disciplinar del Contenido	59
2.4 Modelos Explicativos en Biología e Integración de Actividades Prácticas en la Formación Docente	61
2.5 Uso de Colecciones Biológicas y Museos, y Desarrollo de Competencias Digitales en Docentes	63
2.6 Uso de las TIC en la Enseñanza de la Ciencia	65
2.7 Recursos Digitales y Herramientas Tecnológicas	66
ANTECEDENTES	76
METODOLOGÍA.....	107
Paradigma de Investigación	107
Enfoque metodológico	108

Contexto y Población participante:.....	109
Etapas de la Investigación.....	111
1. Etapa de indagación:	111
2. Etapa de Desarrollo:	112
3. Etapa de evaluación:.....	113
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	115
Resultados de la etapa de Indagación:	115
Resultados de la etapa de desarrollo de la aplicación.	120
Fase I Revisión y Selección.	120
Fase II Recolección de la información.....	122
Fase III Modelado de los cráneos (modelado y corte).	126
Fase IV programación de la aplicación:	132
Aplicación VRosteum:	135
Fase V Resultados de la validación por expertos.....	138
Resultados de la Implementación	141
Resultados de la etapa de evaluación.....	144
Resultados de la experiencia con el VROSTEUM en versión de escritorio (PC).....	144
Resultados de la experiencia con el VROSTEUM en versión de gafas de realidad virtual (VR)	148
Comparación entre versiones PC y VR.....	151
Resultados de los quices de conocimiento	153
Síntesis interpretativa	153
CONSIDERACIONES FINALES	155
Implicaciones, limitaciones y desafíos:	156
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	158
ANEXOS	173
RÚBRICA DE EVALUACIÓN DE PRECONCEPTOS SOBRE MAMÍFEROS	176
RÚBRICA DE EVALUACIÓN – APP VROSTEUM - CRÁNEOS DE MAMÍFEROS	178
PRUEBA DIAGNÓSTICA DE CONCEPTOS PREVIOS SOBRE MAMÍFEROS	180

TABLA DE GRÁFICOS

Ecuación 1: Análisis de los conceptos previos relacionando el promedio con las preguntas de la etapa de indagación.....	116
---	-----

TABLA DE TABLAS

Tabla 1 Número de especies de mamíferos hasta 2024.....	55
Tabla 2 Antecedentes de la investigación.....	76
Tabla 3 Comparación versión Pc y VR	151

TABLA DE FIGURAS

Ilustración 1: Comparación del rendimiento de los estudiantes en cursos de aprendizaje activo y teóricos.....	19
Ilustración 2: Filogenia clase mammalia.....	27
Ilustración 3: Filogenia subclase Eutheria.....	30
Ilustración 4: Evolución del miembro anterior de los ungulados.....	33
Ilustración 5: Ejemplo de pezuña de perissodactyla.....	34
Ilustración 6: Uña retráctil ejemplo carnívora.....	35
Ilustración 7: Adaptación al vuelo de los miembros de un quiróptero.....	36
Ilustración 8. Esqueleto de un mamífero (conejo).....	38
Ilustración 9: Coronas de las muelas..	39
Ilustración 10. Esquema principales huesos..	40
Ilustración 11. Distribución de cráneo mamífero..	41
Ilustración 12. Evolución de los diferentes tipos de dentición.....	41
Ilustración 13. Músculos de anclaje con la cresta sagital.....	43
Ilustración 14. Diferencias entre cuerno y asta.....	44
Ilustración 15. Cráneo y dentadura de conejo.....	47
Ilustración 16. Cráneo y dentadura de gato.....	50
Ilustración 17. Cráneo y dentadura de cabra	51
Ilustración 18. Cráneo y dentadura de caballo.....	52
Ilustración 19. Ejemplos de simuladores presentes en el área de biología.....	68
Ilustración 20. Ejemplos de cráneos de mamíferos en 3D en Sketchfab.....	71
Ilustración 21. Ubicación de la Universidad Pedagógica Nacional en Bogotá..	109

Ilustración 22. Entrada de la Universidad Pedagógica Nacional en Bogotá.	109
Ilustración 23. a. cráneo primate presente en el museo, b. cráneo lagomorpha presente en el museo, c. cráneo de Panthera onca en el museo, d. craneo de gato en el museo..	120
Ilustración 24. Modelo de cráneo de Hydrochoerus hydrochaeris.	121
Ilustración 25: Craneos seleccionados del MHN, a. Panthera onca, b.Canis familiaris, c.Chiroptera, d. Oryctolagus cuniculus, e.Ateles furciceps, f. Didelphis marsupialis, g.Equus caballus, h. Ovis orientalis aries, i.Sus scrofa domesticus.	123
Ilustración 26: Fotografías tomadas del cráneo de Ateles furciceps, para el proceso de fotogrametría	124
Ilustración 27: Método fotográfico.....	125
Ilustración 28. Detalle craneal progresivo.....	125
Ilustración 29. Alienación de fotografías.	127
Ilustración 30. Nube de puntos densa.....	127
Ilustración 31. Texturización del modelo.....	128
Ilustración 32: Cráneos escaldos en Blender.....	129
Ilustración 33. Cortes transversales.....	130
Ilustración 34. Modelo Panthera onca unido.....	131
Ilustración 35: Diagrama de flujo modo de operación interfaz VRosteum.....	132
Ilustración 36: Pantalla de inicio.....	135
Ilustración 37: Menú de órdenes Mammalia.....	135
Ilustración 38: Cráneo Interactuable Ateles furcisepts.....	136
Ilustración 39: Cráneo Dinámico 1.....	136
Ilustración 40. Cráneo Dinámico 2.....	137

Ilustración 41. Menú VRosteum formato VR.	137
Ilustración 42. Información Cráneo Pantera onca VRosteum/VR.	138
Ilustración 43: Interacción por parte de compañeros.....	139
Ilustración 44: a. Implementación VR 1, b. Implementación VR 2.	141
Ilustración 45. Espacio de explicación teórica a. perspectiva frontal, b. perspectiva paralela.	142
Ilustración 46: Interacción estudiantes recurso VRosterum versión PC.	143
Ilustración 47: Forms VRosteum PC 1.	145
Ilustración 48. Forms VRosteum PC 2.	145
Ilustración 49: Forms VRosteum PC 3.....	146
Ilustración 50: Forms VRosteum PC 4.....	146
Ilustración 51: Forms VRosteum PC 5.	147
Ilustración 52: Forms VRosteum VR 1.	148
Ilustración 53: Forms VRosteum VR 2.	149
Ilustración 54: Forms VRosteum VR 3.	149
Ilustración 55: Forms VRosteum VR 4.	150
Ilustración 56: Forms VRosteum VR 5.	150

INTRODUCCIÓN

La investigación de los mamíferos a partir de restos óseos, especialmente de cráneos, ha sido un medio fundamental para entender la morfología, la ecología y la evolución de esta categoría taxonómica. Los cráneos, debido a que mantienen muchos rasgos estructurales, posibilitan el estudio de las adaptaciones funcionales, los hábitos alimenticios y las relaciones filogenéticas, convirtiéndose así en un recurso muy valioso para la investigación científica y para la enseñanza de la biología. Así, el análisis morfológico se transforma en una articulación entre entender la biodiversidad y desarrollar habilidades científicas durante los procesos de formación.

Es fundamental en la educación superior, y particularmente en los escenarios de formación de docentes de biología, reforzar las tácticas pedagógicas que permitan una asimilación práctica de los temas vinculados con la diversidad de vertebrados y la anatomía comparada en este caso de mamíferos. Históricamente, la instrucción de estas materias se ha basado en muestras disecadas, dibujos o representaciones bidimensionales que, aunque tienen una función informativa, restringen la interacción directa y la exploración de las estructuras anatómicas en tres dimensiones. Esta restricción complica la comprensión a fondo de la morfología, un elemento fundamental para comprender biológicamente y para enseñar en el futuro estos temas en escenarios escolares.

Para afrontar esta necesidad, el progreso de las tecnologías digitales brinda nuevas posibilidades de cambiar la manera en que se enseñan las ciencias naturales. La utilización de instrumentos de realidad aumentada y modelos en tres dimensiones posibilita la

reconstrucción interactiva de estructuras anatómicas, lo que favorece el análisis minucioso, el manejo virtual y la comprensión espacial de los seres vivos. Estas tecnologías, si se incorporan desde un enfoque pedagógico, fomentan que las experiencias de aprendizaje sean más activas, relevantes y al alcance de todos, lo cual potencia el pensamiento científico y la comprensión conceptual.

En el marco de la investigación titulada “Conociendo Mastofauna: Uso de modelos 3D y realidad aumentada para la aproximación a la morfología de cráneos con profesores de biología en formación” emerge como una propuesta que vincula el saber biológico con la innovación en educación y tecnología. Este proyecto, basado en la colección de cráneos del Museo de Historia Natural de la Universidad Pedagógica Nacional, crea un recurso educativo interactivo que posibilita que los profesores en formación investiguen independientemente las características morfológicas propias de diversas órdenes de mamíferos.

Se pretende, mediante el uso de esta herramienta, potenciar en los docentes en formación no solamente las habilidades científicas relacionadas con el examen morfológico, sino también las competencias pedagógicas y tecnológicas que se requieren para introducir las TIC en los procesos de enseñanza y aprendizaje. Así, el proyecto impulsa la reflexión acerca de las posibilidades pedagógicas de las tecnologías emergentes en la formación de los docentes y ayuda a consolidar una educación científica innovadora, contextualizada y comprometida con la apreciación del patrimonio biológico nacional.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Somos todos los trozos de quienes recordamos. Tenemos en nuestro interior las esperanzas y los temores de aquellos que nos aman. Mientras haya amor y memoria, no existe la auténtica pérdida. (Cassandra Clare)

El estudio de los mamíferos a partir de restos óseos, particularmente los cráneos, ha sido fundamental para comprender su morfología, adaptaciones y biodiversidad como menciona Sánchez (2023), “La morfología del cráneo de los mamíferos cuenta con adaptaciones y trayectorias alométricas asociadas con su dieta, ecología y afinidades filogenéticas”; lo cual nos permite identificar que los cráneos proporcionan información valiosa sobre la ecología, comportamiento y evolución de las especies, lo que los convierte en una herramienta esencial para la investigación biológica, conectando con la idea Gröning y colaboradores (2012) que mencionan que durante la evolución, los mamíferos se han adaptado a un gran número de dietas diferentes, estas adaptaciones de la dieta se reflejan en la diversidad de la morfología del cráneo y de los dientes.

Ahora bien, dentro de la formación inicial de profesores de biología, existe una alta demanda conceptual cuando de un abordaje a la diversidad biológica se trata como menciona Fonseca (2018) “En razón que la tesis se sitúa en la formación del profesor de biología, particularmente se aborda la enseñanza de la biodiversidad dada su importancia en la comprensión de la biología y de su enseñanza y de las implicaciones políticas, económicas, y culturales que le son inherentes”(p.36), los profesores de biología en formación usualmente deben aproximarse a una gran cantidad de elementos conceptuales propios de la biología, sus

teorías y contenidos complementarios. En el caso de la aproximación a la diversidad biológica es claro que la cantidad de temáticas y contenido que se deben apropiarse en ocasiones ultrapasa los límites de tiempo de un curso de zoología básica; y sumado a esto, la naturaleza abstracta y la gran cantidad de modelos que se usan puede llegar a complicar el proceso de aprendizaje.

La formación inicial de profesores de biología se enfrenta a un desafío estructural: la necesidad de abordar una cantidad excesiva de contenidos en tiempos reducidos, lo que genera un aprendizaje superficial y mecánico. Esta situación, lejos de ser circunstancial, reproduce el problema sistémico que Carvalho, Nunes-Neto y El-Hani (2011) identifican en el currículo medio de Brasil, donde los libros de texto presentan más de 3.200 conceptos en tres años, sin criterios de jerarquía ni pertinencia. Como advierten estos autores, “não é possível ensinar aos estudantes tanto conteúdo de forma pouco estruturada e em tão pouco tempo, e, ainda, esperar que eles construam uma compreensão do mundo vivo que seja significativa” (p. 69). En este sentido, la propuesta de seleccionar contenidos estructurantes desde las perspectivas evolutiva y funcional no solo es una solución didáctica, sino una necesidad epistemológica para transformar la sobrecarga conceptual en comprensión integrada.

Para lidiar con esta situación, se ha propuesto el uso de colecciones museológicas (como lo es el uso de cráneos) como modelos materiales que complementan el proceso de aproximación a los diferentes grupos, mediante una inmersión “real” a las estructuras óseas de los organismos como menciona Darrigran y su equipo (2023) “Las Colecciones Biológicas constituyen un recurso didáctico óptimo para fortalecer y aumentar la calidad de los procesos educativos, ya sea como instrumento para las clases presenciales como virtuales.”. Sin

embargo, el acceso a colecciones físicas de estos especímenes suele ser limitado, lo que dificulta la exploración detallada de su estructura y diversidad. Esta restricción reduce las oportunidades de los estudiantes para interactuar directamente con los cráneos, posiblemente limitando su aprendizaje sobre la morfología y las adaptaciones evolutivas de los mamíferos.

Continuando con lo anterior la falta de recursos educativos interactivos que permitan a los profesores de biología capacitarse alrededor de la diversidad biológica es una necesidad emergente en la realidad, debido a las mencionadas limitaciones en las colecciones biológicas, lo cual abre las posibilidades de realizar y fomentar nuevos recursos didácticos para la enseñanza de estos temas, Darrigran y colaboradores (2023) mencionan que “se destacan las Colecciones Biológicas virtuales como recursos didácticos útiles de implementar, ya que permiten romper barreras físicas, temporales y universales a través de la vinculación de material digitalizado y de internet esto permitiría explorar de manera dinámica y accesible la morfología y diversidad de los mamíferos.

Con base en lo anterior, se propone la siguiente pregunta de investigación:

¿Cómo el uso de un recurso educativo con base en modelos 3D y Realidad Aumentada de cráneos de mamíferos contribuye a la comprensión de su morfología y diversidad en profesores de biología en formación de la Universidad Pedagógica Nacional?

JUSTIFICACIÓN

Las tecnologías emergentes, como los modelos 3D y la realidad aumentada (AR), ofrecen una oportunidad única para superar estas limitaciones, como fue el reto presentado en la pandemia de COVID 19, que como menciona Romero y colaboradores (2023) “los docentes buscaron herramientas digitales que les permita acompañar su proceso educativo en las clases en línea, sobre todo en asignaturas con componentes prácticos de campo o laboratorio, como es el caso la materia de Biología.”; Estas tecnologías permiten la creación de representaciones digitales interactivas, en el interés investigativo de este proyecto de cráneos de mamíferos; lo que facilita una exploración detallada y accesible de su anatomía, incluso cuando los especímenes físicos no están disponibles, esto se ha visto evidenciado en otros estudios como la medicina, que recurrió al uso de estas tecnologías para la enseñanza de su campo:

Se desarrolló el material didáctico físico tridimensional para perfeccionar el proceso de enseñanza-aprendizaje de las clases de Anatomía y Morfología dental de la Facultad de Odontología, que sirvió como escenario de experimentación y desencadenó la puesta en marcha de diversos proyectos similares en diferentes departamentos de la universidad, lo cual pretendía replicar la experiencia.

A partir de esta experiencia se pudo garantizar a los estudiantes una formación teórico-práctica a través de herramientas y recursos tridimensionales simuladores de la realidad, que propiciaron una mejor apropiación de los contenidos. (Izquierdo Pardo, Pardo Gómez, y Izquierdo Lao, 2020)

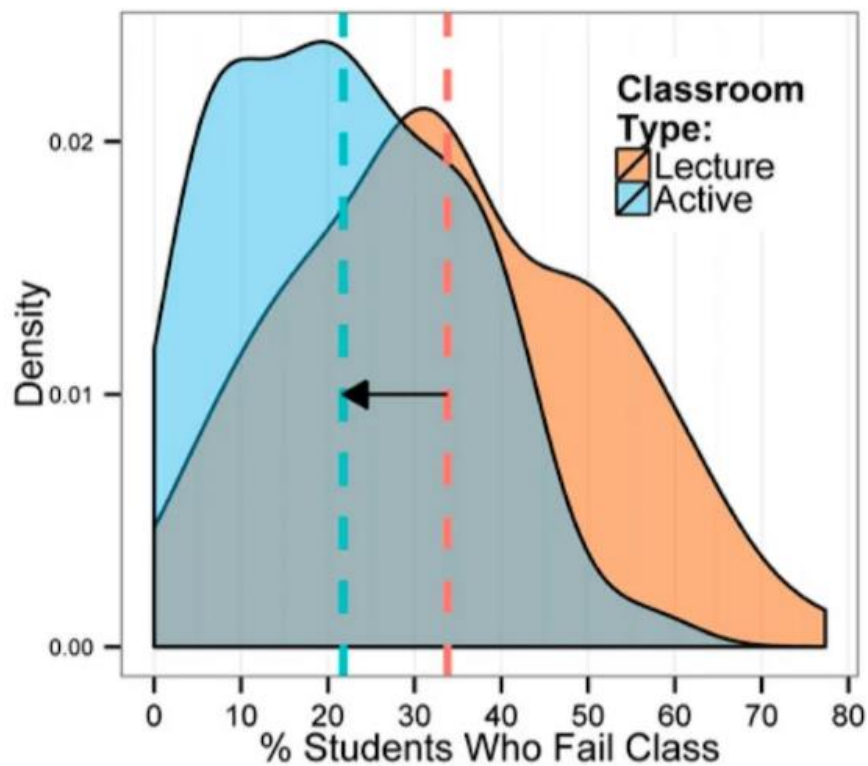
Las herramientas basadas en realidad aumentada y modelos 3D ofrecen una experiencia de aprendizaje más inmersiva y dinámica, (como fue el uso de modelos 3D en la medicina), ya que “Estos modelos ofrecen excelentes posibilidades para la docencia; son imperecederos y proporcionan un material de estudio muy apreciado por los estudiantes, quienes pueden tener accesibilidad a ellos en todo momento al poder almacenarlos en su

dispositivo móvil o en su computadora personal. Las mayores posibilidades que pueden ofrecer a los estudiantes, los modelos digitales 3D de diferentes objetos de estudio radican en que pueden consultarlos, magnificarlos, rotarlos, descomponerlos para examinarlos, leer contenido adicional que puedan tener embebido o reproducir una animación de su funcionamiento, entre otras opciones.” (Izquierdo Pardo et al., 2020) lo que podría mejorar la comprensión y retención de los conceptos relacionados con la anatomía y diversidad de los mamíferos, ya que “Los estudiantes mostraron altas y significativas valoraciones al haber participado en la experiencia de interacción con el objeto de aprendizaje producido para la enseñanza de contenidos de biología.” (Romero Saritama, Cabero Almenara, y Gallego Pérez, 2023). Esto podría ser la oportunidad para que los estudiantes puedan visualizar y comprender la complejidad de la biodiversidad de mamíferos, incluyendo su importancia ecológica.

Por otro lado, la falta de recursos y accesibles puede afectar la motivación y el interés de los estudiantes por el estudio de la mastofauna, el uso de estos recursos ha demostrado ser un gran potenciador a la hora de hablar de la motivación por aprender como menciona Mendoza Velazco et al.(2022):

Según los estudios investigados en el ámbito de este estudio, el uso de la RA en la educación aumentó la motivación de los estudiantes (CAI et al., 2017; CHANG; HWANG, 2018; CHENG, 2018). Chang et al., (2016) destacaron que los estudiantes experimentaron falta de motivación debido a la duración de tiempo necesario para el crecimiento de las plantas y la falta de oportunidades para observar los cambios en el crecimiento de las plantas en el aula. Informaron que la RA aumentó la motivación ya que permitió a los estudiantes observar y manipular (por ejemplo, la luz del sol). La RA aseguró el desarrollo de actitudes positivas hacia el aprendizaje (CAI et al., 2017; CHANG et al., 2018; CHEN et al., 2016; HSIAO et al., 2012; KAMARAINEN et al., 2013). También aumentó el interés/la voluntad de aprender de los estudiantes (BRESSLER; BODZIN, 2013; CAI et al., 2017; HUANG et al., 2016). La RA proporciona contribuciones significativas a los estudiantes en la educación BQU.

La educación tradicional, basada en métodos pasivos como la lectura de textos y la observación de imágenes estáticas, puede resultar insuficiente para captar la atención de los estudiantes y fomentar un aprendizaje significativo, Bhatia (2014) señala que el aprendizaje activo mejora significativamente las calificaciones y reduce las tasas de reprobación en disciplinas como ciencia, matemáticas e ingeniería en donde, “Los autores descubrieron que el 34 % de los estudiantes reprobaron su curso con clases tradicionales, en comparación con el 22 % de los estudiantes con aprendizaje activo. Esto sugiere que, solo en los estudios analizados, 3500 estudiantes más habrían aprobado sus cursos con aprendizaje activo.”, estos datos son útiles a la hora de realizar actividades activas para la enseñanza.



*Ilustración 1: Comparación del rendimiento de los estudiantes en cursos de aprendizaje activo y teóricos.
Tomado de Bhatia (2014).*

En este sentido, surge la necesidad de desarrollar recursos educativos innovadores que permitan a los profesores en formación explorar y comprender la morfología y diversidad de los mamíferos, en este caso por medio de modelos 3D de cráneos.

Esta necesidad se vuelve crítica si se considera que el no tener acceso físico a cráneos de mastofauna constituye una barrera concreta para el aprendizaje profundo de este grupo zoológico. Dicha limitación impide alcanzar cabalmente el objetivo formativo establecido en el PEP (2023) de “comprender y desarrollar en lo conceptual, procedimental, valorativo y actitudinal respecto a: la vida y lo vivo, la enseñanza de la Biología desde lo contemporáneo, la investigación y la integralidad” (Universidad Pedagógica Nacional, 2023, p. 18), al dejar sin sustento material la observación, comparación y modelación de estructuras clave que sustentan la diversidad biológica de los mamíferos.

En este contexto, el proyecto propone desarrollar un recurso educativo interactivo basado en modelos 3D y realidad aumentada, utilizando la colección de cráneos de mamíferos del Museo de Historia Natural de la Universidad Pedagógica Nacional. Esta herramienta permitirá a los estudiantes explorar los detalles morfológicos de los cráneos y comprender la diversidad de los mamíferos. Este recurso resulta ser útil contribuyendo a la alfabetización con relación al manejo de las tecnologías XR en donde “Actualmente, el rol de los docentes resulta fundamental para la capacitación y el empoderamiento a los estudiantes mediante el uso de todas las potencialidades que ofrecen las tecnologías digitales. Para ello, los docentes necesitan no solo disponer de una alfabetización digital básica, sino que deben ser capaces de integrar las tecnologías a sus prácticas pedagógicas (competencia digital docente) y, sin dudas, su formación inicial resulta clave.” (Izquierdo Pardo et al., 2020).

OBJETIVOS

Objetivo General

Contribuir a la comprensión de la morfología y diversidad de los mamíferos mediante el uso de un recurso educativo con base en modelos 3D y Realidad Aumentada para profesores de biología en formación de la Universidad Pedagógica Nacional

Objetivos Específicos:

1. Caracterizar los conocimientos previos sobre la mastofauna de profesores de biología en formación de tercer semestre de la licenciatura en biología de la Universidad Pedagógica Nacional.
2. Desarrollar un recurso didáctico con base en modelos 3D y Realidad Aumentada de cráneos de mamíferos presentes en el Museo de Historia Natural de la Universidad Pedagógica Nacional que facilite la exploración y comprensión de la diversidad mamífera.
3. Evaluar la contribución al proceso de apropiación de contenidos de los profesores en formación de la licenciatura en biología de la Universidad Pedagógica Nacional

MARCO TEÓRICO

El presente marco teórico se estructura en dos apartados que dialogan entre sí, pero que abordan perspectivas distintas y complementarias. En el primer apartado, se desarrolla un marco teórico acerca de la clase mammalia, que busca ofrecer una comprensión biológica y morfológica del grupo, abordando sus principales características, clasificaciones y particularidades adaptativas. En el segundo apartado, se presenta un marco teórico didáctico, orientado a fundamentar las estrategias pedagógicas que sustentan la propuesta, especialmente en lo que respecta al uso de recursos tecnológicos, modelos 3D y realidad aumentada como mediadores del aprendizaje. Esta división responde a la necesidad de articular el saber científico con el saber pedagógico, permitiendo situar la propuesta en un horizonte donde la biología y la didáctica se encuentran para propiciar experiencias significativas de enseñanza.

1. La Clase Mammalia, Diversidad y Adaptación

1.1 Latidos y formas: comprensión teórica de los mamíferos

Los mamíferos, pertenecientes a la clase Mammalia, representan un grupo de vertebrados extraordinariamente diverso y exitoso, que ha colonizado prácticamente todos los ecosistemas del planeta, desde desiertos áridos hasta océanos profundos y regiones polares. Su éxito evolutivo se fundamenta en un conjunto de características anatómicas, fisiológicas y comportamentales altamente especializadas que los distinguen de otros grupos animales y les confieren una adaptabilidad excepcional. Este marco teórico tiene como

objetivo recopilar y analizar las teorías y conceptos relacionados con las características morfológicas, reproductivas y evolutivas de los mamíferos, así como su importancia ecológica y los desafíos que enfrentan en la actualidad. Este análisis proporciona una base sólida para investigaciones en áreas como la biodiversidad, la ecología, la evolución o la conservación, destacando cómo las adaptaciones mamíferas han permitido su dominancia en diversos hábitats y su relevancia en el equilibrio de los ecosistemas globales (Vaughan et al., 2015).

El estudio de los mamíferos es crucial no sólo para comprender su diversidad biológica, sino también para abordar cuestiones prácticas, como la conservación de especies amenazadas o el impacto de las actividades humanas en sus poblaciones. Este marco busca establecer un vínculo claro entre las características biológicas de los mamíferos y su papel en los sistemas naturales, sentando las bases para explorar preguntas de investigación relacionadas con su capacidad de adaptación frente a cambios ambientales.

La mastozoología es una rama de la zoología dedicada al estudio de los mamíferos, un grupo de vertebrados caracterizados por poseer glándulas mamarias, pelo en alguna etapa de su desarrollo, y una diversidad de adaptaciones ecológicas que les han permitido habitar casi todos los ecosistemas del planeta. Este campo científico abarca aspectos tan diversos como la morfología, fisiología, ecología, comportamiento, evolución, sistemática y conservación de los mamíferos.

Según Ceballos (2005), la mastozoología no se limita únicamente a la descripción y clasificación de las especies, sino que también cumple un papel fundamental en la comprensión de los procesos ecológicos y evolutivos que moldean la biodiversidad. Para este autor, el estudio de los mamíferos permite establecer conexiones entre la historia natural y

los desafíos contemporáneos relacionados con la pérdida de hábitats, el cambio climático y la extinción de especies. En este sentido, la mastozoología adquiere una dimensión aplicada, ya que los conocimientos generados pueden ser usados para diseñar estrategias de conservación, evaluar el estado de salud de los ecosistemas y gestionar adecuadamente los recursos naturales.

Además, Ceballos destaca que los mamíferos son organismos clave para entender las dinámicas ecológicas, ya que muchos de ellos cumplen roles fundamentales como depredadores, dispersores de semillas, polinizadores o reguladores de poblaciones. Así, el estudio de este grupo ofrece una ventana para abordar problemáticas socioambientales desde una perspectiva biológica integradora, lo que hace de la mastozoología una disciplina vital en el contexto actual de crisis ambiental.

1.2 Características Generales de los Mamíferos

Los mamíferos se distinguen por un conjunto de rasgos únicos que han sido clave para su éxito evolutivo. Una de las cualidades más fundamentales es la presencia de glándulas mamarias en las hembras, responsables de producir leche, un alimento rico en nutrientes esenciales como grasas, proteínas, vitaminas y anticuerpos. Esta sustancia no solo asegura la supervivencia de las crías en sus primeras etapas de vida, sino que también fortalece su sistema inmunológico y fomenta un vínculo materno-filial estrecho. Este vínculo permite un período de desarrollo protegido, durante el cual las crías aprenden habilidades esenciales para su supervivencia, como la caza en carnívoros o el reconocimiento de depredadores en herbívoros. Por ejemplo, en especies como los elefantes, el período de lactancia puede

extenderse varios años, lo que refuerza la cohesión social y el aprendizaje (Feldhamer et al., 2015).

Otra característica casi universal es la presencia de pelo o pelaje, una cubierta epidérmica compuesta principalmente de queratina. El pelaje varía en densidad y distribución entre especies, adaptándose a las necesidades específicas de cada una. Por ejemplo, el pelaje grueso del oso polar proporciona aislamiento térmico en climas árticos, mientras que el pelaje moteado del leopardo facilita el camuflaje en entornos boscosos. Además, el pelo cumple funciones como protección contra lesiones físicas, comunicación sensorial mediante vibrissas (como en felinos y roedores) y, en algunos casos, roles sociales o defensivos, como la piloerección en cánidos para aparentar mayor tamaño frente a amenazas. Estas adaptaciones reflejan la versatilidad del pelaje como herramienta evolutiva (Vaughan et al., 2015).

Los mamíferos son homeotermos y endotermos, lo que significa que mantienen una temperatura corporal constante generada internamente a través de procesos metabólicos. Esta capacidad les permite colonizar una amplia gama de hábitats, desde los trópicos hasta las regiones polares. Mecanismos como la sudoración (en humanos y équidos), el jadeo (en cánidos) o el almacenamiento de grasa subcutánea (en mamíferos marinos como las focas) son esenciales para la regulación térmica y el equilibrio energético. Por ejemplo, los mamíferos marinos, como las ballenas, poseen una gruesa capa de grasa subcutánea que no solo los aísla del frío, sino que también sirve como reserva energética durante largos períodos sin alimento (Kardong, 2019).

En términos reproductivos, la mayoría de los mamíferos son vivíparos, con crías que se desarrollan dentro del cuerpo materno y nacen vivas gracias a la placenta, un órgano

especializado que facilita el intercambio de nutrientes, oxígeno y desechos entre la madre y el feto. Esta estrategia reproductiva maximiza la supervivencia de las crías en entornos variables. Sin embargo, los monotremas, como el ornitorrinco y los equidnas, son una excepción notable, ya que son ovíparos, pero conservan la lactancia, lo que los convierte en un grupo fascinante por su combinación de características reptilianas y mamíferas. Esta dualidad refleja una transición evolutiva única dentro de la clase Mammalia (Feldhamer et al., 2015).

Desde el punto de vista anatómico, los mamíferos se distinguen por poseer una mandíbula formada por un solo hueso (el dentario), que se articula directamente con el cráneo, a diferencia de otros vertebrados como los reptiles, que tienen múltiples huesos mandibulares. Además, presentan dentición heterodonta, con diferentes tipos de dientes (incisivos, caninos, premolares y molares) especializados para cortar, desgarrar o moler, lo que refleja su diversidad alimentaria, desde herbívoros como los ciervos hasta carnívoros como los leones y omnívoros como los humanos. El cerebro de los mamíferos es otro rasgo distintivo, particularmente por el desarrollo del neocórtex, una región asociada con funciones cognitivas superiores como la memoria, el aprendizaje, la resolución de problemas y la toma de decisiones. Esta complejidad cerebral explica comportamientos avanzados, como la comunicación sofisticada en cetáceos (delfines) o la fabricación de herramientas en primates (Kardong, 2019).

1.3 Clasificación Taxonómica

Desde una perspectiva taxonómica, la clase Mammalia se divide en tres subclases principales, que reflejan etapas clave en su historia evolutiva y diferencias en sus estrategias reproductivas (Vaughan et al., 2015):

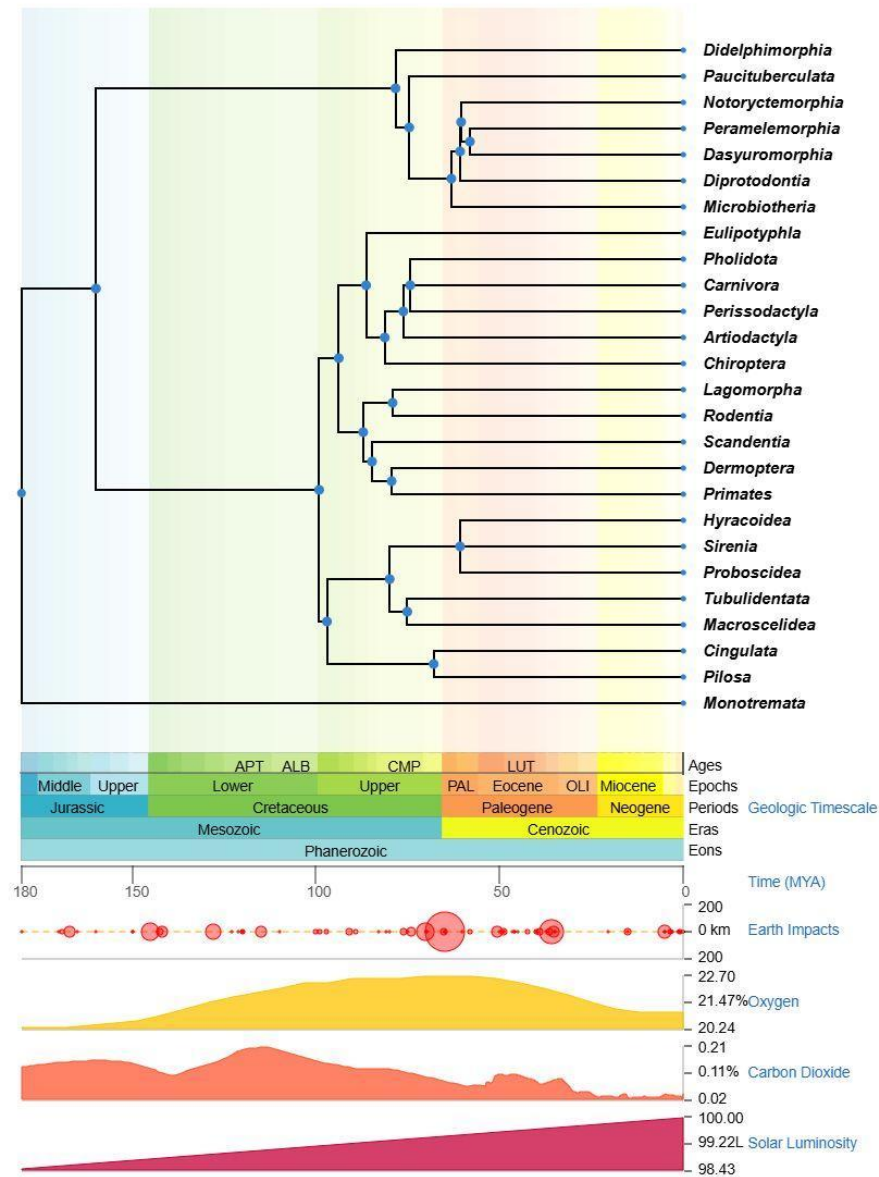


Ilustración 2: Filogenia clase mammalia. Tomado de Kumar, S., et al. (2022)

1.3.1 Prototheria (Monotremata): Este grupo, el más primitivo de los mamíferos modernos, incluye un único orden viviente, los Monotremata, representado por el ornitorrinco y los equidnas, restringidos a Australia y Nueva Guinea. Los monotremas son ovíparos, poniendo huevos similares a los de los reptiles, pero las hembras alimentan a sus crías con leche secretada por glándulas mamarias, lo que los clasifica como mamíferos. El ornitorrinco, por ejemplo, es notable por su capacidad de electrolocalización, que usa para detectar presas en ambientes acuáticos turbios, una adaptación única que combina rasgos primitivos y avanzados.

1.3.2 Metatheria (Marsupialia): Los marsupiales se caracterizan por dar a luz a crías subdesarrolladas que completan su desarrollo en un marsupio, una bolsa donde se adhieren a las mamas maternas para continuar su crecimiento. Este grupo incluye especies como los canguros, koalas, ualabíes y zarigüeyas, con una notable diversidad en Australia y América. Dentro de los marsupiales, el orden Didelphimorphia agrupa a las zarigüeyas, mamíferos americanos conocidos por su adaptabilidad y comportamiento oportunista, como la capacidad de fingir la muerte (tanatosis) para escapar de depredadores. La diversidad de los marsupiales refleja su capacidad para ocupar nichos ecológicos variados, desde entornos arbóreos hasta terrestres.

1.3.3 Eutheria (Placentalia): La subclase más numerosa y ampliamente distribuida, los euterios se caracterizan por el desarrollo completo de las crías en el útero materno, gracias a una placenta altamente eficiente que permite un intercambio óptimo de nutrientes y gases. Esta estrategia reproductiva ha sido clave para su éxito evolutivo, permitiéndoles colonizar casi todos los hábitats terrestres y acuáticos.

Los euterios incluyen órdenes como Primates (monos, simios y humanos, conocidos por su inteligencia y habilidades sociales), Lagomorpha (conejos y liebres, adaptados para la locomoción rápida), Rodentia (ratones, ardillas y castores, los mamíferos más numerosos), Carnivora (felinos, cánidos y osos, depredadores especializados), Perissodactyla (caballos y rinocerontes, con pezuñas de dedos impares), Cetartiodactyla (ballenas, delfines, ciervos y bovinos, con adaptaciones acuáticas y terrestres) y Chiroptera (murciélagos, únicos mamíferos voladores). Esta diversidad resalta la flexibilidad adaptativa de los euterios.

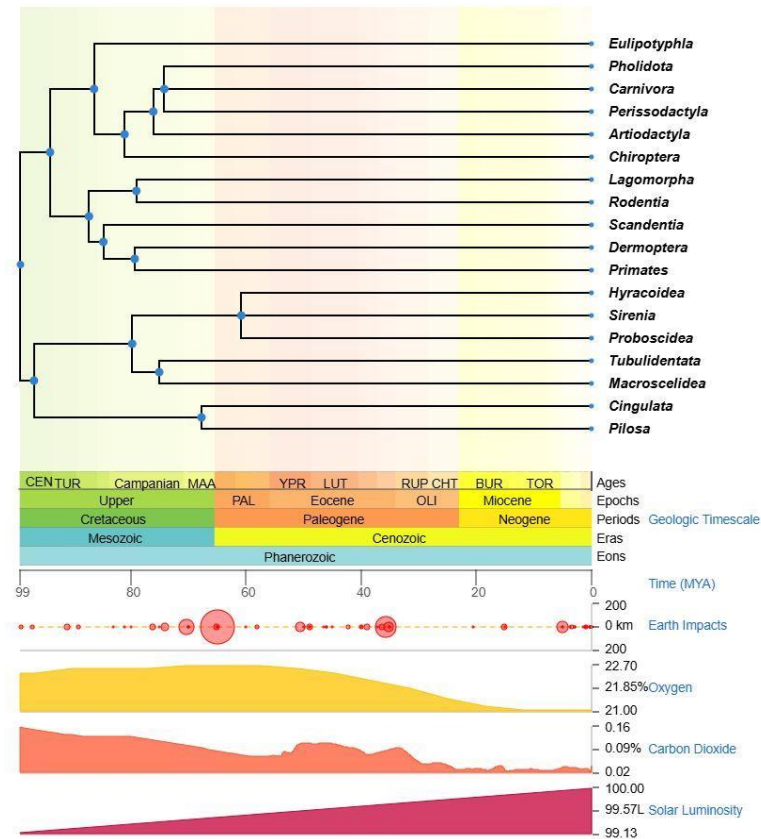


Ilustración 3: Filogenia subclase Eutheria. Tomado de Kumar, S., et al. (2022)

1.4 Morfología y anatomía del orden Eutheria

1.4.1 Primates

Los primates se distinguen por extremidades prensiles, con manos y pies que presentan un pulgar o dedo gordo oponible en mayor o menor grado, lo que facilita el agarre y la manipulación de objetos, esencial para estilos de vida arbóreos (Hickman et al., 2020). Poseen uñas planas en lugar de garras, excepto en algunos strepsirrininos como los lémures, donde las garras persisten para grooming y escalada (Kardong, 2019). El cerebro es grande, particularmente los lóbulos occipital y frontal, asociado a una visión estereoscópica avanzada y comportamientos complejos como el uso de herramientas (Macdonald, 2006). Además, los

huesos del oído interno (petroso) están muy protegidos, sugiriendo una audición refinada en muchas especies, adaptada para comunicación social y detección de depredadores (Nowak, 1999; Wilson y Reeder, 2005).

1.4.2 Lagomorpha

En los lagomorfos, las orejas largas, especialmente en lepóridos como conejos, contienen vasos sanguíneos que ayudan en la termorregulación mediante la disipación de calor (Hickman et al., 2020). Las patas traseras son muy largas y fuertes, adaptadas para locomoción saltatoria, permitiendo saltos bruscos para escapar de predadores (Kardong, 2019). La cola es corta o ausente, casi no visible externamente, lo que reduce el arrastre en movimientos rápidos (Nowak, 1999). Presentan huesos epipúbicos, similares a los de marsupiales, aunque son placentarios, que proporcionan soporte estructural durante la reproducción y locomoción (Macdonald, 2006; Wilson y Reeder, 2005).

1.4.3 Rodentia

Los roedores se caracterizan por incisivos de crecimiento continuo y ausencia de caninos, lo que obliga a una masticación retro-propulsiva (movimiento hacia adelante y atrás de la mandíbula) para mantener el desgaste dental (Hickman et al., 2020). Las patas son adaptables: algunos tienen dedos con garras para escarbar, como en tucos-tucos, mientras que otros poseen membranas para nadar, como en castores (Kardong, 2019). La cola es variable, larga y prensil en ardillas arborícolas para equilibrio, o corta en roedores fosoriales para minimizar obstrucciones subterráneas (Nowak, 1999). Los huesos del esqueleto postcraneal

son ligeros, con arcos vertebrales adaptados a posturas flexibles, facilitando una amplia gama de hábitats (Macdonald, 2006; Wilson y Reeder, 2005).

1.4.4 Cetartiodactyla

Los cetartiodáctilos tienen dedos pares (2º y 5º reducidos o ausentes), caminando sobre el 3º y 4º dedos (paraxonia), lo que optimiza la estabilidad en terrenos variados (Hickman et al., 2020). El estómago es complejo en rumiantes, con cuatro cámaras para fermentar alimento, permitiendo la digestión eficiente de celulosa (Kardong, 2019). En cetáceos, las aletas pectorales, el cuerpo hidrodinámico, la ausencia de pelos funcionales y la cola horizontal (aleta caudal) son adaptaciones clave para la vida acuática (Nowak, 1999). La respiración presenta ventilación unidireccional en rumiantes y branquias espiratorias en cetáceos, adaptadas a entornos terrestres y acuáticos respectivamente (Macdonald, 2006; Wilson y Reeder, 2005).

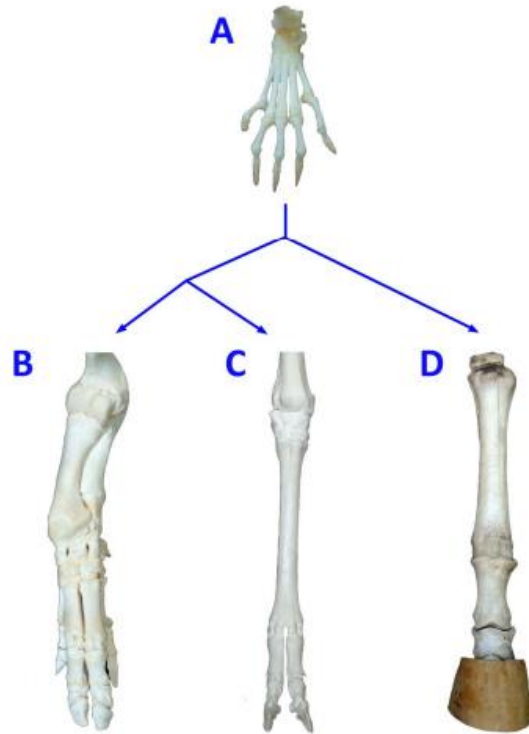


Ilustración 4: Evolución del miembro anterior de los ungulados. A. Extremidad generalista. B.

Artiodáctilo, 4 dedos (cerdo). C. Artiodáctilo, 2 dedos (vaca). D. Perisodáctilo, 1 dedo (Caballo)..

Tomado de Buencuerpo Arcas, V., et al. (2016)

1.4.5 Perissodactyla

Los perisodáctilos exhiben dedos impares, con el peso centrado en el tercer dedo (mesaxonia), facilitando una locomoción cursorial eficiente (Hickman et al., 2020). La piel es gruesa, especialmente en rinocerontes con escudos dérmicos, proporcionando protección contra depredadores y entornos ásperos (Kardong, 2019). El sistema digestivo es de tipo hind-gut fermenter (fermentación posterior al intestino delgado), menos eficiente que en rumiantes, pero adecuado para dietas herbívoras (Nowak, 1999). Las orejas son pequeñas a medianas, y la cola presenta un mechón terminal en equinos, útil para repeler insectos (Macdonald, 2006; Wilson y Reeder, 2005).



Ilustración 5: Ejemplo de pezuña de perissodactyla. Tomado de Buencuerpo Arcas, V., et al. (2016)

1.4.6 Carnívora

En los carnívoros, las garras son retráctiles en felinos (únicos que las retraen completamente) o no retráctiles en cánidos, adaptadas para caza y defensa (Hickman et al., 2020). Los dientes carnívoros están bien desarrollados, con el carnasial P4/m1 especializado en cortar carne, reflejando una dieta hiper-carnívora (Kardong, 2019). El pelaje es denso, con pelos táctiles (bigotes) muy sensibles para detección sensorial en entornos oscuros (Nowak, 1999). Las glándulas odoríferas (anales, faciales, etc.) están muy desarrolladas para marcaje territorial y comunicación social (Macdonald, 2006; Wilson y Reeder, 2005).



Ilustración 6: Uña retráctil ejemplo carnívora. Tomado de Buencuerpo Arcas, V., et al. (2016)

1.4.7 Chiroptera

Los quirópteros poseen alas membranosas sostenidas por huesos alargados de los dedos (especialmente el 2° al 5°), con membrana interdigital que permite el vuelo activo (Hickman et al., 2020). Las patas traseras están rotadas en muchas especies, lo que les permite colgarse cabeza abajo sin esfuerzo muscular, conservando energía (Kardong, 2019). Las orejas son grandes y móviles, con tragus (proyección cartilaginosa) en microquirópteros para mejorar la ecolocalización (Nowak, 1999). Los huesos del esqueleto postcraneal son ligeros y delgados, adaptados al vuelo y minimizando el peso corporal (Macdonald, 2006; Wilson y Reeder, 2005).

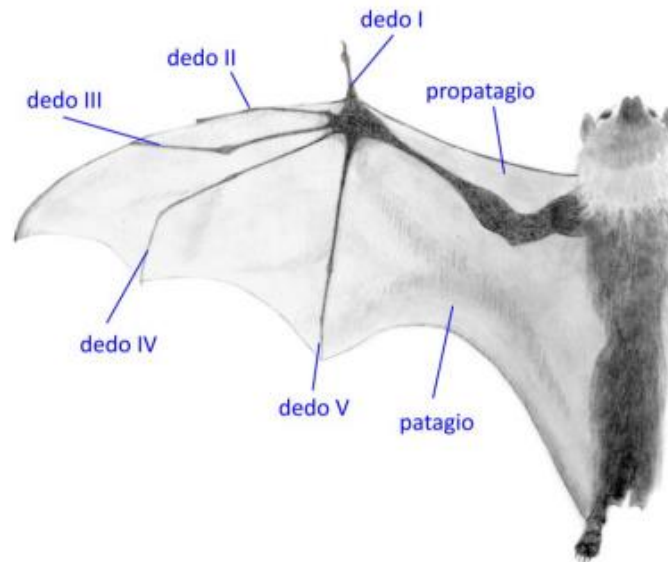


Ilustración 7: Adaptación al vuelo de los miembros de un quiróptero. Tomado de Buencuerpo Arcas, V., et al. (2016)

1.4.8 Didelphimorphia

Los didelfimorfos presentan una bolsa marsupial (poco desarrollada en algunas especies), con mamas internas para nutrir crías inmaduras (Hickman et al., 2020). Las patas tienen dedos oponibles en especies como *Caluromys*, útiles para trepar en hábitats arbóreos (Kardong, 2019). La cola es prensil en muchas especies, sin pelo en la parte distal, funcionando como un quinto miembro para equilibrio y manipulación (Nowak, 1999). Los huesos epipúbicos están presentes, como en otros marsupiales, ayudando a sostener la bolsa marsupial durante la reproducción (Macdonald, 2006; Wilson y Reeder, 2005).

1.5 Craneometría en Mamíferos: Caracteres Diagnósticos y Adaptaciones Funcionales

La craneometría, definida como el estudio sistemático de las medidas, proporciones y ángulos del cráneo, representa una herramienta esencial en disciplinas como la zoología de mamíferos, la paleontología y la antropología física. Esta aproximación cuantitativa permite

inferir relaciones filogenéticas entre especies, identificar caracteres diagnósticos para la clasificación taxonómica y reconstruir adaptaciones funcionales vinculadas a la dieta, el comportamiento social y la ecología de los organismos (Perea Negreira, 2006). El cráneo, como estructura ósea compleja y durable, se preserva frecuentemente en el registro fósil, ofreciendo evidencia clave sobre la evolución mamífera, incluyendo transiciones como la de cinodontes a mamaliaformes, donde se observan reorganizaciones funcionales como la reducción de huesos craneales y la reconfiguración de la musculatura mandibular para mejorar la eficiencia masticatoria (Lautenschlager et al., 2023). En particular, el análisis craneométrico en mamíferos carnívoros revela criterios específicos, como la medición de longitudes basales y anchos cigomáticos, que ayudan a evaluar variaciones alométricas asociadas a la fuerza de mordida y el tamaño corporal, facilitando comparaciones entre especies depredadoras (Cruz Martínez, 2022). Además, la alometría craneana, que examina cómo el tamaño del cráneo escala con el del cuerpo, muestra asociaciones con hábitos ecológicos, como terrestres o arborícolas, donde especies arborícolas tienden a tener cráneos más compactos para mayor agilidad, mientras que las terrestres exhiben rostros elongados para dietas especializadas, resaltando cómo estos patrones influyen en la disparidad morfológica general de los mamíferos (Sánchez Corrales, 2023).

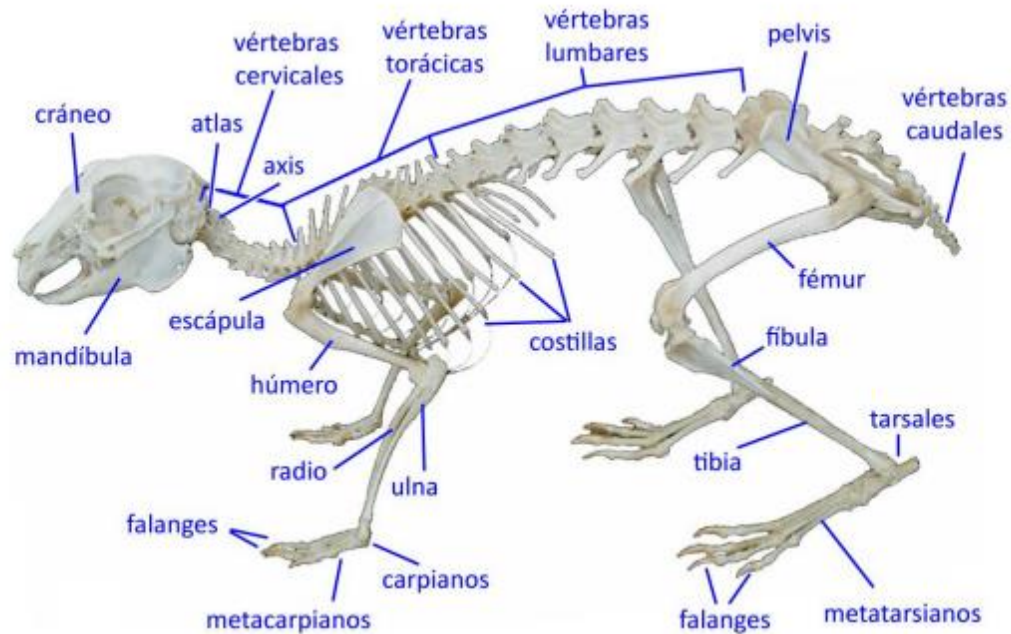


Ilustración 8. Esqueleto de un mamífero (conejo). Tomado de Buencuerpo Arcas, V., et al. (2016)

1.5.1 Caracteres Diagnósticos en los Cráneos de Mamíferos

Entre los caracteres diagnósticos más relevantes, la dentición destaca por su variabilidad. Los mamíferos exhiben dentición heterodonta (con incisivos, caninos, premolares y molares diferenciados), pero las diferencias en número, forma, tamaño y patrón de cúspides son específicas de cada taxón y reflejan adaptaciones dietéticas (Perea Negreira, 2006). Por ejemplo, los carnívoros presentan caninos prominentes y molares carnasiales (premolares y molares modificados como tijeras) para desgarrar carne, mientras que los herbívoros poseen incisivos para cortar y molares anchos con crestas (lofodontos o hipselodontos) para moler vegetación fibrosa.

La morfología de los premolares y molares se relaciona con la función de masticación y la dureza del alimento. Según García-Barrios y Romo (2010):

La forma de la corona de estas piezas responde a una tipología dentro de dos categorías: braquidonto e hipsodonto. En mamíferos carnívoros y omnívoros con coronas bajas, la pieza no sufre un desgaste causado por el alimento fibroso. Por este motivo, el diente aloja la raíz en su totalidad dentro del alvéolo. En contraste, los hipsodontos poseen coronas altas que resisten el desgaste propio de las dietas abrasivas. A su vez, se distinguen subtipos como los secodontos, con filos cortantes para desgarrar carne, y los bunodontos, con cúspides redondeadas adaptadas a la trituración del alimento. En los hipsodontos se reconocen los lofodontos, con crestas que corren más o menos perpendicularmente al eje antero-posterior del diente y se disponen en láminas transversales, típicos de animales de dieta herbívora, y los selenodontos, con crestas en forma de cuarto de luna características de los rumiantes. (García-Barrios y Romo, 2010, p.4)

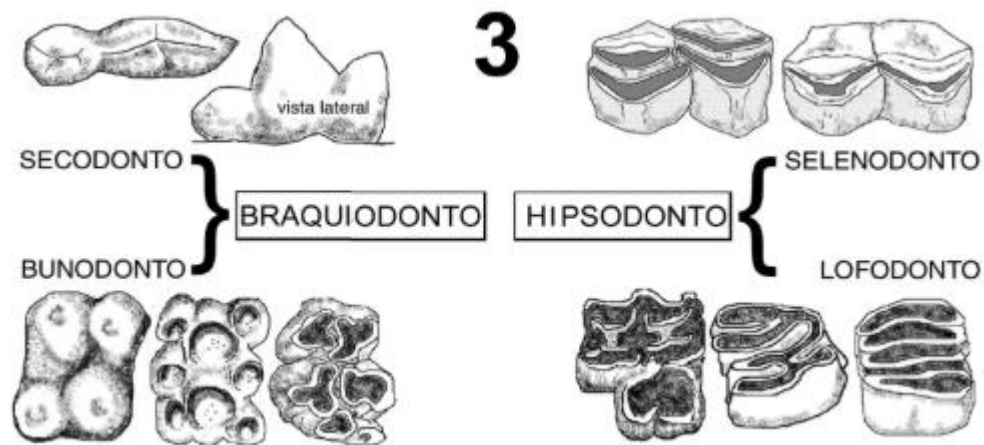


Ilustración 9: Coronas de las muelas. Tomado de García-Barrios, E. y Romo, H. (2010).

En grupos sudamericanos, como roedores, se observan fórmulas dentales básicas con incisivos de crecimiento continuo para contrarrestar el desgaste por dietas abrasivas, lo que subraya la importancia de estos rasgos en la identificación taxonómica (Perea Negreira, 2006; Goswami et al., 2013). La fórmula dental, que indica el número de dientes por tipo en cada

hemimandíbula (superior/inferior), es un carácter clave en taxonomía; variaciones como la diphyodontia (dos conjuntos dentales) en la mayoría de mamíferos contrastan con la monophyodontia o polyphyodontia en grupos especializados, como los roedores con incisivos de crecimiento continuo, permitiendo inferencias sobre la evolución de patrones masticatorios (Perea Negreira, 2006).

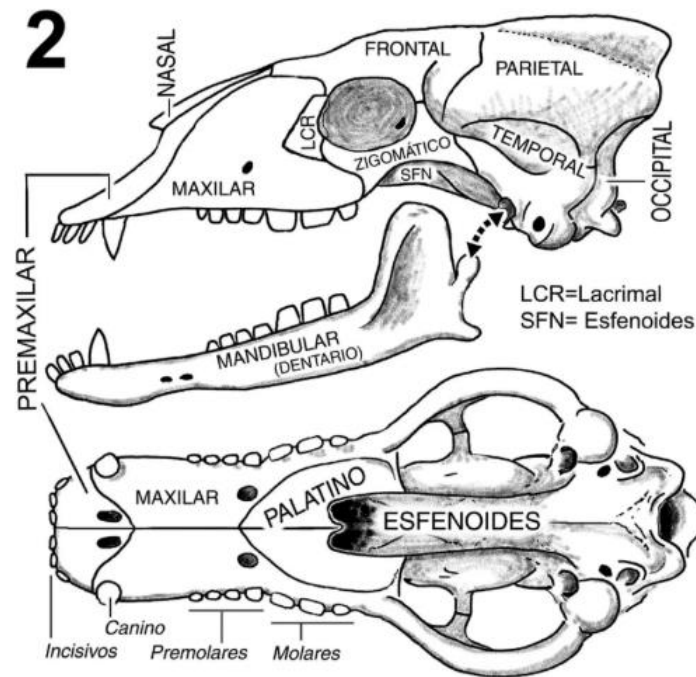


Ilustración 10. Esquema principales huesos. Tomado de García-Barrios, E. y Romo, H. (2010).

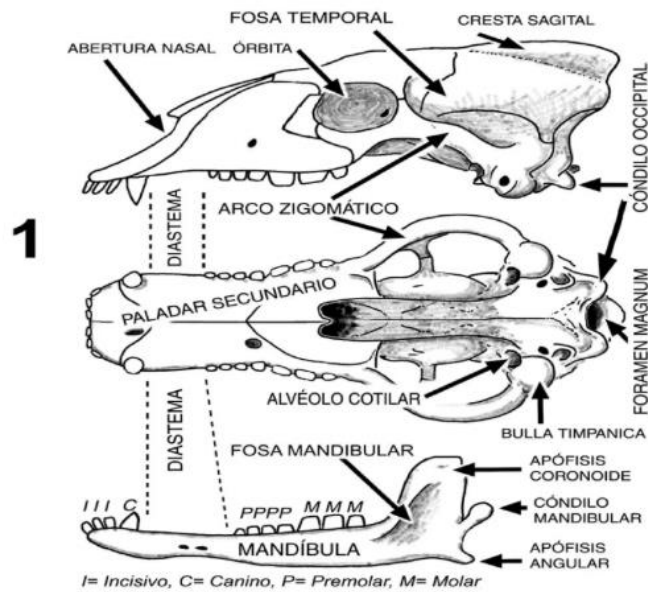


Ilustración 11. Distribución de cráneo mamífero. Tomado de García-Barrios, E. y Romo, H. (2010).

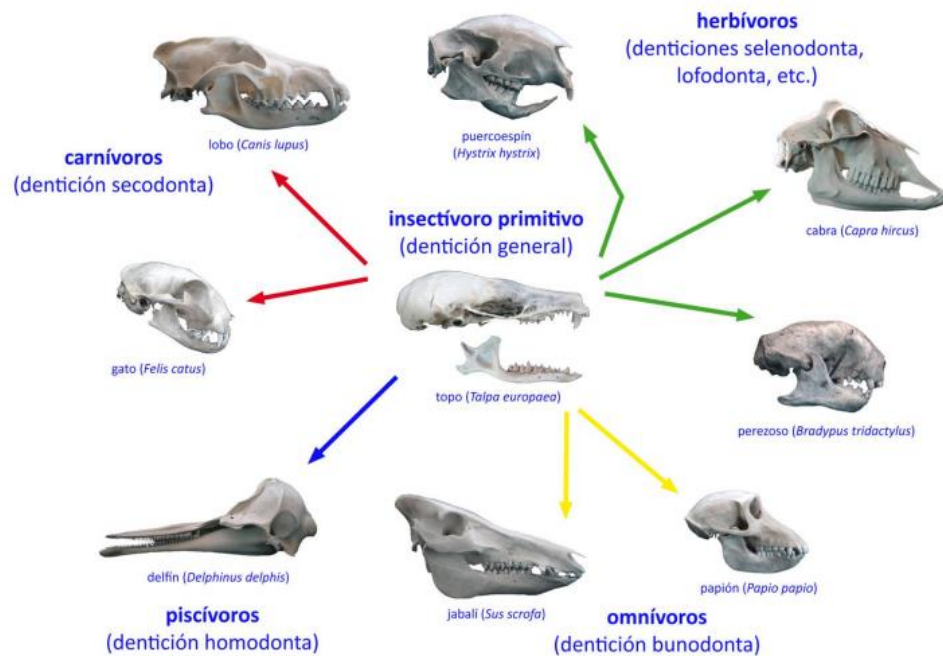


Ilustración 12. Evolución de los diferentes tipos de dentición. Tomado de Buencuerpo Arcas, V., et al. (2016)

Otro carácter diagnóstico es la estructura de la articulación temporomandibular (TMJ), exclusiva entre el dentario mandibular y el escamoso craneal en mamíferos,

diferenciándolos de otros vertebrados (Perea Negreira, 2006). La forma de los cóndilos mandibulares y la fosa glenoidea varía según los movimientos masticatorios: en carnívoros, es una bisagra simple para mordidas verticales potentes, mientras que en herbívoros es más plana para movimientos laterales extensos; en mamíferos carnívoros, esta articulación se evalúa mediante criterios craneométricos para inferir fuerza de mordida y eficiencia depredadora, destacando convergencias evolutivas en la disparidad craneal entre linajes vivos y fósiles (Cruz Martínez, 2022; Goswami et al., 2013).

La bulla auditiva, que encierra el oído medio, varía desde cápsulas pequeñas hasta estructuras infladas, siendo diagnóstica para grupos adaptados a frecuencias específicas o detección de vibraciones terrestres; por ejemplo, en quirópteros se encuentra abultada por el entotimpánico, reflejando adaptaciones auditivas para ecolocalización, mientras que en cetáceos está modificada para audición subacuática, lo que ilustra la evolución funcional de la nariz y estructuras asociadas en entornos acuáticos (Perea Negreira, 2006; Berta et al., 2014). Los procesos postorbitales o el cierre postorbital completo (barra ósea rodeando la órbita) son cruciales en órdenes como Primates, donde indican protección ocular y soporte muscular para visión binocular; en marsupiales, estos procesos son yugales proyectados posteriormente, útiles para distinción taxonómica (Perea Negreira, 2006). Las crestas y líneas craneales, como la cresta sagital, indican inserciones musculares masticatorias y sugieren fuerza de mordida, común en carnívoros o herbívoros con dietas duras; la alometría craneana revela cómo estas crestas escalan con el tamaño corporal, asociándose a dietas que requieren mayor potencia masticatoria en especies terrestres grandes, proporcionando insights (perspectivas) sobre la relación entre forma craneal y nichos ecológicos (Sánchez Corrales, 2023).

1.5.2 Adaptaciones Funcionales en los Cráneos de Mamíferos

Las adaptaciones funcionales del cráneo reflejan la diversidad de nichos ecológicos. En carnívoros, el rostro corto y ancho, órbitas frontales para visión binocular, y cresta sagital prominente anclan músculos temporales potentes, permitiendo mordidas fuertes (Figura 14); la TMJ limita movimientos laterales, optimizando el corte carnasial, como se analiza en criterios craneométricos para evaluar adaptaciones depredadoras y convergencias en morfología craneal (Cruz Martínez, 2022; Goswami et al., 2013). En herbívoros, el rostro elongado, órbitas laterales para vigilancia, y mandíbulas amplias albergan molares grandes; músculos maseteros desarrollados y TMJ plana permiten molienda lateral, con diastemas facilitando manipulación lingual de forraje; en ungulados, como artiodáctilos, estas adaptaciones se vinculan a dietas fibrosas en entornos abiertos, resaltando la reorganización evolutiva del esqueleto craneal para eficiencia funcional (Perea Negreira, 2006; Lautenschlager et al., 2023). Omnívoros exhiben mosaicos, con dentición versátil y movimientos masticatorios variados para dietas mixtas, ilustrando la flexibilidad adaptativa general en mamíferos (Perea Negreira, 2006).

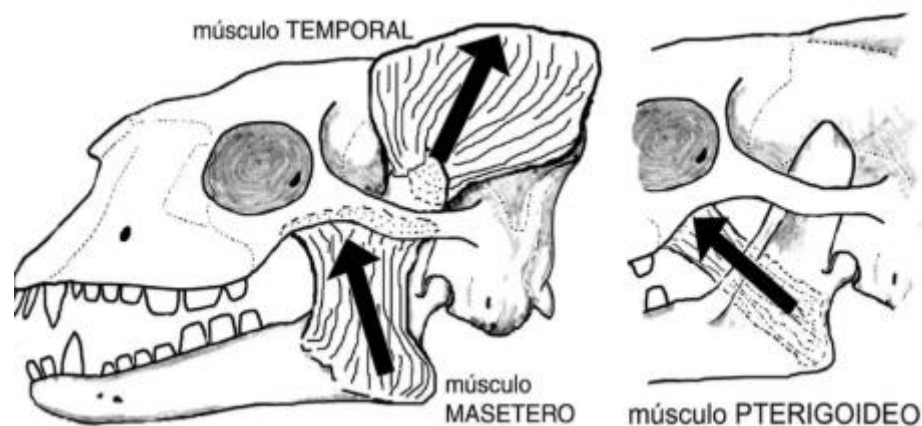


Ilustración 13. Músculos de anclaje con la cresta sagital. Tomado de Garcia-Barrios, E. y Romo, H. (2010).

Adaptaciones defensivas incluyen cuernos (bóvidos) o astas (cérvidos), integrados al cráneo frontal para combate o defensa, reflejando presiones selectivas sociales y ecológicas (Perea Negreira, 2006). En cetáceos acuáticos, el "telescoping" craneal migra narinas dorsales (espiráculo) y reduce nasales/frontales para hidrodinámica y respiración superficial, destacando la evolución de la nariz cetácea desde formas terrestres a acuáticas con énfasis en funciones sensoriales y respiratorias (Berta et al., 2014). En mamíferos fósoriales como topos, el cráneo robusto y cónico resiste excavación, con nasales fuertes, ejemplificando adaptaciones a estilos de vida subterráneos (Perea Negreira, 2006).

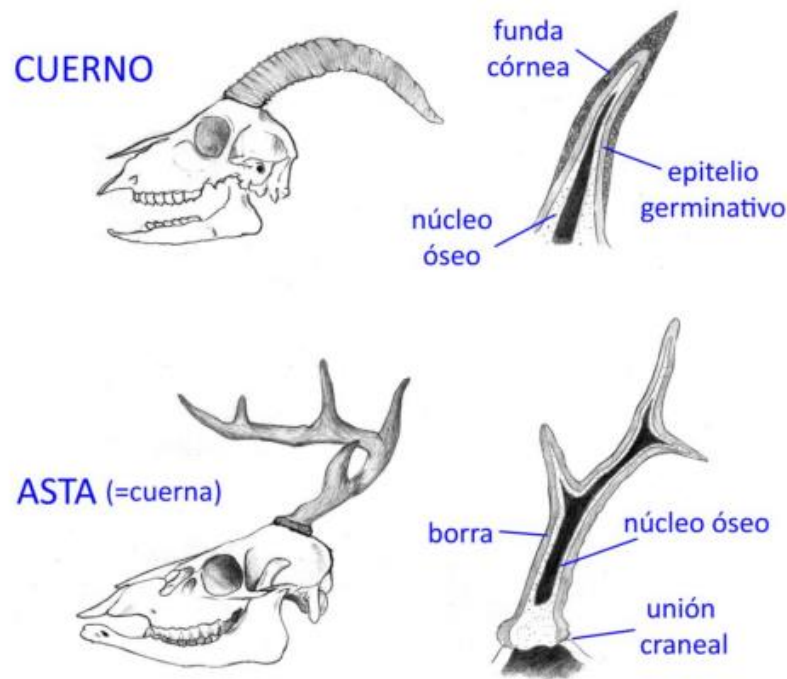


Ilustración 14. Diferencias entre cuerno y asta. Tomado de Buencuerpo Arcas, V., et al. (2016)

Adaptaciones al tamaño cerebral incluyen cajas craneanas expandidas en primates para neocórtex agrandado, reflejando cognición avanzada; la alometría craneana muestra que especies con hábitos arborícolas tienen cráneos más compactos para agilidad, mientras que terrestres exhiben escalados positivos en regiones masticatorias para dietas exigentes,

vinculando directamente la morfología craneal con patrones ecológicos y dietéticos (Sánchez Corrales, 2023). Adaptaciones sensoriales incluyen órbitas grandes en nocturnos y regiones olfativas extendidas con cornetes complejos para olfato agudo, enfatizando cómo estos rasgos respaldan la supervivencia en diversos hábitats (Perea Negreira, 2006).

1.6 Características Craneales y Dentales de Órdenes Seleccionados de Mamíferos

Dentro de la subclase Eutheria, los órdenes representativos de los Placentalia exhiben una diversidad notable en sus adaptaciones craneales y dentales, las cuales reflejan sus estrategias ecológicas y evolutivas. Según Wilson y Reeder (2005), estos órdenes incluyen una amplia gama de especies con distribuciones globales, y sus características anatómicas proporcionan insights clave para la comprensión de su filogenia y función. A continuación, se describen las características craneales y dentales de los órdenes seleccionados, integrando evidencia de fuentes especializadas.

1.6.1 Orden Primates

Los primates se distinguen por un cráneo con un ángulo base craneal reducido y una base craneal relativamente plana en comparación con otros mamíferos, lo que facilita un mayor volumen cerebral y una orientación hacia adelante de los ojos para una visión estereoscópica. Esta configuración craneal incluye un cerebro grande y complejo, órbitas amplias con anillos o copas óseas, y un hocico reducido, adaptaciones que apoyan funciones cognitivas superiores y percepción visual. Ankel-Simons (2017) enfatiza que el cráneo primate muestra variaciones significativas entre subórdenes, con un enfoque en el desarrollo

del neocórtex y la reducción del hocico en formas antropoides, lo que refleja adaptaciones arbóreas y sociales; además, integra aspectos genómicos y fisiológicos para explicar la diversidad craneal en primates existentes, incluyendo humanos. Nowak (1999) complementa esta descripción al destacar la variabilidad craneal entre especies como lémures y grandes simios, señalando cómo la forma del cráneo se adapta a dietas y comportamientos sociales. En cuanto a la dentición, los primates poseen una fórmula dental variable, típicamente entre 18 y 36 dientes, con incisivos especialmente variables y cuatro tipos de dientes: incisivos, caninos, premolares y molares, adaptados a dietas omnívoras o especializadas. Por ejemplo, los frugívoros exhiben incisivos grandes y molares bunodontos para triturar frutas, mientras que los insectívoros tienen molares afilados y puntiagudos para perforar exoesqueletos, con Ankel-Simons (2017) destacando la retención de patrones dentales ancestrales similares a insectívoros en algunos prosimios. Hanken y Hall (1993) contribuyen al entendimiento evolutivo, señalando que el desarrollo craneal en primates involucra mecanismos de integración morfológica que balancean crecimiento cerebral y estructuras faciales. Wilson y Reeder (2005) registran numerosas especies en este orden, destacando su diversidad morfológica craneal asociada a nichos arbóreos y terrestres.

1.6.2 Orden Lagomorpha

Los lagomorfos presentan un cráneo peculiarmente fenestrado en la región rostral maxilar, con un paladar corto y una configuración que soporta una dentición especializada para la herbivoría. Una característica craneal única es el proceso postorbital moderadamente fusionado al cráneo, diferenciándolos de otros mamíferos pequeños, junto con un hocico puntiagudo y una estructura craneal que permite kinesis craneal limitada, lo que facilita

movimientos masticatorios eficientes. Nowak (1999) añade que el cráneo de lagomorfos, como conejos y pikas, muestra adaptaciones para una locomoción rápida y una dieta fibrosa, con énfasis en la robustez de las estructuras óseas. Hanken y Hall (1993) discuten cómo el desarrollo craneal en lagomorfos refleja mecanismos evolutivos que integran forma y función, con énfasis en la diversidad y evolución del cráneo vertebrado, incluyendo adaptaciones para entornos variables. La dentición es distintiva, con dos pares de incisivos superiores (el segundo par como dientes en forma de clavija detrás de los principales) y una fórmula dental de 2.0.3.3/1.0.2.3, donde los incisivos son de crecimiento continuo (evergrowing) (hipertrofiados) para roer vegetación dura, y los molares son hipselodontos con crestas para moler, adaptaciones compartidas con roedores, pero con diferencias en el número de incisivos. Wilson y Reeder (2005) clasifican a los lagomorfos en familias como Leporidae y Ochotonidae, enfatizando su conservación dental ancestral similar a los insectívoros, pero adaptada a la digestión de celulosa.

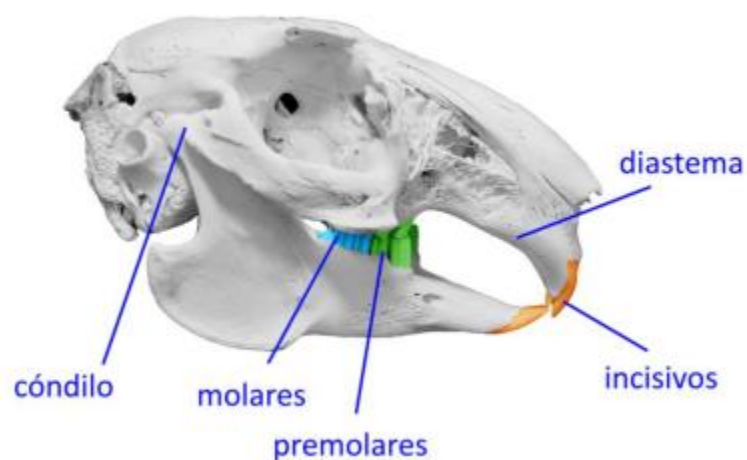


Ilustración 15. Cráneo y dentadura de conejo. Tomado de Buencuerpo Arcas, V., et al. (2016)

1.6.3 Orden Rodentia

Los roedores exhiben un cráneo con una región anterior elongada que acomoda una serie completa de dientes de mejilla grandes, típicamente con un total de 16-22 dientes, y un diastema amplio entre los incisivos y los premolares/molares. La morfología craneal incluye un arco zigomático de altura uniforme, un perfil redondeado, y una configuración muscular mandibular única que permite el uso de incisivos para roer, con variaciones en la forma del cráneo relacionadas con la dirección de la masticación y patrones alométricos. Hanken y Hall (1993) exploran la integración morfológica en el cráneo roedor, destacando cómo el desarrollo ontogenético influye en la variabilidad craneal, con énfasis en patrones evolutivos que responden a presiones ecológicas. Meng y Wyss (2001) aportan una perspectiva filogenética, analizando fósiles como *Tribosphenomys*, un roedoriforme basal, cuya morfología craneal y dental sugiere una transición hacia los Glires modernos con incisivos de crecimiento continuo (evergrowing) y molares simplificados. La dentición es caracterizada por una fórmula típica de 1.0.0.3/1.0.0.3, con incisivos de crecimiento continuo (evergrowing) recubiertos de esmalte naranja debido a minerales de hierro para mayor durabilidad, ausencia de caninos, y molares aradicales (sin raíces) adaptados para moler, reflejando diversificación en dietas hystricomorfas sudamericanas. Nowak (1999) describe la amplia variedad de adaptaciones dentales en roedores, desde ratones granívoros hasta castores adaptados para cortar madera. Wilson y Reeder (2005) documentan la gran diversidad de especies en Rodentia, destacando cómo estas características craneales y dentales facilitan una amplia gama de dietas, desde herbívoras hasta omnívoras.

1.6.4 Orden Carnivora

Los carnívoros poseen un cráneo angular con un hocico pronunciado que permite una mayor fuerza de mordida, arcos zigomáticos fuertes para anclaje muscular, y una cresta sagital prominente en especies depredadoras para soportar tensiones masticatorias. La base craneal es grande, con bullas auditivas no agrandadas pero elongadas, y un perfil craneal adaptado para capturar presas, con integración morfológica que varía entre familias como Felidae. Hanken y Hall (1993) analizan la diversidad y mecanismos evolutivos del cráneo en carnívoros, enfatizando la integración funcional que equilibra desarrollo y adaptación ecológica. Wozencraft (2005) detalla las variaciones craneales y dentales dentro de Carnivora, destacando cómo los caninos y carnassiales se han especializado en felinos para cazar y en cánidos para desgarrar carne. Nowak (1999) añade que la robustez craneal en osos refleja una dieta omnívora con molares adaptados para triturar la vegetación. Dentariamente, presentan una fórmula típica de 3.1.4.2/3.1.4.3 o variaciones, con caninos grandes y cónicos para perforar, dientes carnassiales (premolares y molares modificados como tijeras para cortar carne), y dientes homodontos en algunas formas, con modelado funcional que relaciona forma molar con dieta. Wilson y Reeder (2005) clasifican a los carnívoros en familias como Felidae y Canidae, subrayando cómo estas adaptaciones craneales y dentales reflejan su dieta predominantemente carnívora, aunque con variaciones en omnívoros.

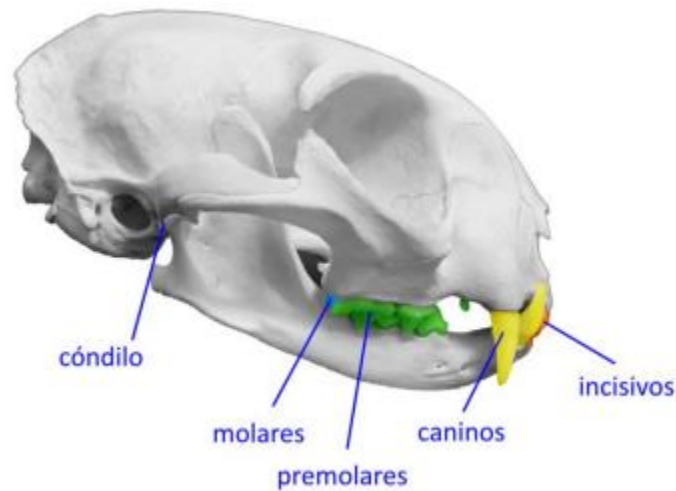


Ilustración 16. Cráneo y dentadura de gato. Tomado de Buencuerpo Arcas, V., et al. (2016)

1.6.5 Orden Cetartiodactyla

En los cetartiodáctilos, el cráneo varía significativamente entre subgrupos terrestres y acuáticos; por ejemplo, en artiodáctilos terrestres, presenta un hocico elongado con un diastema extendido, mientras que, en cetáceos, es telescópico con una dentición homodonta (dientes cónicos similares) adaptada para capturar presas acuáticas. La morfología craneal incluye un gran volumen para el cerebro en cetáceos y cuernos o astas en muchos artiodáctilos para exhibición o defensa, con patrones de desarrollo que integran forma y función. Hanken y Hall (1993) examinan los mecanismos de diversidad craneal en vertebrados, aplicables a cetartiodáctilos, donde el desarrollo ontogenético subyace a variaciones evolutivas en forma craneal relacionadas con adaptaciones acuáticas y terrestres. Nowak (1999) describe la transición craneal en cetáceos desde formas terrestres a acuáticas, con énfasis en el alargamiento del cráneo y la reducción de la dentición en algunos delfines. La dentición es diversa, con fórmulas como 3.1.4.3/3.1.4.3 en artiodáctilos, molares cuadrítuberculares para dietas herbívoras u omnívoras, y variaciones ontogenéticas donde el

M3 erupciona antes que premolares permanentes en rumiantes, con evidencia fósil de transiciones en protocétidos. Wilson y Reeder (2005) reconocen a Cetartiodactyla como una subclase numerosa, integrando cetáceos y artiodáctilos, con características dentales que reflejan transiciones evolutivas de ancestros terrestres a acuáticos.

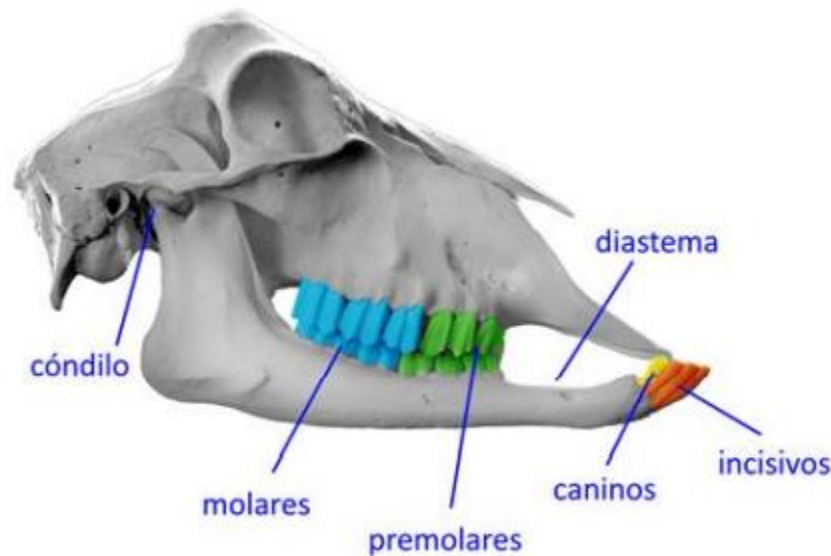


Ilustración 17. Cráneo y dentadura de cabra. Tomado de Buencuerpo Arcas, V., et al. (2016)

1.6.6 Orden Perissodactyla

Los perisodáctilos tienen un cráneo elongado con expansión en los huesos faciales en lugar del cerebro, un hocico extendido con un diastema amplio entre dientes frontales y de mejilla, y una elevación posterior para anclaje muscular. En tapires, el cráneo es particularmente interesante por la presencia de una probóscide, con ontogenia que muestra variaciones en forma asociadas a funciones tróficas y sensoriales, y en rinocerótidos, refleja evolución funcional. Hanken y Hall (1993) abordan los mecanismos de diversidad y evolución craneal, destacando en perisodáctilos cómo el desarrollo integra conservadurismo

y homología en estructuras craneales. Nowak (1999) describe la robustez craneal en perisodáctilos como caballos y rinocerontes, adaptada para soportar cargas pesadas y dietas herbívoras. La dentición incluye una fórmula típica de 3.1.4.3/3.1.4.3, con dientes lofodontos (con crestas) para moler vegetación, incisivos evergrowing en algunos, y molares adaptados para herbivoría, con modificaciones ontogenéticas durante la evolución. Wilson y Reeder (2005) documentan la diversidad limitada de especies extintas en Perissodactyla, enfatizando sus adaptaciones craneales y dentales como ungulados de dedos impares.

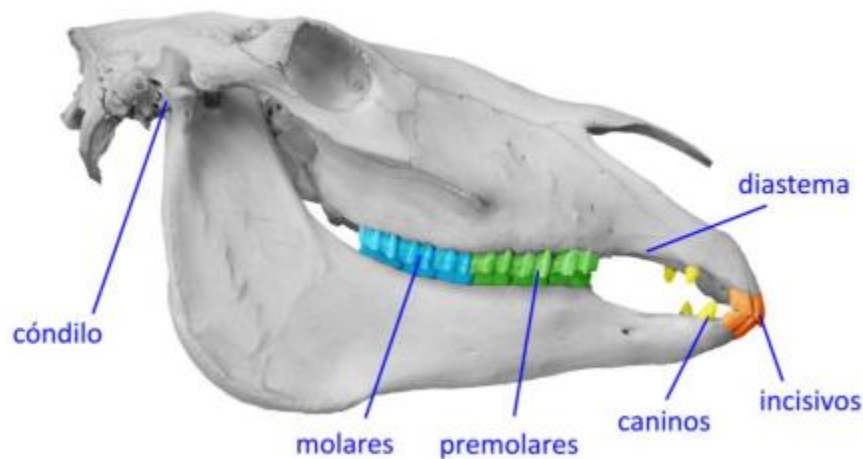


Ilustración 18. Cráneo y dentadura de caballo. Tomado de Buencuerpo Arcas, V., et al. (2016)

1.6.7 Orden Chiroptera

Los quirópteros exhiben un cráneo con órbitas grandes y un cerebro ancho, constricción interorbital ancha, y características como un techo craneal que distingue géneros, adaptado para ecolocalización en microquirópteros y visión en megaquirópteros. La premaxila es un rasgo clave para reconocer familias, con variaciones en forma palatina asociadas a dietas, y no está estrictamente limitada por ecolocalización. Hanken y Hall (1993) contribuyen al análisis de mecanismos evolutivos en cráneos vertebrados, aplicables a

quirópteros donde el desarrollo fetal muestra patrones de crecimiento óseo y cartilaginoso relacionados con funciones sensoriales. Nowak (1999) describe la ligereza craneal en murciélagos como una adaptación para el vuelo, con énfasis en la variabilidad de la dentición según la dieta (insectívora, frugívora). La dentición varía ampliamente, con fórmulas como 2/3, 1/1, 2/2, 3/3 en algunos, dientes con cúspides en forma de W en insectívoros, y adaptaciones para dureza dietaria que predicen rendimiento de mordida, incluyendo similitudes ancestrales con insectívoros. Wilson y Reeder (2005) clasifican a Chiroptera en subórdenes Megachiroptera y Microchiroptera, destacando la integración craneal y dental que soporta diversidad ecológica en murciélagos.

1.6.8 Orden Didelphimorphia

Los didelphimorfos presentan un cráneo con un cerebro pequeño, hocico puntiagudo, ojos prominentes, y una mandíbula con fórmula dental de $5/4, 1/1, 3/3, 4/4 = 50$, caracterizada por caninos grandes, molares trituberculares con talonidos bien desarrollados, y una dentición poliprotodonta. La morfología craneal incluye vibrisas bien desarrolladas, orejas membranosas, y foramina similares a otras marsupiales, con homologías en huesos craneales que reflejan su posición basal, y variaciones ontogenéticas post destete que afectan alometría y función masticatoria. Hanken y Hall (1993) son citados extensamente en estudios de ontogenia craneal en didelphimorfos, destacando escalado alométrico y diseño craneal que integra desarrollo y adaptación, como en especies como *Didelphis albiventris* y *Caluromys philander*. Gardner (2005) proporciona detalles taxonómicos, destacando variaciones craneales entre géneros de Didelphidae que reflejan adaptaciones a hábitats americanos diversos. Nowak (1999) describe el cráneo de zarigüeyas como adaptado para una dieta

omnívora con molares versátiles. Wilson y Reeder (2005) detallan en su checklist especies de Didelphimorphia, como en la familia Didelphidae, dónde comentarios sobre sinónimos incluyen diferencias craneales y dentales para distinción taxonómica, enfatizando su rol en la evolución marsupial americana.

1.7 Anatomía Comparada, Biodiversidad y Evolución en Mamíferos

La anatomía comparada se elige como una disciplina fundamental para explorar las relaciones evolutivas y la biodiversidad entre los mamíferos, al analizar estructuras anatómicas que reflejan tanto su herencia común como sus adaptaciones a diversos nichos ecológicos (Kardong, 2019). Esta metodología permite identificar características homólogas, como los huesos del oído interno en primates, y análogas, como las alas de los quirópteros y las aletas de los cetáceos, ilustrando procesos de convergencia evolutiva (UC Museum of Paleontology, 2025). Según Hickman et al. (2020), estas comparaciones revelan cómo modificaciones en la morfología, como las extremidades prensiles o la dentición especializada, han facilitado la diversificación de especies al optimizar funciones como la locomoción, la alimentación y la percepción sensorial.

La biodiversidad mamífera, estimada en más de 5,400 especies distribuidas en 29 órdenes, es un reflejo directo de la radiación adaptativa impulsada por la evolución (Macdonald, 2006). Esta diversidad no se distribuye uniformemente, siendo órdenes como Rodentia y Chiroptera los más representativos debido a su versatilidad anatómica y capacidad para colonizar hábitats terrestres, subterráneos y aéreos (Hickman et al., 2020). Factores genéticos, como las inserciones y deleciones (indels), han jugado un papel clave en la divergencia morfológica, particularmente en primates, donde diferencias entre humanos y

chimpancés han moldeado características craneales y postcraneales (Wetterbom et al., 2006). Asimismo, el registro fósil proporciona evidencia de transiciones evolutivas significativas, como la reorganización del esqueleto craneal en la transición de cinodontes a mamíferos, subrayando la importancia de la paleontología para rastrear estos procesos (Jablonski, 1999).

Para ilustrar la distribución de la biodiversidad y su relación con la evolución anatómica, se presenta una tabla basada en datos de Macdonald (2006), que sintetiza el número de especies por orden relevante, extraídos de estimaciones actualizadas de la diversidad mamífera:

Tabla 1
Número de especies de mamíferos hasta 2024.

Orden	Número de Especies	Notas Evolutivas/Anatómicas
Primates	521	Extremidades prensiles y cerebro grande, adaptados a comportamientos complejos.
Lagomorpha	74	Patas traseras saltatorias y orejas termorreguladoras, evolución en entornos abiertos.
Rodentia	2494	Incisivos continuos y patas adaptables, máxima diversidad por versatilidad ecológica.
Cetartiodactyla	350	Paraxonia y estómago complejo, transición de terrestre a acuático.
Perissodactyla	17	Mesaxonia y piel gruesa, relictos de ungulados diversificados.

Carnivora	299	Dientes carnales y garras, convergencia en depredación.
Chiroptera	1452	Alas membranosas y ecolocalización, adaptación única al vuelo.
Didelphimorphia	126	Bolsa marsupial y cola prensil, rasgos basales de marsupiales.

Tabla 1: Número de especies de mamíferos hasta 2024. Adaptado de American Society of Mammalogists. (2024).

Esta tabla evidencia cómo la anatomía comparada respalda la biodiversidad, con órdenes como Rodentia (aproximadamente el 42% de las especies mamíferas) destacando por su capacidad evolutiva para adaptarse a múltiples hábitats, mientras que grupos como Perissodactyla reflejan una reducción en diversidad debido a presiones ecológicas históricas (Macdonald, 2006). La evolución, impulsada por cambios genéticos y ambientales, ha moldeado estas disparidades, consolidando la anatomía comparada como un puente entre la morfología y la historia filogenética de los mamíferos.

2. Enseñanza de la Mastozoología en la Formación de Profesores de Biología

2.1 Educar desde la experiencia: aproximación al marco pedagógico

La mastozoología, como rama de la zoología dedicada al estudio científico de los mamíferos, se define como la disciplina que abarca la clasificación, ecología, evolución, comportamiento y conservación de este grupo de vertebrados, caracterizados por glándulas mamarias, pelo y, en la mayoría de los casos, partos vivíparos (StudySmarter, 2024). Esta

área importa en la educación porque contribuye a la comprensión de la biodiversidad, destacando roles ecológicos clave de los mamíferos, como control de plagas por murciélagos o dispersión de semillas por primates y roedores, y su relevancia en la conservación y salud pública (StudySmarter, 2024). En el aula, se estudia la diversidad de mamíferos mediante enfoques interdisciplinarios, utilizando resúmenes didácticos para simplificar conceptos como la evolución desde el Mesozoico, con ejemplos de especies clave como el lobo gris (*Canis lupus*) para roles depredadores o el oso polar como indicador de cambio climático (StudySmarter, 2024).

Para promover un aprendizaje significativo en biología, especialmente en mastozoología, se recomiendan estrategias que integren el conocimiento previo de los estudiantes con nuevos conceptos, como el uso de actividades prácticas para observar comportamientos mamíferos y fomentar la reflexión crítica (Acosta y Boscán, 2014). Estas estrategias, categorizadas en conductistas (refuerzo positivo para transmisión de información), cognitivas (organización mental mediante problem-solving) y constructivistas (analogías y mapas conceptuales para reconstruir conocimiento), se aplican moderadamente en la enseñanza, con énfasis en el problem-solving para analizar ecosistemas mamíferos (Acosta y Boscán, 2014).

En la formación de profesores de biología, las competencias didácticas son esenciales para enseñar mastozoología de manera efectiva, incluyendo el diseño de secuencias didácticas que combinen teoría evolutiva con prácticas colaborativas, como el uso de documentales o simulaciones de hábitats (Blanco, 2020). Estas competencias promueven un enfoque por competencias que integra conocimiento disciplinar con pedagogía, preparando

docentes para aulas inclusivas y preparando estudiantes para salidas laborales en conservación (Blanco, 2020).

2.2 Importancia de la Experimentación en el Aula para la Enseñanza

La experimentación en el aula es un pilar fundamental para la enseñanza de la mastozoología y otras áreas de la biología, ya que fomenta la practicidad e interacción directa entre los estudiantes y los contenidos científicos, promoviendo un aprendizaje activo y significativo (Cook et al., 2014). Esta metodología permite a los estudiantes explorar conceptos como las adaptaciones anatómicas de los mamíferos—por ejemplo, examinando cráneos o observando el comportamiento de roedores en un entorno controlado—, lo que no solo refuerza la retención de conocimientos, sino que también desarrolla habilidades críticas como la observación, la formulación de hipótesis y el análisis de datos (Powers et al., 2014). Estudios destacan que las actividades hands-on incrementan el engagement estudiantil, transformando el aula en un espacio dinámico donde los futuros profesores pueden experimentar con simulaciones de ecosistemas mamíferos o disecciones virtuales, lo que les prepara para diseñar clases interactivas (Gutierrez, 2017).

La experimentación no se limita a la observación pasiva; implica un enfoque constructivista donde los estudiantes construyen su conocimiento a través de la indagación, como realizar experimentos para evaluar la termorregulación en orejas de lagomorfos o medir la fuerza de mordida en modelos de carnívoros (RedALyC, 2023). Este proceso genera tensiones positivas, como el desafío de interpretar resultados inesperados, que potencian el aprendizaje al fomentar la resiliencia y el pensamiento crítico (RedALyC, 2023). Desde niveles iniciales, como la Educación Infantil, el rincón de los experimentos—utilizando

maquetas de mamíferos o actividades sensoriales como tocar pieles preservadas—despierta curiosidad y sentar bases para el razonamiento científico, siendo un recurso valioso para la formación docente (UVaDOC, 2021). Estas experiencias tempranas, cuando se integran en la formación de profesores, les permiten desarrollar estrategias que conectan la teoría evolutiva con la práctica, preparando a los docentes para guiar indagaciones que aborden preguntas abiertas sobre la biodiversidad mamífera (UVaDOC, 2021).

En el contexto de la formación docente, la experimentación en el aula se convierte en una herramienta pedagógica que trasciende la mera transmisión de datos, promoviendo competencias como el diseño de actividades que simulan la interacción ecológica entre especies mamíferas o la evaluación de impactos ambientales (Gutierrez, 2017). Este enfoque práctico no solo enriquece el aprendizaje de los estudiantes, sino que también capacita a los profesores para integrar la experimentación como un medio para cultivar el pensamiento científico, adaptándose a diferentes niveles educativos y contextos culturales (Cook et al., 2014). Así, la experimentación se consolida como un puente entre el conocimiento disciplinar de la mastozoología y su aplicación pedagógica, fortaleciendo la formación de educadores competentes en biología.

2.3 Conocimiento Didáctico del Contenido y Conocimiento Disciplinar del Contenido

El conocimiento didáctico del contenido (PCK, por sus siglas en inglés) y el conocimiento disciplinar del contenido son dos dimensiones complementarias que enriquecen la enseñanza de la mastozoología en la formación de profesores de biología. El conocimiento disciplinar del contenido se refiere al dominio profundo de los conceptos específicos de la biología, como la clasificación taxonómica de los mamíferos, sus

adaptaciones anatómicas (e.g., dentición carnasial en carnívoros) y procesos evolutivos (Park y Oliver, 2008). Este saber es esencial para que los docentes comprendan la base científica que sustentará sus lecciones, permitiéndoles explicar fenómenos complejos como la radiación adaptativa de los roedores o la transición acuática de los cetáceos (Gess-Newsome, 2015).

Por su parte, el conocimiento didáctico del contenido (PCK) trasciende el saber disciplinar al enfocarse en cómo enseñar estos conceptos de manera efectiva, adaptándose a las necesidades y concepciones previas de los estudiantes (Carvalho, 2013). Este enfoque implica diseñar estrategias pedagógicas que hagan accesibles temas como la evolución convergente en mamíferos (e.g., garras retráctiles en felinos y cánidos), utilizando analogías, diagramas filogenéticos o actividades interactivas que aborden malentendidos comunes, como la confusión entre homología y analogía (Park y Oliver, 2008). Carvalho (2013) destaca que la formación docente debe diferenciar entre saber la biología—un conocimiento teórico y factual—y saber enseñarla, un proceso que integra reflexiones sobre el contexto sociocultural y las estrategias de aprendizaje, como el uso de cuestionarios diagnósticos para evaluar comprensión previa sobre biodiversidad mamífera.

En la formación de profesores, el PCK se desarrolla mediante la práctica reflexiva, donde los docentes en formación aprenden a transformar el conocimiento disciplinar en lecciones coherentes y motivadoras, adaptadas a diferentes niveles educativos (López, 2010). Por ejemplo, un profesor puede usar un modelo de cráneo de primate para explicar la visión estereoscópica, combinando datos anatómicos con una discusión sobre su importancia evolutiva, mientras ajusta la explicación según las edades y contextos de sus estudiantes (Gess-Newsome, 2015). Esta integración asegura una enseñanza inclusiva, donde el

conocimiento disciplinar se enriquece con habilidades pedagógicas, preparando a los educadores para abordar temas complejos de mastozoología con claridad y relevancia (Carvalho, 2013; López, 2010).

Además de las dimensiones disciplinar y didáctica, la formación de profesores de mastozoología debe integrar el Conocimiento Tecnológico del Contenido (TK) como eje del modelo TPACK (Mishra y Koehler, 2006). Esta componente implica dominar herramientas digitales (como en este caso, modelos 3D de cráneos, plataformas de realidad aumentada) bases de datos genómicas o simulaciones filogenéticas que permitan representar de modo interactivo conceptos abstractos como la homología ósea o la divergencia morfológica entre órdenes de mamíferos (Jimoyiannis, 2010). El TK no se limita al manejo técnico; exige trasladar el saber biológico a formatos digitales que potencien la visualización, la comparación y la indagación, al tiempo que se alineen con los perfiles socioculturales y de acceso a dispositivos de los estudiantes (Voogt et al., 2013). De esta forma, el profesor en formación aprende a transformar un cráneo físico en un objeto 3D manipulable, un cladograma en una app colaborativa o una filogenia en un video explicativo interactivo, ampliando así las posibilidades de aprendizaje de la mastozoología más allá del aula presencial (Harris et al., 2009).

2.4 Modelos Explicativos en Biología e Integración de Actividades Prácticas en la Formación Docente

Los modelos explicativos en biología representan herramientas conceptuales que ayudan a los estudiantes a visualizar y comprender fenómenos complejos, como la evolución de los mamíferos o sus adaptaciones ecológicas, mediante representaciones simplificadas que

integran datos observacionales y teóricos (Altuna, 2021). En el contexto de la mastozoología, estos modelos—como árboles filogenéticos o diagramas de cadenas alimentarias—facilitan la explicación de conceptos evolutivos, permitiendo a los docentes ilustrar cómo rasgos como la bolsa marsupial en didelfimorfos o las alas en quirópteros surgieron como respuestas adaptativas a presiones selectivas (Driver et al., 1994). Driver et al. (1994) enfatizan que estos modelos se construyen en el aula a través de secuencias prácticas, donde los estudiantes interactúan socialmente para refinar sus ideas previas, pasando de concepciones intuitivas a explicaciones científicas coherentes, como modelar la divergencia evolutiva de carnívoros mediante discusiones grupales y evidencias fósiles.

La integración de actividades prácticas en la formación docente es clave para el uso efectivo de estos modelos, ya que permite a los futuros profesores experimentar con secuencias didácticas que combinan indagación y reflexión, como el análisis de especímenes mamíferos para construir modelos de biodiversidad (Gutiérrez, 2017). Estas actividades no solo refuerzan el conocimiento disciplinar, sino que también fomentan competencias pedagógicas, como el diseño de laboratorios donde los estudiantes modelen la evolución convergente en extremidades de primates y roedores, promoviendo un aprendizaje constructivista (Driver et al., 1994). En la formación inicial, esta integración ayuda a los docentes a reflexionar sobre cómo adaptar modelos explicativos a diferentes niveles educativos, utilizando recursos como diagramas interactivos para explicar la transición de terrestres a acuáticos en cetartiodáctilos, lo que enriquece su repertorio didáctico (Altuna, 2021).

En resumen, los modelos explicativos, cuando se integran con actividades prácticas, transforman la enseñanza de la biología en un proceso dinámico que alinea el conocimiento

teórico con la experiencia empírica, preparando a los profesores para guiar a sus estudiantes en la construcción de explicaciones científicas robustas sobre la mastozoología (Driver et al., 1994; Gutiérrez, 2017).

2.5 Uso de Colecciones Biológicas y Museos, y Desarrollo de Competencias Digitales en Docentes

El uso de colecciones biológicas y museos en la enseñanza de la mastozoología enriquece la formación docente al proporcionar recursos tangibles que conectan a los futuros profesores con la biodiversidad mamífera, permitiendo la exploración directa de especímenes preservados que ilustran adaptaciones evolutivas y ecológicas (Cook et al., 2014). Estas colecciones, que incluyen cráneos, pieles y esqueletos de mamíferos como roedores o carnívoros, sirven como herramientas didácticas para desarrollar aprendizajes significativos, al facilitar actividades prácticas como la identificación taxonómica o el análisis comparativo de estructuras anatómicas (Delgadillo y Góngora, 2009). Delgadillo y Góngora (2009) destacan el uso de herbarios y colecciones zoológicas para fomentar la curiosidad y el pensamiento crítico, proponiendo estrategias como la creación de guías de observación que los docentes puedan replicar en aulas de secundaria. Asimismo, García Franco (2022) sugiere secuencias didácticas basadas en colecciones de vertebrados, incluyendo mamíferos, que integran educación ambiental al analizar la extinción de especies como el tigre de Tasmania, promoviendo una conexión entre ciencia y sostenibilidad en estudiantes de secundaria.

Los museos, como "Casita de Biología" de la Universidad Pedagógica Nacional (Romero, 2019), ofrecen un patrimonio vivo con más de 600 ejemplares—hongos, insectos, fósiles y mamíferos—, que los futuros licenciados en biología utilizan para diseñar

secuencias didácticas innovadoras, como simulaciones de hábitats o análisis de biodiversidad local (Romero, 2019). Estas experiencias prácticas no solo refuerzan el conocimiento disciplinar, sino que también capacitan a los docentes para integrar narrativas científicas que contextualicen la evolución mamífera, como la transición de terrestres a acuáticos en cetáceos (Powers et al., 2014).

Paralelamente, el desarrollo de competencias digitales en docentes se ha visto impulsado por la emergencia de colecciones biológicas virtuales, que permiten acceder a ejemplares 3D y bases de datos taxonómicas sin necesidad de salir del aula (Custodio Aufiero, 2024). Estas plataformas ofrecen simulaciones de disecciones de mamíferos o recorridos virtuales por museos, fortaleciendo la autonomía de los docentes al diseñar actividades interactivas que combinan teoría y práctica (Viafara, 2024). Darrigran (2023) propone integrar colecciones presenciales y virtuales en la educación superior, sugiriendo actividades como el análisis comparativo de especímenes digitales de primates con los físicos, lo que enriquece la calidad educativa al desarrollar habilidades de análisis de datos y colaboración en línea. Este enfoque híbrido prepara a los docentes para entornos educativos modernos, donde las competencias digitales—como el uso de software de modelado 3D o bases de datos genómicas—se combinan con el manejo de colecciones físicas para enseñar conceptos como la filogenia mamífera (Custodio Aufiero, 2024; Darrigran, 2023).

En conclusión, el uso de colecciones biológicas y museos, junto con el desarrollo de competencias digitales, transforma la formación docente en un proceso dinámico que conecta el conocimiento práctico con herramientas tecnológicas, preparando a los educadores para impartir mastozoología de manera innovadora y contextualizada.

2.6 Uso de las TIC en la Enseñanza de la Ciencia

Las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) han revolucionado la enseñanza de la ciencia, particularmente en el ámbito de la mastozoología, al proporcionar herramientas digitales que potencian la comprensión de conceptos biológicos y fomentan un aprendizaje interactivo (Boudadi y Gutiérrez-Páez, 2022). En este contexto, las TIC incluyen animaciones 3D que modelan estructuras mamíferas, como el cráneo de un primate o las alas de un quiróptero, plataformas interactivas que simulan ecosistemas y bases de datos genómicas que permiten analizar la diversidad genética de especies mamíferas (López et al., 2024). Estas herramientas no solo mejoran el engagement estudiantil al ofrecer visualizaciones dinámicas, sino que también facilitan la conexión entre teoría y práctica, permitiendo a los estudiantes explorar la evolución de mamíferos sin depender exclusivamente de especímenes físicos (Altuna, 2021).

En la formación docente, las TIC se integran mediante el diseño de lecciones híbridas que combinan contenido teórico con experimentación virtual, como simulaciones de disecciones o análisis de filogenias mamíferas, promoviendo competencias como el análisis de datos, la colaboración en línea y la adaptación a entornos digitales (López et al., 2024). Este enfoque constructivista alinea la enseñanza con las demandas actuales, preparando a los profesores para guiar indagaciones científicas que integren tecnología, como el uso de aplicaciones móviles para monitorear poblaciones de mamíferos locales o software que modele el impacto del cambio climático en especies como el oso polar (Boudadi y Gutiérrez-Páez, 2022).

El enfoque Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS) enriquece aún más el uso de las TIC, promoviendo una educación científica que vincule los avances tecnológicos con sus implicaciones sociales y ambientales (Acevedo Díaz, 1997). Por ejemplo, los docentes pueden utilizar herramientas digitales para explorar cómo la tecnología ha impulsado la conservación de mamíferos en peligro, como el uso de drones para rastrear tigres, integrando debates sobre ética y sostenibilidad en el aula (Osorio, 2002). Vilches y Solbes (1995) sugieren que las actividades CTS, apoyadas en TIC, deben incluir el análisis crítico de tecnologías como la clonación de especies extintas (e.g., mamuts), fomentando en los profesores habilidades para diseñar secuencias didácticas que conecten ciencia con problemas sociales actuales. Este enfoque no solo actualiza la pedagogía, sino que también prepara a los educadores para formar ciudadanos conscientes del impacto de la tecnología en la biodiversidad mamífera (Acevedo Díaz, 1997; Osorio, 2002).

2.7 Recursos Digitales y Herramientas Tecnológicas

En el contexto de la enseñanza de la mastozoología, los recursos digitales y herramientas tecnológicas juegan un rol primordial al permitir una exploración interactiva de conceptos complejos, como la anatomía y la diversidad de mamíferos, integrando simulaciones y visualizaciones que superan las limitaciones de los métodos tradicionales (Boudadi y Gutiérrez-Páez, 2022). Estos recursos no solo enriquecen el aprendizaje, sino que también fomentan el desarrollo de competencias digitales en los docentes, alineándose con enfoques pedagógicos modernos que enfatizan la práctica y la interacción (López et al., 2024).

2.7.1 Simulaciones y Laboratorios Virtuales

Las simulaciones y laboratorios virtuales representan una innovación clave en la enseñanza de la mastozoología, ofreciendo entornos digitales seguros y flexibles para explorar conceptos biológicos complejos, como la anatomía comparada de mamíferos o sus adaptaciones evolutivas, sin las limitaciones de recursos físicos o éticos (Boudadi y Gutiérrez-Páez, 2022). Estas herramientas permiten a los estudiantes interactuar con modelos virtuales de especímenes, como diseccionar un cráneo de roedor o simular el vuelo de un quiróptero, fomentando un aprendizaje activo que integra observación y experimentación (López et al., 2024). Occelli (2018) enfatiza que las simulaciones en biología facilitan la comprensión de procesos dinámicos, como la migración de cetartiodáctilos o el comportamiento territorial de carnívoros, al permitir manipulaciones repetibles y visualizaciones en tiempo real que refuerzan la construcción conceptual. En la formación docente, estos laboratorios virtuales capacitan a los educadores para diseñar secuencias didácticas que combinen teoría evolutiva con práctica digital, adaptándose a contextos educativos diversos y promoviendo la resolución de problemas basados en escenarios reales de biodiversidad mamífera (Occelli, 2018). Esta ampliación no solo mitiga barreras como el acceso limitado a especímenes, sino que también integra elementos multimedia para enriquecer la experiencia, haciendo la mastozoología más accesible y atractiva para estudiantes de diferentes niveles (Boudadi y Gutiérrez-Páez, 2022).

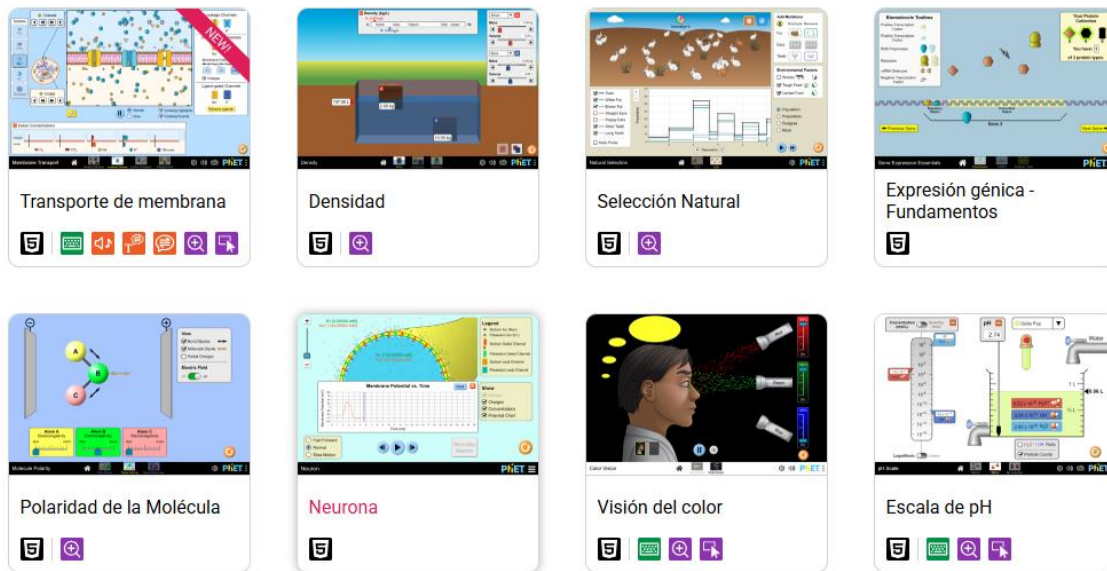


Ilustración 19. Ejemplos de simuladores presentes en el área de biología. Tomado de University of Colorado Boulder. (s. f.)

2.7.2 Aplicaciones y Plataformas Interactivas (PhET, BioDigital Human, etc.)

Las aplicaciones y plataformas interactivas han transformado la enseñanza de la mastozoología al proporcionar entornos dinámicos donde los estudiantes pueden explorar conceptos biológicos de manera inmersiva y personalizada (López et al., 2024). Entre las más destacadas se encuentra PhET Interactive Simulations, desarrollada por la Universidad de Colorado Boulder, que ofrece módulos gratuitos diseñados para biología, incluyendo simulaciones sobre ecosistemas y evolución que pueden adaptarse a la mastozoología (Wieman et al., 2024). Esta plataforma permite a los estudiantes manipular variables como la selección natural en poblaciones de mamíferos—por ejemplo, simular cómo la depredación afecta la distribución de roedores—fomentando el aprendizaje basado en indagación y la comprensión de relaciones ecológicas complejas (Wieman et al., 2024). En la formación docente, PhET capacita a los educadores para diseñar actividades que integren estos simuladores con preguntas abiertas, como analizar la radiación adaptativa de

quirópteros, promoviendo el pensamiento crítico y la experimentación virtual sin riesgos (López et al., 2024).

Otra herramienta clave es BioDigital Human, una plataforma interactiva de anatomía 3D desarrollada por BioDigital Inc. (2025), que expande su enfoque más allá de los humanos para incluir modelos detallados de otros mamíferos, como primates y cetáceos. Esta aplicación permite rotar, diseccionar y explorar sistemas internos—por ejemplo, el sistema respiratorio adaptado al buceo en ballenas o la dentición especializada de carnívoros—en un entorno tridimensional que facilita la visualización de adaptaciones evolutivas (BioDigital Inc., 2025). Para los docentes en formación, BioDigital ofrece oportunidades de crear lecciones interactivas que combinan anatomía comparada con discusiones sobre biodiversidad, utilizando funciones como la superposición de capas anatómicas o la simulación de enfermedades mamíferas, lo que enriquece su repertorio didáctico y fomenta un aprendizaje inclusivo (BioDigital Inc., 2025).

Otras plataformas, como BioInteractive de HHMI (2024), complementan estas herramientas con recursos multimedia gratuitos, incluyendo animaciones y simulaciones sobre genética y ecología mamífera, ideales para ilustrar temas como la filogenia de los marsupiales o la dispersión de semillas por roedores (HHMI BioInteractive, 2024). Estas aplicaciones no solo mejoran el engagement estudiantil al ofrecer experiencias visuales y manipulables, sino que también preparan a los docentes para integrar tecnología en aulas diversas, adaptando contenidos a diferentes contextos educativos y niveles de aprendizaje (López et al., 2024). El uso combinado de estas plataformas fomenta un enfoque constructivista, donde los estudiantes construyen conocimiento a través de la interacción

directa con simulaciones que reflejan la complejidad de la mastozoología (Wieman et al., 2024; BioDigital Inc., 2025).

2.7.3 Realidad Aumentada y Realidad Virtual en la Enseñanza de la Biología

La realidad aumentada (AR) y la realidad virtual (VR) se posicionan como tecnologías disruptivas en la enseñanza de la biología, con un enfoque particular en la mastozoología, al permitir la superposición de elementos digitales en el mundo real o la creación de entornos inmersivos que facilitan la interacción con modelos 3D de estructuras mamíferas y procesos evolutivos (Bermúdez et al., 2018). Estas herramientas no solo superan limitaciones logísticas, como el acceso a especímenes raros o entornos peligrosos, sino que también potencian el aprendizaje al promover experiencias sensoriales y colaborativas que estimulan la curiosidad y la retención de conocimientos (Urbina-López, 2024). Urbina-López (2024) destaca que la AR en contextos universitarios de biología y química mejora la motivación y las habilidades cognitivas mediante trabajo práctico, fomentando la colaboración y la competencia digital; por ejemplo, aplicaciones que superponen modelos 3D de cráneos de primates permiten analizar adaptaciones como la visión estereoscópica, simplificando temas complejos como la evolución cognitiva y reduciendo la brecha entre teoría y aplicación (Urbina-López, 2024). Esta tecnología responde a estilos de aprendizaje variados, permitiendo manipulaciones interactivas que abordan malentendidos comunes, como la confusión entre homología y analogía en extremidades mamíferas, con implicaciones positivas para la formación docente al capacitar a los educadores en el diseño de lecciones híbridas que integran AR con currículos universitarios, mejorando la comprensión de principios científicos y leyes biológicas (Urbina-López, 2024).

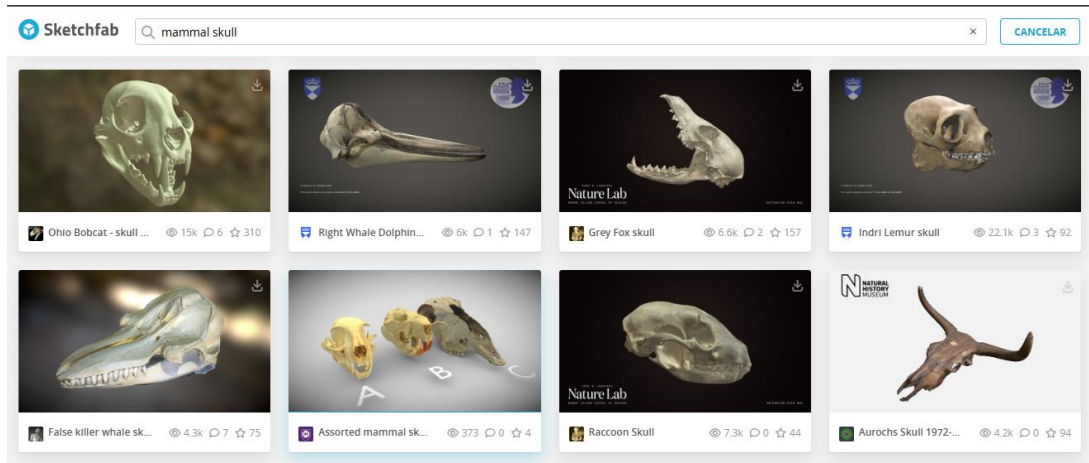


Ilustración 20. Ejemplos de cráneos de mamíferos en 3D en Sketchfab. Tomado de Sketchfab. (s. f.)

Por su parte, la VR ofrece inmersión completa, simulando "viajes" a hábitats mamíferos o disecciones virtuales que exploran la biodiversidad sin limitaciones físicas, mejorando la retención y el entendimiento conceptual en áreas como la anatomía comparada de primates o la ecología de cetáceos (García y Verzi, 2022). Plataformas como VR-Lab Academy (2025) proporcionan más de 240 simulaciones interactivas alineadas con currículos como IB, AP y K-12, incluyendo categorías de biología molecular, fisiología y bioquímica médica que permiten realizar experimentos realistas, como analizar sistemas fisiológicos en mamíferos en entornos multiplataforma (escritorio, tableta o Meta Quest 3), con soporte para más de 40 países y multilingüe (VR-Lab Academy, 2025). Estas experiencias inmersivas, respaldadas por IA para personalización, aumentan el compromiso estudiantil y ofrecen herramientas para profesores como lecciones estructuradas y seguimiento de progreso, facilitando la enseñanza de conceptos complejos como la adaptación al vuelo en quirópteros o la digestión rumiante en cetartiodáctilos, con énfasis en la evolución de rasgos basales como la bolsa marsupial en didelfimorfos (VR-Lab Academy, 2025). En la formación inicial de profesores, la VR capacita a los educadores para crear escenarios educativos inmersivos que

integran indagación científica, adaptándose a desafíos globales como la conservación de mamíferos amenazados (VR-Lab Academy, 2025).

La combinación de AR y VR no sólo mitiga barreras como el acceso limitado a especímenes, sino que también fomenta competencias digitales en docentes, permitiendo la adaptación de contenidos a contextos educativos diversos y promoviendo un aprendizaje inclusivo que conecta la teoría con la práctica real (Bermúdez et al., 2018). Estas tecnologías facilitan la exploración de escenarios hipotéticos, como el impacto del cambio climático en poblaciones mamíferas, ofreciendo revisiones metodológicas que confirman su eficacia en mejorar la comprensión de principios científicos, con aplicaciones en anatomía donde estudiantes manipulan modelos 3D para explorar estructuras internas de mamíferos, reduciendo la brecha entre abstracción y realidad (Urbina-López, 2024). Para la formación inicial de profesores, estas herramientas implican un entrenamiento en su integración pedagógica, asegurando que los educadores utilicen AR/VR para fomentar la exploración autónoma y la colaboración, preparando a los estudiantes para desafíos del siglo XXI en biología y promoviendo una educación científica más equitativa y engaging (VR-Lab Academy, 2025).

La evidencia empírica respalda la eficacia de estas tecnologías en contextos educativos específicos. Una revisión sistemática sobre el uso de RA en ciencias experimentales revela que su implementación mejora significativamente el aprendizaje autónomo y la motivación, con efectos positivos en la comprensión de conceptos biológicos complejos, como la diversidad morfológica de mamíferos, al permitir manipulaciones interactivas que abordan concepciones erróneas comunes (Sánchez Riera y Ramírez Montoya, 2021). En particular, la RA fomenta el trabajo colaborativo, donde los estudiantes

pueden analizar colectivamente adaptaciones como la dentición heterodonta en carnívoros, utilizando dispositivos móviles para superponer modelos 3D sobre especímenes físicos o diagramas, lo que reduce la brecha entre teoría y práctica en aulas con recursos limitados (Sánchez Riera y Ramírez Montoya, 2021).

Experiencias universitarias confirman estos beneficios: en un diseño y evaluación de RA para biología, los estudiantes demostraron mayor comprensión de procesos evolutivos al interactuar con modelos aumentados de mamíferos, como la transición de extremidades terrestres a aletas en cetáceos, con incrementos significativos en el rendimiento académico y la percepción positiva de la herramienta (Barroso Osuna y Cabero Almenara, 2020). Esta aproximación pedagógica, que combina RA con metodologías activas, prepara a los docentes para integrar tecnología en secuencias didácticas que fomentan la indagación, como debates sobre la convergencia evolutiva en garras de felinos y cánidos (Barroso Osuna y Cabero Almenara, 2020).

Asimismo, la percepción del alumnado de pregrado sobre laboratorios virtuales y simulaciones 3D es altamente favorable, destacando su utilidad para visualizar fenómenos abstractos como la filogenia mamífera o la locomoción en lagomorfos, sin los riesgos de laboratorios tradicionales (Mota y Ruiz, 2022). Estos entornos digitales permiten experimentación repetible y personalizada, fortaleciendo la formación inicial de profesores al capacitarlos en el diseño de actividades que integran RA/VR con evaluación formativa, asegurando un aprendizaje inclusivo y adaptado a diversidad estudiantil (Mota y Ruiz, 2022). En conjunto, estas tecnologías no solo enriquecen la enseñanza de la mastozoología, sino que también posicionan a los educadores como facilitadores de innovación pedagógica, alineada

con demandas curriculares globales (Sánchez Riera y Ramírez Montoya, 2021; Barroso Osuna y Cabero Almenara, 2020; Mota y Ruiz, 2022).

2.7.4 Recursos Multimedia en la Enseñanza

Los recursos multimedia, como videos, animaciones y presentaciones interactivas, son fundamentales en la enseñanza de la mastozoología al proporcionar representaciones visuales y auditivas que facilitan la comprensión de procesos biológicos complejos, como la evolución de los mamíferos o sus interacciones ecológicas (BioInteractive, 2024). Plataformas como HHMI BioInteractive ofrecen cortometrajes narrados por expertos y animaciones detalladas sobre temas como la genética de mamíferos o su adaptación a hábitats extremos, permitiendo visualizar la radiación adaptativa de roedores o la transición acuática de cetáceos con gráficos de alta calidad (HHMI BioInteractive, 2024). Estos recursos potencian el engagement estudiantil al combinar narrativas científicas con elementos visuales, fomentando el pensamiento crítico mediante actividades como debates sobre la conservación de mamíferos amenazados, como el tigre de Tasmania (Ambientech.org, 2024). En la formación docente, los recursos multimedia se integran en lecciones que conectan teoría con problemas ambientales actuales, utilizando videos de disecciones virtuales o animaciones de cadenas alimentarias mamíferas para promover un aprendizaje inclusivo y contextualizado (Cedec.intef.es, 2020). Darrigran (2023) subraya que la virtualidad multimedia complementa colecciones físicas, permitiendo simulaciones de hábitats mamíferos que enriquecen la calidad educativa y preparan a los docentes para entornos digitales diversos (Darrigran, 2023).

2.7.5 Diseño de Materiales Didácticos Digitales

El diseño de materiales didácticos digitales implica la creación de recursos interactivos, como e-books, módulos en línea y guías multimedia, que integran simulaciones y contenido visual para enseñar mastozoología, adaptándose a las necesidades educativas y niveles de aprendizaje (Iglob.ig.edu.co, 2023). Herramientas como Quizlet o Canva permiten elaborar flashcards digitales sobre clasificación taxonómica de mamíferos o infografías que detallan adaptaciones evolutivas, como las extremidades prensiles de primates, desarrollando en los docentes habilidades para producir contenido engaging y accesible (Quizlet, 2024). Plataformas como Cuadernia facilitan la generación de materiales que incorporan ecología y anatomía mamífera, alineados con currículos modernos y diseñados para entornos híbridos, promoviendo un aprendizaje autónomo (Iglob.ig.edu.co, 2023). Darrigran (2023) destaca que la integración de recursos virtuales en materiales didácticos combina colecciones biológicas digitales con narrativas multimedia, como animaciones de la locomoción saltatoria en lagomorfos, mejorando la calidad educativa (Darrigran, 2023). Además, aplicaciones móviles de realidad aumentada (RA) como Biología RA, desarrollada por Lion Studios (2023), ofrecen modelos 3D interactivos de estructuras mamíferas que los docentes pueden incorporar en sus materiales, permitiendo a los estudiantes explorar anatomías como la dentición de carnívoros en tiempo real (Lion Studios, 2023). CRISPR-3D, una herramienta de la Innovative Genomics Institute (2024), introduce biología molecular en RA, permitiendo visualizar procesos genéticos en mamíferos, como mutaciones en genes relacionados con la adaptación al frío en osos polares, enriqueciendo los materiales con enfoques interdisciplinarios (Innovative Genomics Institute, 2024). El Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y Formación del Profesorado (INTEF, 2025) proporciona

simuladores y laboratorios virtuales que apoyan el diseño de estos recursos, ofreciendo guías para integrar herramientas TIC que mejoran la enseñanza de la mastozoología, como simulaciones de ecosistemas mamíferos, y fomentan competencias digitales en los docentes (INTEF, 2025). Estos diseños optimizan la enseñanza, utilizando software libre para promover la inclusión y adaptarse a contextos educativos diversos (Medigraphic.com, 2018).

ANTECEDENTES

La revisión de antecedentes constituye un componente esencial en el desarrollo de la investigación, al permitir la identificación de avances, tendencias, vacíos y perspectivas en torno al objeto de estudio. Para su elaboración, se empleó la metodología del Mapeamiento Informacional Bibliográfico (MIB) propuesta por Molina y colaboradores (2009), la cual orienta la organización sistemática, categorización y análisis crítico de la información disponible en la literatura científica. Esta metodología posibilita reconocer las relaciones entre autores, enfoques teóricos y contextos investigativos, favoreciendo la construcción de una visión integral del campo de conocimiento. En este sentido, el presente apartado se fundamenta en dicha estrategia con el propósito de ofrecer un panorama sólido y contextualizado de los estudios previos que sustentan y orientan la propuesta investigativa.

Tabla 2

Antecedentes de la investigación.

Pilar temático	Localidad	Nº	Año	Datos de publicación	Autor (es)	Título	Palabras clave	Abstract	Campo temático
Mastozoología morfología anatomía	Local	1	2017	Bio – grafía. Escritos sobre la Biología y su Enseñanza. ISSN 2027- 1034 Edición Extraordina ria. p.p. 1078 – 1087	Yonier Alexander Orozco Marín	TRATAMIENT O DIDÁCTICO DEL CONCEPTO BIODIVERSIDA D EN ESPACIOS NO FORMALES DE EDUCACIÓN: UNA MIRADA DESDE LA INVESTIGACIÓ N EN EL CAMPO	Concepto biodiversidad, Educación en Museos y Zoológicos, Educación no formal, Enseñanza de la biología, Espacios de educación no formal.	La enseñanza de la biodiversidad ha venido constituyéndose como prioridad en diferentes escenarios educativos formales y no formales. Actualmente se reconoce la necesidad de formar ciudadanos sean conscientes de la importancia de la biodiversidad y de posibles estrategias individuales y colectivas para su conservación. Los museos, zoológicos, acuarios, entre otros espacios vienen implementando estrategias para divulgar conocimientos sobre la biodiversidad a variados públicos, generando un campo de investigación que se pregunta por los procesos de enseñanza y aprendizaje de este concepto en estos espacios. El objetivo del presente texto fue el de caracterizar el abordaje didáctico dado al concepto de biodiversidad en espacios de educación no formal, a través del análisis de investigaciones que tuvieron como objeto de estudio, de manera explícita, el abordaje del concepto en el sistema didáctico interno y/o externo de diferentes espacios de educación no formal. Fueron analizadas 18 investigaciones, identificando los siguientes elementos de análisis: La transposición museográfica del concepto y la adecuación del espacio pensando en la experiencia del visitante, en el	Proporciona una comprensión sobre cómo se aborda la biodiversidad en espacios no formales, destacando la importancia de la transposición museográfica y la experiencia del visitante.

								sistema didáctico interno. En el sistema didáctico externo fueron identificados la búsqueda de evidencias de aprendizaje en diversos públicos, el proceso de aprendizaje en la visita, el papel del mediador y la relación escuela- espacio no formal de educación. Se defiende la necesidad de profundizar en este campo de investigación con el fin de fortalecer la dimensión educativa de estos espacios.	
		2	2021	Bio -grafía Escritos sobre la Biología y su Enseñanza. Edición Extra- Ordinaria. Memorias del I Congreso Nacional de Investigación en Enseñanza de la Biología. VI Encuentro Nacional de Investigación en Enseñanza de la Biología y la Educación Ambiental.	Guillermo Fonseca A	El Conocimiento Didáctico del Contenido del concepto de biodiversidad en profesores en formación de biología. Un estudio de caso desde el diseño de una unidad didáctica.	Formación de profesores, Conocimiento didáctico de contenido, enseñanza de la biología, biodiversidad.	La formación como profesores de biología en Colombia, tiene diversos retos en relación con su propia condición biogeográfica y la diversidad cultural que lo caracteriza. En este sentido en el proceso formativo de los futuros profesores de biología de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, se establece una relación entre el conocimiento didáctico del contenido, como un conocimiento particular del profesor y el concepto estructurante de biodiversidad, para comprender el mundo biológico. La configuración del CDC se realiza desde un ejercicio interpretativo del diseño de una unidad didáctica, que pretende aportar en la construcción de este concepto dirigido a un grupo de niñas y niños de educación primaria.	Aporta herramientas conceptuales y metodológicas para trabajar la biodiversidad como contenido clave en la formación de futuros docentes de biología.

								investigadores nacionales y extranjeros en los últimos diez años. Dado el impacto que tiene la Colección es importante fortalecer los procesos de divulgación de la información y búsqueda de alianzas para que la Colección continúe contribuyendo al conocimiento de la diversidad de mamíferos del país	
	Nacional	4	2014	Mantilla, H, Cadena, A y Jiménez, A. (2014). Historia de la mastozoología en Colombia: Pasado, presente y perspectivas . Pp. 153-174. Historia de la mastozoología en Latinoamérica, las Guayanas y el Caribe (J Ortega, JL Martínez y DG Tiria, eds.). Editorial Murciélago Blanco y Asociación Ecuatoriana	Hugo Mantilla, Alberto Cadena y Alex Jiménez	Historia de la mastozoología en Colombia: Pasado, presente y perspectivas	Colecciones científicas, historia de la ciencia, investigadores, Sociedad Colombiana de Mastozoología	Realizamos una sinopsis del desarrollo de la mastozoología como disciplina científica en Colombia. Enlazamos aquellos eventos relevantes para el campo en el contexto de la historia del país. Este recuento incluye apuntes sobre los registros de mamíferos en el legado precolombino obtenidos de trabajos antropológicos sobre las principales culturas que habitaron el territorio de Colombia, así como también aportes sobre la fauna mastozoológica extraídos de algunos de las principales crónicas de la época de la conquista. Para este trabajo, consideramos como punto de inicio de la actividad mastozoológica en Colombia, las observaciones de los primeros naturalistas que desarrollaron su actividad en el país en la época de La Ilustración, entre los siglos XVIII y XIX. Sigue en nuestro recuento una referencia a la participación de instituciones internacionales en la documentación de la fauna de Colombia a finales del siglo XVIII y principios del XX, así	Evidencian que, uno de los avances más significativos de la mastozoología colombiana ha sido su establecimiento como disciplina científica y espacio profesional, que conlleva a la construcción colectiva de un marco conceptual propio. La expansión de la diáspora académica ha resultado en la descentralización de la mastozoología y la aparición de nuevos actores institucionales en los cuatro puntos cardinales de la geografía colombiana

				de Mastozoología, Quito y México, DF				como notas sobre la creación de las primeras colecciones científicas por parte de los hermanos lasallistas y el inicio de la documentación sistemática de los mamíferos de Colombia, a cargo de científicos e instituciones nacionales en la primera mitad del siglo XX. Se hace referencia a la labor de las universidades Nacional de Colombia y de Los Andes como centros de formalización de la actividad mastozoológica como una disciplina científica en Colombia, a partir de la década de 1960; a estas instituciones se suman la Universidad del Valle; las dos últimas universidades mencionadas se han vinculado a estudios de enfermedades zoonóticas en las décadas de 1970 y 1980. Se atribuyen a estas tres universidades la generación de las principales escuelas mastozoológicas en Colombia a través de sus programas académicos. Identificamos a las figuras de Jorge I. Hernández Camacho, Alberto Cadena y Michael Alberico como los gestores de estos procesos. Se hace un recuento del efecto académico de estas escuelas, con la mención de los principales investigadores e instituciones que en la actualidad lideran la actividad mastozoológica en Colombia. Finalmente, se describe la motivación y el contexto en que se da la creación de la Sociedad	
--	--	--	--	--	--	--	--	---	--

								Colombiana de Mastozoología y se identifican las tendencias investigativas en el campo a través del análisis de trabajos presentados en los principales eventos científicos realizados en el país, entre 2000 y 2012	
		5	2016	Noguera, E. (2016). Mastozoología en Nariño y algunos comentarios sobre la biogeografía de la región. Revista De Ciencias, 7(1)	Elkin Noguera	Mastozoología en Nariño y algunos comentarios sobre la biogeografía de la región	Conservación, geología, inventarios, Nudo de los Pastos, riqueza	Los patrones biogeográficos de los mamíferos son el reflejo de los procesos filogenéticos, geológicos y ecológicos. La heterogeneidad y complejidad del paisaje nariñense son la fuente de una alta riqueza de mamíferos y la presencia de las montañas de los Andes, el Océano Pacífico y la cuenca del Amazonas han influenciado su evolución. La riqueza reportada de mamíferos en Nariño es aproximadamente 182 especies, pero hay pocas explicaciones acerca del contexto biogeográfico de esa diversidad. El objetivo de este manuscrito es revisar el estado actual de la mastozoología en Nariño y presentar un breve resumen sobre los aspectos geológicos y biogeográficos que posiblemente participaron en la evolución de los mamíferos en el área. Además, se revisa la historia de la mastozoología en Nariño, la distribución espacial de la riqueza de especies de mamíferos en Nariño y se discute la necesidad de nuevas investigaciones para llenar algunos vacíos de información en la costa del Pacífico y las tierras Amazónicas. Se presentan algunas perspectivas y oportunidades para la	Evidencia que históricamente los mamíferos han hecho parte de la cultura nacional, desde las antiguas culturas prehispánicas hasta la actualidad. Sin embargo, el concepto que hay de estos organismos está de forma asimétrica, donde falta por estudiar algunas poblaciones ubicadas en zonas casi inexploradas, por ende, revela que es necesario unir esfuerzo interinstitucionales para desarrollar estrategias de investigación y conservación, así como, realizar estudios acerca de la ecología de estos grupos

								conservación de mamíferos en la región. Finalmente, se concluye que la mastozoología en Nariño debería centrarse en el estudio de los patrones espaciales y temporales para explicar la diversidad de mamíferos.	
		6	2015	Medina, W, Macana García, D. C, y Sánchez, F. (2015). Aves y mamíferos de bosque altoandino-páramo en el páramo de Rabanal (Boyacá-Colombia). Ciencia en Desarrollo, 6(2), 185-198. Retrieved October 27, 2025, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-74882015000200008&lng=en .	Medina, W, Macana García, D. C, y Sánchez, F	Aves y mamíferos de bosque altoandino-páramo en el páramo de Rabanal (Boyacá-Colombia)	Andes, altiplano cundiboyacense, avifauna, inventarios de biodiversidad, mastofauna	El páramo de Rabanal en Colombia es considerado un reservorio hídrico para la región del altiplano cundiboyacense, y ha sufrido un grave deterioro por actividades humanas. Los inventarios de la biodiversidad son útiles para ejecutar planes adecuados de conservación de especies y sus ecosistemas; por ello, se realizó un inventario de aves y mamíferos del sector Matanegra en Rabanal, municipio de Ventaquemada (Boyacá). Para el registro de aves se emplearon recorridos y puntos de observación, detecciones ad libitum y redes de niebla. Para el estudio de mamíferos se usaron recorridos de observación, trampas de captura en vivo y búsqueda de rastros. Se registraron 57 especies de aves y 14 de mamíferos, entre las que se destacan taxones con distribución restringida (<i>Anas andium</i> , <i>Colinus cristatus bogotensis</i> , <i>Fulica americana columbiana</i> , <i>Gallinago nobilis</i> , <i>Eriocnemis cupreiventris</i> , <i>Conirostrum rufum</i> , <i>Atlapetes pallidinucha</i> , <i>Myioborus ornatus</i> , <i>Sporagra spinescens</i> , <i>Cryptotis thomasi</i> y <i>Thomasomys niveipes</i>); en categoría de amenaza	Evidencia la necesidad de preservar la integridad ecosistémica, por lo que las áreas protegidas son esenciales para garantizar la permanencia de las especies en los diferentes ecosistemas nacionales, y para ello, resalta la relevancia los procesos pedagógicos ambientales con las comunidades locales y las investigaciones de comportamiento de las especies

								(Cuniculus taczanowskii y Nasuella olivacea), y se presentan 39 nuevos registros para la zona. El número de especies en Rabanal es bajo, comparado con áreas protegidas en Boyacá y Cundinamarca; sin embargo, a pesar de la intervención antrópica, Rabanal aún contiene elementos típicos de ecosistemas andinos. Se recomienda adelantar procesos pedagógicos con la comunidad local para mitigar los impactos sobre el páramo	
	Internacional	7	2021	CienciaAmérica (2021) Vol. 10 (1) ISSN 1390-9592 ISSN-L 1390-681X	Carlos Ramos Galarza	DISEÑOS DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL	experimentos, cuasi-experimentos, pre-experimentos, intervención, Revista CienciaAmérica.	La investigación experimental se caracteriza por la manipulación intencionada de la variable independiente y el análisis de su impacto sobre una variable dependiente. En cuanto a sus sub-diseños se encuentran los estudios de tipo: (a) pre-experimental, caracterizado por realizar una intervención únicamente en un grupo, (b) cuasi-experimental, en el cual se trabaja con un grupo experimental (o más), un grupo control y se asigna a los participantes a ambos grupos de forma no probabilística y (c) el tipo experimental, en el cual se cuenta con uno o más grupos de intervención, un grupo control y la asignación de los participantes en los diferentes grupos se lo hace de manera aleatoria probabilística.	Aporta claridad metodológica sobre cómo aplicar diseños experimentales en estudios con intervención educativa, como el uso de RA y modelos 3D en contextos formativos.

								En este contexto, en el presente editorial se tiene como finalidad realizar una breve descripción de cada uno de estos sub-diseños de la investigación experimental y los diferentes elementos que se debe tener en cuenta al momento de su planteamiento.	
		8	2014	Medina, A y Saldaña, O. (2014). Historia de la mastozoología en Nicaragua: Una retrospectiva sobre la investigación en el país y su futuro. Pp. d. Historia de la mastozoología en Latinoamérica, las Guayanas y el Caribe (J Ortega, JL Martínez y DG Tiria, eds.). Editorial Murciélago Blanco y Asociación Ecuatoriana	Arnulfo Medina y Octavio Saldaña	Historia de la mastozoología en Nicaragua: Una retrospectiva sobre la investigación en el país y su futuro. Pp. d. Historia de la mastozoología en Latinoamérica, las Guayanas y el Caribe (J Ortega, JL Martínez y DG Tiria, eds.). Editorial Murciélago Blanco y Asociación Ecuatoriana de Mastozoología, Quito y México, DF	Conservación, futuro, investigadores, perspectivas, publicaciones	El desarrollo de la mastozoología en Nicaragua tiene una historia relativamente corta y, para la mayoría de nicaragüenses, desconocida; sin embargo, mucha de nuestra comprensión sobre la diversidad y distribución de mamíferos se relaciona con la historia de colecciones hechas en el país, las cuales se han concentrado básicamente en museos extranjeros. Las primeras evaluaciones mastozoológicas se realizaron a finales del siglo XVIII, con una casi absoluta participación de investigadores foráneos, hasta el involucramiento de los primeros naturalistas nacionales a mediados del siglo XX. Desde entonces, no ha existido una asociación o grupo que haya aglutinado al gremio mastozoológico nicaragüense; aunque ha habido un par de iniciativas ambientales surgidas en 1987 y 2000, las cuales de manera general manejaban las principales clases taxonómicas de vertebrados; también existe un grupo interesado y organizado alrededor de los mamíferos con énfasis en los quirópteros. El documento hace una revisión de	Proponen que al estudiar a los mamíferos es relevante también realizar los estudios poblaciones de dichos organismos, así como, los factores de amenaza y sus estados de conservación. Por lo tanto, la disposición de educar y comunicar la información relacionada con estas poblaciones y sus nichos ecológicos, conllevan a un camino hacia una relación armoniosa, donde se pueda compartir el espacio vital con elementos de la biodiversidad nacional sin recurrir a su cautiverio

				de Mastozoología, Quito y México, DF				los periodos de mayor importancia en el desarrollo de este campo en el país; incluye una síntesis de las principales publicaciones y datos generales sobre el tema, además se discuten las dificultades y logros y se proponen algunas acciones para llegar a conformar un gremio sólido de especialistas nacionales que se involucren activamente en las estrategias regionales latinoamericanas de mastozoología	
		9	2014	Samudio, R y Pino, J. (2014). Historia de la mastozoología en Panamá. Pp. 329-344. Historia de la mastozoología en Latinoamérica, las Guayanas y el Caribe (J Ortega, JL Martínez y DG Tiria, eds.). Editorial Murciélago Blanco y Asociación Ecuatoriana de Mastozoología	Rafael Samudio y Jorge Pino	Historia de la mastozoología en Nicaragua: Una retrospectiva sobre la investigación en el país y su futuro. Pp. d. Historia de la mastozoología en Latinoamérica, las Guayanas y el Caribe (J Ortega, JL Martínez y DG Tiria, eds.). Editorial Murciélago Blanco y Asociación Ecuatoriana de Mastozoología, Quito y México, DF	Conocimiento, conservación, diversidad, mamíferos	Panamá como país de Centroamérica es pequeño pero con una rica mastofauna como resultado de su posición geográfica, variedad de hábitats y larga historia de estudios mastozoológicos. Para Panamá se pueden identificar cuatro periodos de estudios sobre los mamíferos: 1. Crónicas españolas, 2. Colonialismo científico, 3. Estudios norteamericanos en el área del Canal, y 4. Escuela Panameña. Aunque en la última década el registro del número de especies de mamíferos panameños ha aumentado a 264, este incremento ha sido bajo ya que se espera encontrar nuevas especies en las áreas montañosas, insulares y boscosas. La ecología de ciertos grupos (murciélagos, primates) es mejor conocida, pero este conocimiento es parcial ya que se restringe a estudios en el área del Canal. También hace falta determinar las distribuciones nacionales de un gran número de	Se evidencia que a nivel de Panamá y de latinoamérica hay una alta riqueza de especies de mamíferos. Sin embargo, faltan estudios para reconocer estos organismos y particularmente unos grupos, ya que la mayoría de estudios realizados provienen de investigaciones extranjeras. Por lo tanto, es necesario incentivar y promover programas académicos e investigaciones nacionales alrededor de este tema

				gía, Quito y México, DF				mamíferos panameños, más aun debido a la funcionalidad de Panamá como corredor biológico. De los 13 órdenes de mamíferos panameños hay algunos que han sido más estudiados (Chiroptera, Primates, Rodentia), mientras que a otros se les ha prestado poca atención (Lagomorpha, Sirenia, Cetacea). Para mitigar las amenazas a los mamíferos, Panamá ha establecido programas de conservación in situ y ex situ, que en algunos casos son para especies focales y en otros son parte de un programa de biodiversidad. El conocimiento adquirido sobre nuestra mastofauna sugiere que todavía hay mucho que descubrir sobre su diversidad y ecología, pero para alcanzar este objetivo se necesitan más mastozoólogos panameños y un mejor financiamiento de investigación	
		10	2014	Briones-Salas, Miguel, Ramos, Dagoberto, y Santiago, Yadira. (2014). Análisis de los trabajos presentados en los Congresos Nacionales organizados por la	Miguel Briones, Dagoberto Ramos y Yadira Santiago	Análisis de los trabajos presentados en los Congresos Nacionales organizados por la Asociación Mexicana de Mastozoología (AMMAC)	Conferencias, conservación, eventos, historia, mamíferos	Se presenta un análisis de los trabajos presentados en 11 congresos nacionales de mastozoología (CNM) organizados por la Asociación Mexicana de Mastozoología A.C. (AMMAC), realizados desde 1991 hasta 2012. Los trabajos se organizaron en una base de datos y se agruparon en 11 temas principales y 68 subtemas específicos, grupos taxonómicos, entidades federativas más estudiadas e instituciones nacionales y extranjeras. Se registró un total de 2,527 trabajos,	Se ha observado que el interés por el estudio y cuidado de los mamíferos ha ido en aumento en los últimos años, y en ese sentido, han aumentado los estudios relacionados con estos organismos. Por ende, proponen que es necesario que la comunidad científica preocupada por el conocimiento y conservación de los mamíferos considere estas producciones para profundizar los estudios de regiones, temas y especies poco tratadas

				Asociación Mexicana de Mastozoología (AMMAC). Therya, 5(2), 461-480. https://doi.org/10.12933/therya-14-204				1,596 en la modalidad de presentación oral y 931 en la modalidad de cartel. El número de trabajos presentados se ha incrementado notablemente a lo largo del tiempo. Los congresos en donde se ha presentado la mayor cantidad de estos son: el X CNM (Guanajuato, 2010) con 476 y el XI CNM (Veracruz, 2012) con 430. Los temas más trabajados fueron sobre ecología 32 % (n = 795) y conservación 14 % (n = 356), mientras que los menos presentados fueron de fisiología 3 % (n = 84). El estado de Oaxaca ha sido el más estudiado 10 % (n = 212) mientras que el de Zacatecas ha sido el menos estudiado 0.5% (n = 11). Los grupos taxonómicos más estudiados de acuerdo a cada categoría han sido: el orden Carnivora 25 % (n = 657), la familia Muridae 48 % (n = 346), el género Peromyscus 6 % (n = 233) y la especie Odocoileus virginianus 4 % (n = 170). Destaca la ausencia de estudios sobre el orden Erinaceomorpha. Estos resultados proponen la necesidad de reorientar los estudios en ciertas entidades del país y con temas y grupos taxonómicos poco tratados.	
Uso de las TIC en la enseñanza	Local	11	2011	Educación y Educadores, vol. 14, núm. 1, enero-abril,	Avila, G Riascos, S	Propuesta para la medición del impacto de las TIC en la enseñanza universitaria	Educación superior, informática educativa, modelo educativo,	El objetivo general de este artículo es establecer una metodología apropiada que permita medir el impacto de las TIC en los procesos de enseñanza-	Aporta en la comprensión del impacto pedagógico de las TIC en los procesos de enseñanza-aprendizaje, en la evaluación del uso de herramientas tecnológicas en contextos educativos y

				2011, pp. 169-188			evaluación de la educación, enseñanza asistida por ordenador.	aprendizaje en la educación superior (Impactic). El contexto de la investigación se centra en facultades de corte humanístico. La construcción de Impactic se encuentra relacionada con la fundamentación, especialmente en el análisis de los modelos pedagógicos, el proceso de inclusión de las TIC en el contexto educativo y el impacto de la tecnología en el ambiente educativo	en la reflexión sobre los modelos pedagógicos mediados por tecnología.
		12	2018	Revista interamericana de investigación, educación y pedagogía, vol. 11, núm. 1, pp. 101-126, 2018	Gutiérrez, C	Herramienta didáctica para integrar las TIC en la enseñanza de las ciencias	Estrategia didáctica, ciencias naturales, TIC, Objeto virtual de aprendizaje.	En los retos actuales que se plantean para la educación, se debe reconocer el papel que desempeñan la lectura, la escritura y las TIC en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias naturales. Este artículo describe un trabajo que se desarrolla en torno a la comprensión del movimiento parabólico simple, utilizando la interdisciplinariedad entre física y lenguaje con el objetivo de relacionar los métodos científicos y las competencias comunicativas al quehacer diario en la escuela. Siguiendo una investigación cuasi-experimental con enfoque cuantitativo, se aplicó una encuesta a los estudiantes de grado décimo de una Institución Educativa en la ciudad de Santiago de Cali - Colombia, donde se logró identificar como principal necesidad, dinamizar el proceso de enseñanza-aprendizaje de la física, involucrando actividades mediadas por TIC que	Aporta en la integración de las TIC en la enseñanza de las ciencias naturales, en la articulación entre competencias científicas y comunicativas mediante enfoques interdisciplinarios, y en la innovación de estrategias pedagógicas que dinamizan el aprendizaje y motivan a los estudiantes.

								fortalezcan las competencias científicas. El proyecto se planteó como una respuesta proactiva y exploratoria a la necesidad de mejorar e innovar los métodos de enseñanza-aprendizaje y dar respuesta a los retos que son planteados por los estudiantes en la actualidad. Como resultados tras la aplicación de la herramienta diseñada, se logró evidenciar la mejoría en el interés por el tema y las actividades propuestas en la clase, además de un fortalecimiento en las pruebas evaluativas aplicadas periódicamente	
		13	2025	Documento Informe proyecto practica pedagogía y didáctica	Valentina Pillimue Henao	DESCUBRIENDO LOS MAMÍFEROS DE COLOMBIA EN LA CIUDAD: ENSEÑANZA DE DIVERSIDAD DE MAMÍFEROS POR MEDIO DE RECURSOS VIRTUALES PARA ESTUDIANTES DEL GRADO NOVENO DEL COLEGIO ATABANZHA I.E.D.	Biodiversidad, mamíferos colombianos, realidad virtual, fichas educativas, ecología, estudiantes de secundaria, didáctica innovadora, conservación.	Este artículo presenta la sistematización de una experiencia pedagógica desarrollada con estudiantes de grado noveno del Colegio Atabanzha I.E.D., en la ciudad de Bogotá, orientada a fortalecer el conocimiento sobre la diversidad de mamíferos colombianos mediante el uso de tecnologías educativas y recursos didácticos innovadores. La propuesta, titulada “Descubriendo los mamíferos de Colombia en la ciudad”, integró fichas interactivas, modelos 3D y recorridos por museos virtuales, articulados con actividades lúdicas e investigativas. Desde un enfoque metodológico mixto y bajo el paradigma socio-crítico, se diseñaron e implementaron sesiones de aula que buscaron responder a las condiciones contextuales,	Aporta en la enseñanza de la biodiversidad mediante el uso reflexivo de tecnologías educativas, en la comprensión del aprendizaje situado y contextualizado en entornos urbanos, y en la sistematización de experiencias pedagógicas innovadoras que articulan recursos digitales con la educación ambiental.

								tecnológicas y pedagógicas de los grupos participantes. Los resultados muestran avances en la identificación de especies nacionales, en la comprensión de amenazas ambientales y en la motivación hacia el aprendizaje de las ciencias naturales. De igual forma, se identificaron desafíos vinculados a la autonomía digital, la comprensión lectora y las trayectorias diferenciadas de los estudiantes. La experiencia permitió concluir que el uso reflexivo de tecnologías, vinculado a una guianza docente crítica y situada, puede enriquecer la enseñanza de la biodiversidad nativa en contextos escolares urbanos.	
	Nacional	14	2017	Pérez, I. (2017). Estrategias para implementar las TIC en el aula de clase como herramientas facilitadoras de la gestión pedagógica	Iván Fernando Pérez Loaiza	Estrategias para implementar las TIC en el aula de clase como herramientas facilitadoras de la gestión pedagógica	No aplica	En la actualidad los procesos educativos, implican un cambio de paradigmas frente a la manera cómo los estudiantes en la sociedad contemporánea de la información o también llamada sociedad del conocimiento aprenden, y al mismo tiempo ha empezado a determinar la manera como el maestro enseña; puesto que sin duda, las demandas y necesidades son muy diferentes a las de hace pocos años, dado el avance e incorporación de las nuevas tecnologías a cada uno de los diferentes contextos, y en especial al educativo, donde si bien su inmersión en este escenario no ha sido rápida, poco a poco ha despertado la inquietud	Los docentes evidencian que en el entorno educativo las nuevas tecnologías han tomado una gran relevancia en las aulas, por lo que se vuelve como un objetivo docente el realizar y motivar una búsqueda de nuevas alternativas pedagógicas que consideren estos aspectos

								en algunos actores educativos y hacer de ellas, herramientas aliadas que favorezcan el desarrollo de habilidades y destrezas en sus estudiantes. Y es justo allí donde las diferentes estrategias para la incorporación de las TIC al aula de clase, se han vuelto indispensables y recurrentes, ya que las múltiples herramientas de apoyo generan dinámicas diferentes para enseñar y aprender, dadas las diversas posibilidades que ofrecen en cuanto a contenidos, almacenamiento, interacción, acceso a la información, comunicación, entre otros; aspectos que han motivado a la implementación de metodologías flexibles en el aula de clase, donde el estudiante aprende haciendo, interactuando, descubriendo; y al mismo tiempo el docente asume un rol de acompañante, de guía y orientador, que aprende de manera permanente, y donde el sentido de enseñar se convierte en una doble vía.	
		15	2020	Lorduy, D., y Naranjo, C. (2020). Tecnologías de la información y la comunicación aplicadas a la educación en ciencias.	Danny Lorduy y Claudia Naranjo	Tecnologías de la información y la comunicación aplicadas a la educación en ciencias	Educación en ciencias, ciencia, tecnología y sociedad [CTS], competencias tecnológicas, tecnologías de la información y la comunicación [TIC]	El uso de las tecnologías de la información y la comunicación [TIC] ha mostrado tener aceptación para aumentar la motivación de los estudiantes, ya que les permite desarrollar competencias tecnológicas, la creatividad y la innovación. El objetivo de la presente investigación fue caracterizar el uso de las TIC en el área de ciencias naturales como factor	Evidencian que desde el desarrollo del contenido de las ciencias naturales se plantea el uso de las TIC como un potencial para no solo el desarrollo de competencias tecnológicas, también para el desarrollo del pensamiento orientado desde el componente CTS. Además, actualmente no hay muchas alternativas pedagógicas que se relacionen con el uso de las TIC para los procesos de enseñanza-aprendizaje de las ciencias naturales

				Praxis y Saber, 11(27), e11177. https://doi.org/10.19053/22160159.v11.n27.2020.11177				asociado al aprendizaje de contenidos en ciencia, tecnología y sociedad [CTS]. La muestra estuvo conformada por quince estudiantes de noveno grado y dos docentes del área de ciencias de una institución educativa pública en Colombia. La investigación fue cualitativa con enfoque fenomenológico. Se usaron la observación no participativa, entrevistas semiestructuradas y el análisis de contenido cualitativo. Se observó el cambio en el aprendizaje de los estudiantes con el uso de las TIC en el componente CTS. Este uso propició la motivación, la atención y la participación durante el desarrollo de las actividades. Por lo tanto, es imperativo fortalecer la educación en ciencias desde ambientes tecnológicos para que los estudiantes puedan dar soluciones a situaciones problemáticas de su contexto	
		16	2023	Mosquera, J, Roper, L y Correa, Y. (2023). <i>La gamificación y el uso de las TIC como Estrategia de Enseñanza y Aprendizaje en el Aula</i> . Universidad	Mosquera, J, Roper, L y Correa, Y	La gamificación y el uso de las TIC como Estrategia de Enseñanza y Aprendizaje en el Aula	Gamificación; Enseñanza; Aprendizaje; Motivación; Didáctica	El presente artículo tiene como propósito dar cuenta de la incidencia que tiene el uso de la gamificación como estrategia de enseñanza y aprendizaje en el aula, de igual forma dar a conocer los resultados producto de la implementación de la estrategia en las instituciones educativas Monseñor Díaz Plata del municipio del Tarra Norte de Santander y César Conto del municipio de Bojaya Chocó, a su vez reflexionar sobre la importancia de innovar las	Evidencia que la gamificación como estrategia de enseñanza y aprendizaje logra aprendizajes significativos en los estudiantes, ya que, despierta el interés y la motivación en los estudiantes y logra mantener la atención lo cual favorece notablemente el aprendizaje

				Cooperativa de Colombia				practicas pedagógicas que utilizan los docentes de ambas instituciones desde una perspectiva tecnológica e investigativa; para lo cual, se desarrolla esta investigación desde una metodología etnográfica ya que los datos recolectados son producto de la observación participante	
	Internacional	17	2024	REVIEW article Front. Educ. , 02 October 2024 Sec. Digital Learning Innovations Volume 9 - 2024 https://doi.org/10.3389/feduc.2024.1458695	Singh, Kaur y Gulzar	The impact of augmented reality on education: a bibliometric exploration	Realidad Aumentada (RA), Educación, Tecnología Educativa, Aprendizaje Móvil, Aprendizaje en línea.	Education is one of the many sectors in which augmented reality has been successfully implemented. To determine how Augmented Reality (AR) supports education, this bibliometric study analyzes 1734 articles extracted from the Scopus database between 2010 and mid-2023. The study aimed to determine patterns in productivity, authorship and collaboration patterns, publications, citation structures, general research tendencies, and bibliographic coupling. Biblioshiny and VOSviewer were employed in this investigation. The outcomes of the study indicate an ongoing trend of increasing publication counts or more contributions since 2016, and still a trending topic studies on interactive learning environments and AR in education and knowledge constitute niche areas, while epidemiology, science education, and mobile augmented reality are important research topics that were underdeveloped and indicate a relationship that is both	Identifica tendencias, autores clave, y vacíos temáticos sobre AR en educación.

								emerging and declining, based on a thematic analysis of the papers. Furthermore, the outcomes demonstrate that the USA, Spain, and the United Kingdom have the strongest global cooperation despite the USA writing more articles. To offer an ideal road map for scholars who would like to carry out research in this area, this paper also looks at the trendsetting in augmented reality in education.	
		18	2009	Pixel-Bit. Revista de Medios y Educación N° 34 Enero 2009 pp.217 - 233	José Sánchez Rodríguez	PLATAFORMA S DE ENSEÑANZA VIRTUAL PARA ENTORNOS EDUCATIVOS	Plataformas de Aprendizaje, Aprendizaje asistido por tecnologías de la información, estándares	In the present work it is clarified what understands by Platform for Virtual Learning, the tool that must have to fulfill their objectives and a vision of the types of existing platforms (commercial, free software and own development) is made, as well as of its advantages and disadvantages. Likewise, the importance of the standards is commented, elements that should be standardized and the benefits that suppose for the users. Some agencies they are cited that have arisen for their creation and monitoring. Finally, trails on the election of a platform are given.	Proporciona una comprensión detallada sobre las plataformas de enseñanza virtual.
		19	2024	Discover Education, Volumen 3, Artículo 136, Springer.	Thangavel, S., Mishra, N., et al.	Exploring mouse necropsy through augmented reality: developing a web application for enhanced	Augmented Reality (AR), WebAR, necropsy, anatomy education, veterinary training.	El estudio desarrolló una aplicación WebAR para guiar a los estudiantes en el procedimiento de necropsia de ratón, recreando diez pasos clave mediante modelos 3D generados por fotogrametría. La herramienta fue evaluada por estudiantes,	Evidencia el potencial de la RA para la enseñanza anatómica en mamíferos, aportando base metodológica para aplicarla en mastozoología con cráneos.

						learning and visualization		quienes resaltaron su accesibilidad, escalabilidad y bajo costo. Los resultados sugieren que la WebAR mejora la visualización y comprensión de técnicas anatómicas, constituyéndose en una alternativa prometedora a los métodos tradicionales.	
		20	2009	Industrial Data, vol. 12, núm. 2, julio-diciembre, 2009, pp. 61-67	"Mayta, R León, W"	El uso de las TIC en la enseñanza profesional	Internet, multimedia, innovación, comunicación	El objetivo de este artículo es dar respuesta a la siguiente pregunta ¿Para qué deben ser usadas las TIC en la enseñanza profesional? El primer paso es la integración de las TIC en el proceso de enseñanza, la constante capacitación de los docentes en tres áreas: pedagogía, gestión y cultura informática, integrar las TIC en el curriculum, la capacitación vía TIC y la medición del acceso de internet como el indicador más importante de las TIC. El estudio involucra un análisis del acceso a las TIC por regiones en el mundo, America Latina y en el Perú, donde se encontró que en Norteamérica el porcentaje de usuarios de Internet es de 74,2% y el que tiene menor porcentaje de usuarios es África con 6.8%, existiendo una gran brecha. El que tiene mayor porcentaje de usuarios en America Latina es Chile con 50.4%. El porcentaje de hogares con servicio de TIC en el Perú es de 7,6% en Internet, 60% en telefonía celular,	Aporta en la reflexión sobre el propósito formativo de las TIC en la educación profesional, en la identificación de brechas de acceso y uso tecnológico a nivel regional, y en la importancia de la capacitación docente y la integración curricular de las tecnologías para una enseñanza pertinente y equitativa.

								18,9% en TVcable y 29% en telefonía fija.	
Formación de profesores	Local	21	2012	Parra Mosquera, Carlos Andrés. (2012). TIC, Conocimiento, educación y competencias tecnológicas en la formación de maestros. <i>Nómad</i> as, (36), 145-159	Parra, C	TIC, Conocimiento, educación y competencias tecnológicas en la formación de maestros	TIC, educación, competencias tecnológicas, formación de maestros, perspectiva histórica de las TIC	Una aproximación histórica a las TIC en el campo educativo y pedagógico en Colombia, permite reconocer algunas modificaciones en el sentido del conocimiento y en los lugares y maneras en que éste se produce y circula. En tal perspectiva, esquemáticamente, se presentan los resultados de la investigación y un caso concreto referido a una propuesta de carácter nacional sobre las competencias tecnológicas y profesionales en la formación de maestros. Se concluye con la crítica del modelo dominante para entender las relaciones entre conocimiento, TIC y educación	Evidencio que hablar de cambios en el sentido del conocimiento no significa demostrar que la razón instrumental ha desaparecido o que ha sido reemplazada, se trata de documentar cómo se actúa, refina y complejiza mediante nuevas maneras, estrategias y agentes
		22	2011	Baracaldo Quintero, Martha Elena. (2011). La subjetividad en la formación de maestros. <i>Nómad</i> as, (34), 247-259	Baracaldo, M	La subjetividad en la formación de maestros	Subjetividad, preocupación de sí mismo, cuidado de sí, conocimiento de sí, formación de maestros, prácticas pedagógicas	El presente artículo aborda el asunto de la inclusión de mecanismos de cuidado de sí en la formación de maestros, con el propósito de generar prácticas pedagógicas que sirvan para educar la subjetividad. Intenta examinar la relación entre el pupitre, el cuaderno y el tablero, a la vez que mostrar cómo dichas relaciones configuran sujetos escolares. Desde este supuesto, se describen algunas afectaciones y se presentan una serie de interrogantes sobre la posibilidad de abordar la subjetividad, teniendo en cuenta la	Evidencia que es necesario precisar estrategias que posibiliten la construcción de diferentes modos de vida que tengan en cuenta las relaciones vitales, que como resalta la autora, son fundamentales para la formación de maestros

								implementación de las variaciones en el uso de estas prótesis.	
		23	2015	Cabra Torres, Fabiola, y Marín Díaz, Dora Lilia. (2015). Formar para investigar e innovar: tensiones y preguntas sobre la formación inicial de maestros en Colombia. Revista Colombiana de Educación, (68), 149-171. Retrieved October 22, 2025, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-39162015000100007&lng=es .	Fabiola Cabra Torres y Dora Lilia Marín	Formar para investigar e innovar: tensiones y preguntas sobre la formación inicial de maestros en Colombia	Licenciatura, innovación, investigación, política educativa, formación inicial de maestros	El artículo presenta algunos de los resultados del estudio titulado Formación en investigación e innovación en programas de licenciatura en los campos de Ciencias Sociales, Artes y Humanidades, Ciencias Naturales y Educación y Pedagogía, cofinanciado por el Ministerio de Educación y la Pontificia Universidad Javeriana. En este se rastrearon y analizaron los objetivos y las estrategias de formación en investigación e innovación empleados por diferentes programas en los cuatro campos de conocimiento enunciados. Entre otros resultados, el estudio mostró que en las tres últimas décadas la investigación y la innovación fueron piezas claves de la tríada profesionalización, cualificación y actualización que orienta la preparación de los maestros, y que se inscribe en políticas de profesionalización docente que desplazan la atención de las prácticas de enseñanza propias de la acción de los maestros hacia tareas investigativas y de innovación destinadas a producir conocimiento pedagógico y transformaciones en el aula y la escuela.	Evidencian la necesidad de fortalecer los aspectos de la práctica pedagógica articulada con el saber pedagógico, el cambio y la innovación como nociones subyacentes de las formaciones de maestros investigadores
	Nacional	24	2004	Cajiao R., F., y Colombia. Departamen	Cajiao, F	La formación de maestros y su impacto social		La educación es un bien público; está en la base de la libertad, de la justicia, de la democracia, los pilares de las sociedades	Aporta en la **comprensión del vínculo entre educación, ciencia y tecnología** como base del desarrollo social, en la **reflexión sobre la formación

				to Administrat ivo de Ciencia, T. e. I. C. (2004). La formación de maestros y su impacto social. Colciencias; Cooperativa Editorial Magisterio				modernas; hace posible el ejercicio pleno de estos atributos de la sociedad por parte de sus miembros. Ahora, en la era del conocimiento, que es la de la información, es claro que sólo con educación, ciencia y tecnología es posible que los países accedan a las dinámicas globales, al crecimiento económico y al desarrollo social. El desarrollo de la política nacional de ciencia y tecnología está articulado a la educación. En el marco de esta política, la posibilidad de formar en el país los recursos humanos que se necesitan para ampliar las capacidades nacionales en ciencia y tecnología, se sustentan en la calidad y la pertinencia de la educación que se ofrece en el país. En este sentido, parece claro que la educación que se le ofrece a los colombianos exige de grandes replanteamientos y desarrollos para que pueda responder a los retos que plantea la formación de las actitudes propias del espíritu científico y la capacitación en las aptitudes necesarias para la investigación y la innovación; tenemos que hacer grandes esfuerzos en esta materia en el futuro próximo si queremos recuperar la distancia que nos separa del nivel deseable de desarrollo. Esta es una discusión que aún no hemos asumido con la suficiente decisión y seriedad	científica y la innovación educativa** en el contexto colombiano, y en la **necesidad de replantear las políticas y prácticas educativas** para fortalecer las capacidades investigativas y tecnológicas en la escuela.
		25	2014	Murcia, Napoleón, y	Napoleón Murcia y	Educabilidad y normalidad.	Tesoros Unesco:	Se presentan los resultados de la investigación "la Educabilidad del	El estudio muestra de forma contundente la relación ontológica entre

				Jaramillo, Diego Armado. (2014). Educabilidad y normalidad. Imaginarios de maestros en formación. Sophia, 10(2), 9-22. Retrieved October 23, 2025, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-89322014000200002&lng=en.	Diego Armado Jaramillo	Imaginarios de maestros en formación	Formación de maestros, enseñanza superior, control	sujeto: una aproximación desde los imaginarios sociales de maestros en formación" cuyo propósito fue comprender la dinámica de los imaginarios sociales de los maestros en formación sobre la educabilidad como una dimensión de la pedagogía. Se tomó como referencia la teoría de los imaginarios sociales y las aplicaciones de esta Educación. El enfoque y diseño se desarrolló desde la complementariedad, apoyándose en los análisis del discurso desde sus funciones principales y sus relaciones con las dimensiones del imaginario social: (referencial: imaginario social instituido; expresiva y pragmática: imaginario social radical/instituyente. El análisis de la información se realizó desde la lógica de coordenadas sociales. El estudio muestra que la dinámica de los imaginarios sociales que configuran los maestros en formación se define desde lo acordado y validado socialmente como imaginario instituido, con asomos esporádicos de imaginarios radical/instituyentes. En tal sentido, recoge aquello normalizado en las instituciones educativas, aunque alberga proyectos y movilizaciones psicosomáticas, algunas de las cuales se perfilan como opción de realización social. Así, los procesos de educación y de	la teoría pedagógica y la teoría de los imaginarios sociales en tanto las consideraciones básicas de la teoría de los imaginarios social (Ser: socio-histórico; Tiempo: creación) se reflejan constantemente en las dinámicas que movilizan las categorías de la educabilidad. De igual forma, la racionalidad magmática en que define la naturaleza de los imaginarios sociales, define también la naturaleza del sujeto educable toda vez que en esta se presentan permanentes ebulliciones que funden multiplicidad de dimensiones del ser humano generando relativos estatismos en la superficie de las prácticas pedagógicas pero mostrando en su interior, y a la vez, movilidades capaces de desplazamiento de lo establecido
--	--	--	--	---	------------------------	--------------------------------------	--	---	--

								formación de formadores, están configurados sobre todo por un saber práctico y permeados por los conocimientos disciplinares, del saber pedagógico, curricular y didáctico, pero al mismo tiempo, están cruzados por la carga simbólica, cultural y cotidiana que trae consigo el maestro que se forma.	
		26	2004	Hernández Vega, G., (2004). Formación de Maestros en el Departamento de Nariño. Revista Historia de la Educación Latinoamericana, 6(6), 127-146.	Gabriela Hernández Vega	Formación de maestros en el departamento de Nariño	Escuelas Normales - valores educativos- educación práctica	En las primeras décadas del siglo XX la preparación de maestras y maestros para las escuelas primarias del Departamento de Nariño -sur de Colombia-, estuvo a cargo de la Escuela Normal de Institutoras la cual inició labores en 1906 y de la Escuela Normal de Institutores creada en 1911. Cerradas al iniciar el período de gobiernos liberales, sólo la de varones fue reemplazada por la Gran Normal de Occidente. Las dos instituciones fueron organizadas y dirigidas de acuerdo a los fundamentos y normas establecidos por el proyecto educativo conservador para la formación de maestros en el país. El texto explora el estilo pedagógico que desarrollaron las dos instituciones, así como las diferencias establecidas por el proyecto según el género de los estudiantes.	Resalta que las instituciones formadora de maestros posibilitan la exploración de diferentes experiencias y áreas de conocimiento que potencializan el desarrollo de los profesionales de la educación, en donde es relevante la formación integral y compleja para asumir los retos y realidades de la educación en el país
	Internacional	27	2019	Cabero Almenara, J., y Martínez Gimeno, A. (2019). Las	Cabero, J y Martínez, A	Las TIC y la formación inicial de los docentes. Modelos y competencias digitales	Competencia Digital (CD), Formación del profesorado, Tecnología de la Información y la	Hablar de la formación del profesorado en Tecnologías de la Información y la Comunicación, implica el estudio de diferentes dimensiones y principios, contemplando las indicaciones	Evidencian que en la formación docente es necesario desarrollar habilidades como diseño, uso educativo, gestión y administración, investigación y ética, que deberán traducirse en estándares específicos e irán haciéndose más

				TIC y la formación inicial de los docentes. Modelos y competencias digitales. Profesorado, Revista De Currículum Y Formación Del Profesorado, 23(3), 247–268. https://doi.org/10.30827/profesorado.v23i3.9421			Comunicación (TIC)	que han apuntado distintos estudios y trabajos. En la sociedad actual, es claro que la significación de las TIC para mejorar la calidad y el rendimiento educativo, no viene exclusivamente determinado por su presencia, sino también por diferentes transformaciones que implican pasar de utilizarlas únicamente como una forma de consumir conocimientos, a verlas como herramientas para enriquecerlos, crearlos y generarlos. Desde esta perspectiva, la inversión en desarrollo profesional es más importante que la inversión en recursos asociados a la tecnología, siendo un aspecto importante para su incorporación, el no plantearse únicamente su utilización para hacer mejor las cosas que hacemos sin ellas, sino para hacer cosas completamente distintas. Desde esta óptica, planteamos el presente artículo en el que se describe un recorrido por algunas de las bases y modelos, analizando la problemática de la formación en las competencias digitales que debe poseer el profesorado a la hora de incorporarlas en su práctica docente y profesional.	complejos progresivamente en tanto que el docente vaya pasando por las diferentes etapas de apropiación técnica y conceptual de la tecnología
		28	2022	Urbina, S.; Pérez-garcías, A.; Ramírez-	Urbina, S, Pérez, A y Ramírez, U	La competencia digital del profesorado universitario en	Competencia docente, Competencia digital,	La finalidad de este estudio es analizar el nivel de competencia digital docente (CDD) del profesorado de los grados de	Evidencian que el uso innovador de las TIC tiene efecto favorable en la práctica académica de los procesos formativos,

				Mera, U. n. (2022). La competencia digital del profesorado universitario en la formación de maestros. Campus Virtuales, 11(2), 49-62. https://doi.org/10.54988/cv.2022.2.1043		la formación de maestros	Profesorado universitario, formación inicial de maestros, Educación superior.	Educación Infantil y Primaria, de la Universidad de las Islas Baleares, dada su importancia como formadores de los futuros maestros. Para la obtención de datos se utiliza el cuestionario DigCompEdu, dirigido a educación superior, al cual se incorporan algunas preguntas con la intención de conocer cómo el profesorado fomenta la competencia digital de sus alumnos. La muestra está formada por 37 docentes y, para el análisis de datos, se utilizan pruebas estadísticas no paramétricas. Los resultados obtenidos indican que los docentes perciben tener un nivel de CDD intermedio y contribuyen, en menor medida, al desarrollo de la CDD del alumnado. Así mismo, se ha observado que el nivel de CDD se encuentra asociado al uso de la tecnología como recurso didáctico.	ya que propone que las competencias digitales promueven un contenido clave para la realización de propuestas didácticas desde una óptica transformadora
		29	2016	Ayuste, A, Escofet, A, Obiols, N y Masgrau, M. (2016). Aprendizaje-servicio y codiseño en la formación de maestros: vías de integración	Ayuste, A, Escofet, A, Obiols, N y Masgrau, M	Aprendizaje-servicio y codiseño en la formación de maestros: vías de integración de las experiencias y perspectivas de los estudiantes	Educación superior, Aprendizaje servicio	INTRODUCCIÓN. La práctica reflexiva, entendida como un mecanismo de aprendizaje y construcción de conocimiento, ha de considerarse un elemento central en la formación inicial de maestros. Por un lado, permite hacer conscientes de aquellas conductas muy arraigadas sobre las que no reflexionamos a pesar de que los resultados no son siempre los deseados. Por otro, contribuye a la construcción de la identidad profesional a partir de la individualidad propia de cada	Propone un modelo que posibilita una mayor conexión entre la formación teórica y la práctica, y entre los aprendizajes académicos y aquellos que provienen de la propia experiencia, que va a la mano con un aprendizaje significativo a partir de su carácter vivencial y su relación directa con la práctica

				de las experiencias y perspectivas de los estudiantes. vol. 2, num. 68, p. 169-183. https://doi.org/10.13042/Bordon.2016.68211				sujeto. Y, por último, e imprescindible para el desarrollo de la escuela actual, favorecer la enseñanza y el aprendizaje de estrategias para comprender situaciones que hace unos años no estaban presentes en nuestras aulas. MÉTODO. Este artículo parte de los resultados obtenidos hasta el momento en una investigación que se propone diseñar estrategias y herramientas que ayuden a los estudiantes a reflexionar sobre las experiencias vividas en programas de aprendizaje-servicio. Se trata de una investigación basada en el codiseño, en la que estudiantes y profesorado participan durante su desarrollo en Múltiples interacciones colaborativas con el propósito de evaluar, innovar y mejorar los procesos educativos en los que participante. RESULTADOS. El proceso de codiseño, en las sucesivas iteraciones, ha permitido obtener una batería de instrumentos de aprendizaje dirigida a facilitar las relaciones entre situaciones de experiencia y conocimientos teóricos de las asignaturas implicadas. DISCUSIÓN. El uso de instrumentos o herramientas pedagógicas que promueven la reflexión a través de las experiencias vividas en proyectos de aprendizaje-servicio se ha revelado como un enfoque metodológico apropiado para la formación inicial de maestros y	
--	--	--	--	---	--	--	--	--	--

								maestras. Este enfoque posibilita una mayor conexión entre la formación teórica y la práctica, y entre los aprendizajes académicos y aquellos que provienen de la propia experiencia, acercándonos a una perspectiva más contextualizada y holística de la educación superior.	
		30	2009	Calvo, G., (2009). INCLUSIÓN Y FORMACIÓN DE MAESTROS. REICE. Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación, 7(4), 78-94.	Gloria Calvo	Inclusión y formación de maestros	No aplica	El presente artículo se elabora a partir de un estudio de caso llevado a cabo durante el año 2008 en el marco de una investigación más amplia que da cuenta de las políticas de reintegro a la escolaridad en las grandes ciudades. A tal efecto, analizó una experiencia denominada La escuela busca al niño -EBN en la ciudad de Medellín, Colombia. Los resultados de la experiencia ponen de presente situaciones que van más allá del reintegro a la escolaridad y que remiten a problemas de equidad educativa en el sentido de cómo garantizar a amplios grupos poblacionales, la permanencia y una educación de calidad en instituciones educativas, que desconocen la marginalidad social y cultural que los caracteriza. El texto se estructura en cuatro apartados. El primero discute la problemática de la inclusión educativa, ya que las políticas de reintegro, si bien llevan nuevamente a los niños y niñas a la institución educativa, aún	Evidencia la necesidad de revisar la formación de los futuros docentes en aras de cualificar para prácticas pedagógicas que favorezcan la inclusión, donde se haga el reconocimiento de los saberes de los grupos marginales, los aprendizajes informales y el compromiso político de la educación

								están lejos de incluirlos en los circuitos que requieren los contextos actuales. El segundo presenta la experiencia enfatizando en los aspectos relacionados con lo pedagógico y lo didáctico; el tercero señala algunos elementos relativos a la formación docente y termina con algunas conclusiones relacionadas con la inclusión educativa y la formación de docentes, a partir de las lecciones aprendidas en EBN Medellín	
--	--	--	--	--	--	--	--	---	--

Tabla 2: Antecedentes de la investigación. Archivo de Investigación. 2025.

METODOLOGÍA

Paradigma de Investigación

Fenomenológico-Interpretativo: La presente investigación se aplica en el paradigma fenomenológico–interpretativo, el cual se centra en la comprensión de los significados que las personas atribuyen a sus experiencias, prácticas y contextos (Crotty, 2009). Desde esta perspectiva, la investigación no busca comprobar hipótesis universales ni producir verdades objetivas, sino comprender cómo los sujetos construyen sentido en su interacción con el mundo.

Este enfoque reconoce que el investigador no es un observador neutral, sino un participante activo en la co–construcción de significados junto con los actores sociales involucrados. En consecuencia, el conocimiento que se genera es situado, contextual y dependiente de las interpretaciones de los sujetos que participan en la investigación.

Este paradigma permite aproximarse a las percepciones, experiencias y prácticas de los futuros docentes frente al uso de la tecnología en el aula, y el uso de esta para la enseñanza de la mastofauna. En la investigación el interés principal es cómo interpretan la experiencia de usar la app de cráneos en VR, así, se busca comprender cómo, desde sus vivencias, emergen formas particulares de construcción de identidad, subjetividad y conocimiento, las cuales son fundamentales para reflexionar sobre los procesos pedagógicos y educativos contemporáneos.

Enfoque metodológico: La presente investigación se desarrolla bajo un enfoque cualitativo, entendido como aquel que se orienta a la exploración, comprensión y descripción profunda de fenómenos sociales y educativos desde la perspectiva de los propios actores (Hernández-Sampieri et al., 2010). Este enfoque no persigue la generalización estadística de los resultados, sino la construcción de significados a partir de las experiencias y discursos de los participantes.

El enfoque cualitativo se caracteriza por su flexibilidad y apertura, lo cual permite que el diseño de investigación se ajuste a las dinámicas que emergen durante el proceso. En este sentido, el rol del investigador se configura como un mediador e intérprete, que reconoce la importancia del contexto y la subjetividad en la producción de conocimiento, el rol del investigador no es externo, sino que en este caso él acompaña y sistematiza la experiencia.

En coherencia con el paradigma fenomenológico–interpretativo, el enfoque cualitativo en este proyecto posibilita acceder a las percepciones, vivencias y significados que los estudiantes atribuyen a la tecnología en la construcción de conocimientos para la formación de futuros docentes, la finalidad no busca demostrar con números su eficacia, sino entender la vivencia, motivaciones, dificultades y aprendizajes que emergen. Así, se favorece una comprensión profunda de cómo los sujetos experimentan y resignifican sus prácticas cotidianas, aportando insumos valiosos para la reflexión pedagógica y la transformación educativa.

Contexto y Población participante:

La Universidad donde se desarrolló la investigación está ubicada en Bogotá-Colombia en la localidad de Chapinero en la Cl 72 #11-86, específicamente en la Facultad de Ciencia y Tecnología, dentro del programa de Licenciatura en Biología.



Ilustración 21. Ubicación de la Universidad Pedagógica Nacional en Bogotá. Tomado de Google (2025).



Ilustración 22. Entrada de la Universidad Pedagógica Nacional en Bogotá. Comunicaciones CUT (2022).

La población participante en esta investigación corresponde a los estudiantes de tercer semestre de la Licenciatura en Biología de la Universidad Pedagógica Nacional, quienes fueron observados a través de la técnica de observación no participante durante el periodo comprendido entre agosto y diciembre del año 2025, correspondiente al semestre académico 2025-2.

En particular, se trabajó con el grupo 1 de tercer semestre, adscrito al espacio académico de Diversidad Biológica I, a cargo del profesor Jairo Robles Piñeros. Este grupo está conformado por 18 estudiantes, cuyas edades oscilan entre los 18 y 41 años. Se trata de estudiantes en proceso de formación inicial como docentes de biología, quienes cuentan con conocimientos generales en ciencias naturales, aunque aún no han cursado asignaturas específicas de zoología según el pénsum de la licenciatura.

La elección de esta población resulta pertinente debido a que se buscó indagar sus conceptos previos acerca de la diversidad de mamíferos y la morfología de cráneos, temáticas directamente relacionadas con los contenidos del curso de Diversidad Biológica I al mencionar el Phylum de los cordados. Así mismo, se pretendió explorar la utilidad de recursos de realidad virtual en su proceso de aprendizaje, lo que convierte a este grupo en un escenario adecuado para el desarrollo de la propuesta.

En cuanto a los aspectos éticos, la investigación se desarrolló bajo los principios de respeto, autonomía y confidencialidad, propios de los procesos académicos que involucran la participación de seres humanos. En cumplimiento de la Ley Estatutaria 1581 de 2012 de Habeas Data y Protección de Datos Personales en Colombia, se garantizó que la información

recolectada tuviera un uso exclusivo con fines investigativos y académicos, evitando cualquier tipo de identificación individual de los participantes.

Previo al inicio del estudio, se presentó y socializó un consentimiento informado (Anexo 1), en el cual se explicaron los objetivos de la investigación, la naturaleza de las actividades, los posibles beneficios académicos y la ausencia de riesgos que comprometieran la integridad física, psicológica o emocional de los estudiantes. La participación fue voluntaria, y se garantizó a los estudiantes la posibilidad de retirarse en cualquier momento, sin repercusiones en su desempeño académico.

Finalmente, se obtuvo la aprobación escrita de los participantes para el uso de la información, que será empleada exclusivamente con fines de sistematización académica y difusión científica, respetando los principios de integridad, responsabilidad social y ética profesional en todo el proceso investigativo.

Etapas de la Investigación

El desarrollo metodológico de la propuesta se divide en tres etapas; etapa 1, la caracterización de conceptos previos de la población, la etapa 2 el desarrollo del recurso didáctico, y la etapa 3 la evaluación de la contribución al proceso de apropiación de contenidos de los profesores en formación.

1. *Etapas de indagación:*

El propósito de esta fase fue identificar las ideas, conceptos previos y representaciones que los futuros docentes tienen en torno a la diversidad de mamíferos y sus características morfológicas, especialmente aquellas relacionadas con la estructura craneal.

Estos hallazgos constituyen un punto de partida o mapeo conceptual, que orienta la selección y el diseño de los contenidos a abordar en las etapas posteriores de la investigación.

Para la recolección de la información se aplicó una encuesta virtual mediante la herramienta Google Forms, lo que permitió una organización y análisis más eficiente de los datos. Dicha encuesta fue anónima, condición que se comunicó previamente a los estudiantes, asegurándoles que su participación no tendría implicaciones en su evaluación académica ni afectaría el desarrollo normal de la asignatura Diversidad Biológica I.

Esta etapa permitió obtener un panorama inicial sobre las concepciones y niveles de comprensión que los estudiantes presentan frente al tema de la mastofauna, información fundamental para el diseño de estrategias pedagógicas contextualizadas y pertinentes dentro del proceso investigativo.

Posteriormente, siendo sistematizado y evaluado por una rúbrica de evaluación de conceptos previos (Anexo 2), la cual permitirá clasificar y evaluar los resultados obtenidos en la encuesta realizada.

2. Etapa de Desarrollo:

Para el diseño de la aplicación se establecieron diversas fases que permitieron estructurar el proceso de desarrollo de manera ordenada y progresiva. En primer lugar, se llevó a cabo la fase I de revisión y selección, la cual consistió en el reconocimiento y selección de los cráneos disponibles en el Museo de Historia Natural de la Universidad Pedagógica Nacional (MHN-UPN). Este paso inicial permitió identificar las piezas más adecuadas para representar la diversidad de órdenes de mamíferos presentes en la colección.

Seguida de la fase II de recolección de información, en la cual se realizaron las tomas fotográficas de cada uno de los cráneos seleccionados, con el fin de obtener un registro visual detallado que sirviera como base para el modelado digital.

La siguiente fase III correspondió al modelado de los cráneos, proceso en el que se aplicaron métodos de fotogrametría para reconstruir tridimensionalmente las estructuras óseas, complementando este proceso con técnicas de corte y edición digital mediante diferentes aplicaciones especializadas.

Una vez obtenidos los modelos tridimensionales, se avanzó hacia la fase IV de programación, en la cual se realizó el montaje de la aplicación en sus dos formatos: realidad virtual (VR) y versión para computador (PC). Esta etapa implicó integrar los modelos 3D, la interfaz de usuario y las funcionalidades interactivas necesarias para la exploración de los cráneos.

Y para concluir esta etapa, se desarrolló la fase V de revisión, en la que la aplicación fue evaluada por expertos en el campo de la biología y la educación, por medio de una rúbrica especializada (Anexo 3) con el propósito de identificar posibles ajustes o mejoras. A partir de sus observaciones, se realizaron las correcciones pertinentes, garantizando la calidad, pertinencia y usabilidad del producto final.

3. Etapa de evaluación:

En esta etapa de evaluación, coherente con el paradigma fenomenológico-interpretativo adoptado en la investigación, se emplearon dos recursos evaluativos complementarios que permitieron analizar tanto la dimensión subjetiva como la objetiva del proceso de aprendizaje.

Por un lado, se implementó una rúbrica de evaluación aplicada al recurso en sus dos formatos (realidad virtual y versión para computador), la cual posibilitó identificar las percepciones, valoraciones y experiencias de los participantes frente al uso del recurso tecnológico en su proceso formativo. Este instrumento permitió aproximarse a la subjetividad de los futuros docentes, comprendiendo cómo interpretan y significan el uso de la realidad virtual dentro de su aprendizaje y su posible aplicación en contextos educativos.

Por otro lado, se aplicó una evaluación objetiva de conocimientos mediante un quiz sobre mamíferos, diseñado para determinar la efectividad del recurso en el fortalecimiento de los saberes teóricos de los estudiantes. Los resultados obtenidos a partir de esta prueba permitieron contrastar y analizar el avance conceptual de los participantes frente a los datos obtenidos en la encuesta de conocimientos previos realizada durante la Etapa 1, ofreciendo así una mirada integral al impacto pedagógico de la aplicación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados de la etapa de Indagación:

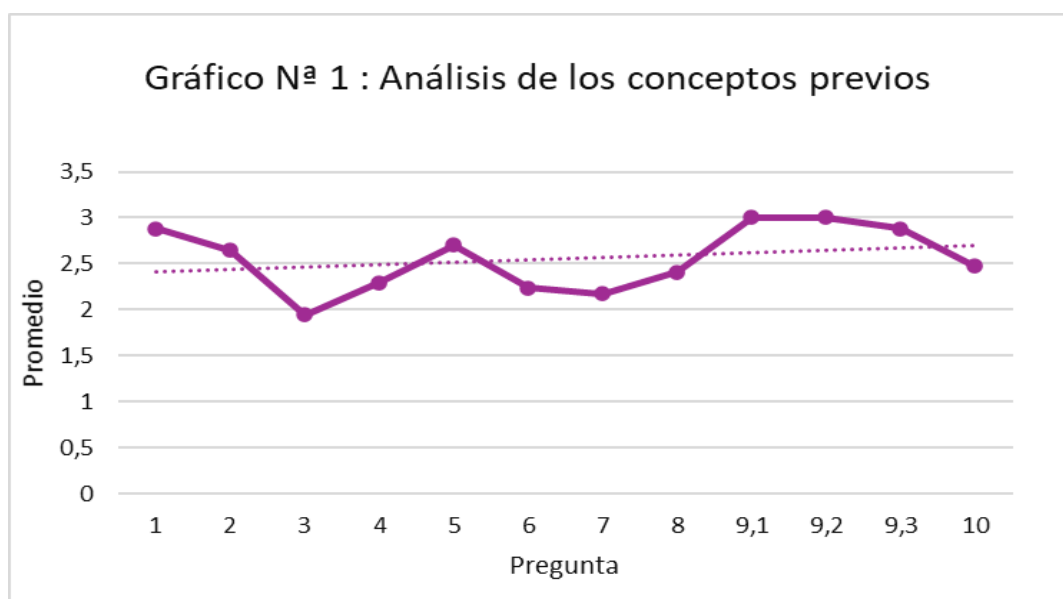
La encuesta aplicada a los estudiantes (Anexo 4) estuvo conformada por diez preguntas de respuesta abierta, diseñadas para explorar los conocimientos y concepciones previas sobre la mastofauna. Las preguntas abarcaban desde aspectos generales relacionados con las características y hábitats de los mamíferos, hasta temas más específicos como craneometría, morfología y taxonomía, permitiendo obtener una visión amplia y cualitativa del nivel de comprensión que los participantes poseían frente al tema antes del uso de la aplicación.

Este instrumento permitió realizar un análisis interpretativo de los conceptos previos de los estudiantes, los cuales fueron posteriormente contrastados con la rúbrica de evaluación de preconceptos (Anexo 2). A partir de esta relación se elaboró una tabla de evaluación, donde se sistematizaron los resultados de cada participante según los criterios establecidos en la rúbrica.

En dicha tabla se asignó un puntaje de 1 a 3 a cada criterio, siendo 1 un nivel bajo y 3 un nivel alto de desempeño conceptual. Para facilitar la interpretación de los resultados, las diez preguntas de la encuesta se agruparon de acuerdo con los cinco criterios de evaluación definidos, de la siguiente manera: las preguntas 1 y 2 corresponden al Criterio 1: Reconocimiento general de los mamíferos; las preguntas 3 y 4 al Criterio 2: Diversidad y clasificación básica; las preguntas 5 y 6 al Criterio 3: Morfología de cráneos; las preguntas

7 y 8 al Criterio 4: Lenguaje científico y claridad conceptual; y finalmente, las preguntas 9 (con sus tres subapartados) y 10 al Criterio 5: Concepciones alternativas (errores comunes).

De esta manera, la encuesta no solo permitió identificar los conocimientos previos de los estudiantes, sino también establecer relaciones cuantitativas y cualitativas entre las respuestas, fortaleciendo el proceso de análisis y triangulación de la información dentro del marco del paradigma fenomenológico-interpretativo.



Ecuación 1: Análisis de los conceptos previos relacionando el promedio con las preguntas de la etapa de indagación. Archivo de investigación. 2025.

El gráfico N.º 1 presenta el análisis de los conceptos previos identificados en los estudiantes de Licenciatura en Biología (tercer semestre) a partir de la aplicación de la prueba diagnóstica compuesta por diez preguntas abiertas y de justificación. Los resultados fueron evaluados con base en una rúbrica de tres niveles (alto, medio y bajo), cuyo promedio general por pregunta se observa representado en la figura.

De manera general, la tendencia del gráfico muestra un comportamiento moderadamente ascendente, con un promedio grupal aproximado de 2,5 puntos, lo cual indica que la población participante presenta conocimientos previos intermedios sobre la diversidad, morfología y clasificación de los mamíferos. Este resultado evidencia la presencia de ideas básicas correctas, aunque aún con vacíos conceptuales y limitaciones en la argumentación científica.

En cuanto al reconocimiento general de los mamíferos (preguntas 1 y 2), los estudiantes demostraron un dominio relativamente alto, identificando características distintivas como el pelo, la homeotermia y la presencia de glándulas mamarias. No obstante, algunos confundieron estos rasgos con los de otros grupos de vertebrados, lo que sugiere la necesidad de fortalecer el razonamiento comparativo y taxonómico.

Respecto a la diversidad y clasificación básica (preguntas 3 y 4), se observó el descenso más pronunciado en los promedios, con valores cercanos a 2,0. Esto refleja un conocimiento limitado de los órdenes de mamíferos y una débil comprensión de su diversidad morfológica y ecológica. Los estudiantes tienden a reconocer solo ejemplos comunes, sin vincularlos adecuadamente a su respectivo grupo taxonómico, lo cual pone de manifiesto la ausencia de esquemas clasificatorios consolidados.

En el criterio de morfología de cráneos (preguntas 5 y 6), los resultados evidencian un nivel medio de comprensión. Si bien algunos participantes lograron relacionar rasgos como el tipo de dentición o la posición de las órbitas con hábitos alimenticios o comportamientos, la mayoría de las respuestas se limitaron a descripciones superficiales.

Esto indica que el análisis funcional de estructuras anatómicas aún no está completamente integrado en su razonamiento biológico.

Por su parte, el uso del lenguaje científico y la claridad conceptual (preguntas 7 y 8) obtuvo promedios de alrededor de 2,2, evidenciando que, aunque los estudiantes comprenden términos biológicos como “homeotermia”, no siempre logran expresarlos con precisión ni utilizarlos en contextos explicativos coherentes. Este hallazgo sugiere la importancia de fortalecer la competencia comunicativa en el discurso científico, vinculando la terminología con procesos y ejemplos concretos.

Finalmente, en el criterio de concepciones alternativas y errores comunes (preguntas 9 y 10), se registraron los valores más altos del gráfico (entre 2,7 y 3,0). La mayoría de los participantes reconoció adecuadamente que los murciélagos y las ballenas son mamíferos y rechazó afirmaciones erróneas como que “todos los mamíferos son terrestres”. Este resultado revela una adecuada capacidad de razonamiento crítico y de corrección conceptual frente a ideas populares incorrectas.

Los puntajes más bajos observados en el gráfico, especialmente en los ítems relacionados con la diversidad y clasificación de los mamíferos, así como con la morfología de los cráneos, justifican directamente la finalidad de esta investigación. Dichos resultados evidencian que, aunque los estudiantes poseen una comprensión general del grupo Mammalia, persisten vacíos conceptuales en aspectos más específicos que son fundamentales para la formación de un futuro docente de biología. Estos vacíos no solo reflejan una dificultad en la identificación taxonómica, sino también en la articulación entre

forma, función y adaptación, elementos esenciales para comprender la evolución y la diversidad biológica.

En este sentido, la implementación del recurso didáctico con realidad virtual responde a la necesidad de reforzar estas dimensiones del conocimiento biológico mediante una experiencia inmersiva e interactiva, que permita al estudiante visualizar, manipular y comparar estructuras craneanas en tres dimensiones, promoviendo un aprendizaje más significativo, experiencial y duradero. Así, los resultados diagnósticos no sólo revelan las limitaciones iniciales del grupo, sino que orientan y legitiman la pertinencia del enfoque innovador propuesto para fortalecer las competencias conceptuales y procedimentales vinculadas a la enseñanza de la mastozoología.

El diagnóstico evidencia que los estudiantes poseen una base conceptual general, pero fragmentada, con mayor dominio de las características básicas del grupo Mammalia y dificultades en los niveles de clasificación, morfología comparada y uso del lenguaje científico.

Resultados de la etapa de desarrollo de la aplicación.

Fase I Revisión y Selección: Se inicia desde el Museo de Historia Natural de la Universidad Pedagógica Nacional en donde con ayuda del paleontólogo Gilberto Mendoza y del mismo museo se facilitó la identificación de los diferentes órdenes presentes en la colección de cráneos de mamíferos del museo, brindando cierta información importante para la identificación, como la morfología del cráneo, los dientes, el tipo de dieta, etc.

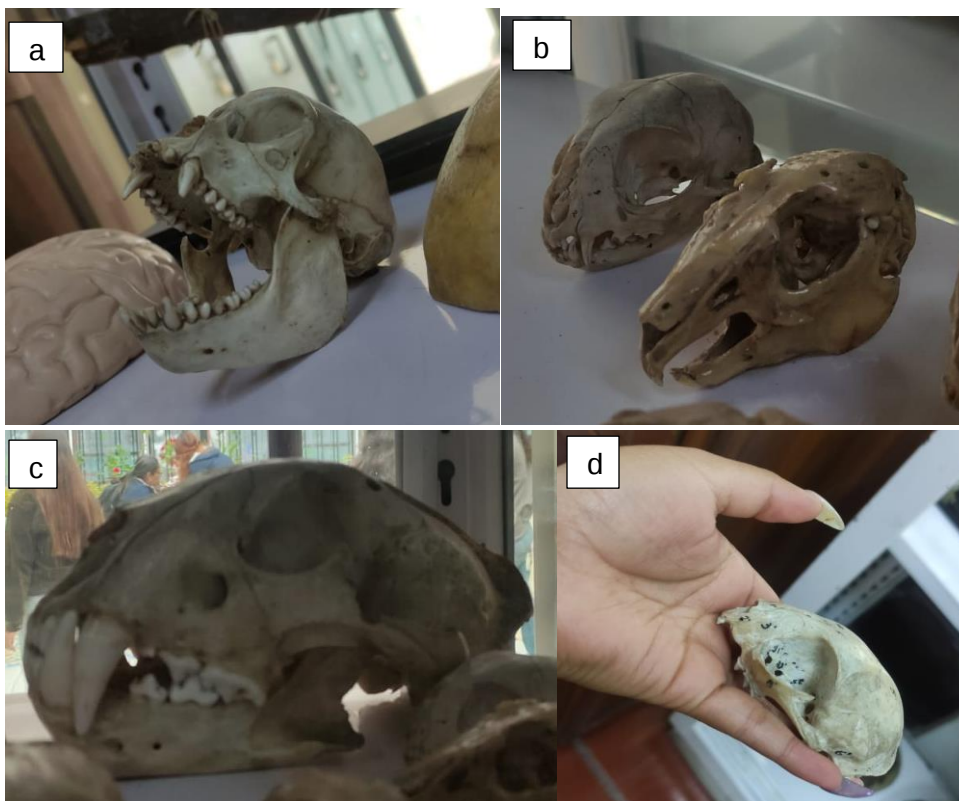


Ilustración 23. a. cráneo primate presente en el museo, b. cráneo lagomorpha presente en el museo, c. cráneo de *Panthera onca* en el museo, d. craneo de gato en el museo. Archivo de investigación. 2025.

Por medio de la identificación se seleccionaron 9 ejemplares presentes en el Museo de Historia Natural de diferentes órdenes, siendo estos los más representativos de cada clase.

Por último, al hacer una revisión se identificó la ausencia de individuos del orden Rodentia, completos y aptos para el proyecto, debido a esto se recurre a hacer uso de un modelo ya hecho por el equipo de WitmerLab en la Universidad de Ohio en el año 2018, que fue realizado por medio de tomografía computarizada, el cual es un método distinto de modelado al usado en el proyecto.



Ilustración 24. Modelo de cráneo de Hydrochoerus hydrochaeris. Tomado de WitmerLab en la Universidad de Ohio. 2018.

Fase II Recolección de la información: En la etapa de la recolección de la información se tomaron los cráneos seleccionados para la toma de fotografías correspondiente, los órdenes seleccionados fueron: Carnívora de los cuales se eligieron dos cráneos, el primero de la especie *Panthera onca*, y el segundo de *Canis familiaris*, luego se seleccionaron de a un ejemplar de los órdenes, Chiroptera del cual no se identificó la especie, Lagomorpha de la especie *Oryctolagus cuniculus*, Primate de la especie *Ateles furciceps*, Didelphys de la especie *Didelphis marsupialis*, Perisodactyla de la especie *Equus caballus*, y dos ejemplares del orden Cetartiodactyla, un *Ovis orientalis aries*, y un *Sus scrofa domesticus*.

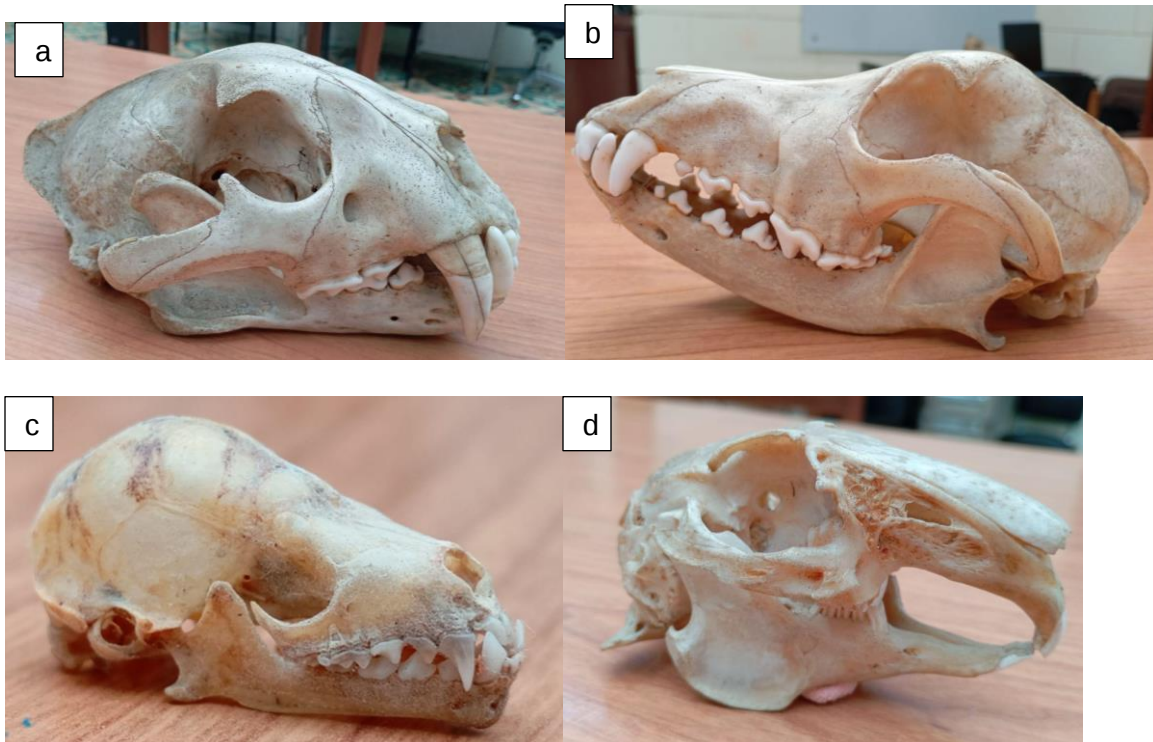




Ilustración 25: Craneos seleccionados del MHN, a. *Panthera onca*, b. *Canis familiaris*, c. *Chiroptera*, d. *Oryctolagus cuniculus*, e. *Ateles fusciceps*, f. *Didelphis marsupialis*, g. *Equus caballus*, h. *Ovis orientalis aries*, i. *Sus scrofa domesticus*. Archivo de investigación. 2025.

Luego de seleccionar los cráneos se realizó la toma fotográfica de cada uno, la cual estaba constituida por dos paquetes de fotos, el cráneo en su orientación natural y en orientación opuesta (invertida), cada uno con un aproximado entre 120 a 160 fotografías por posición.

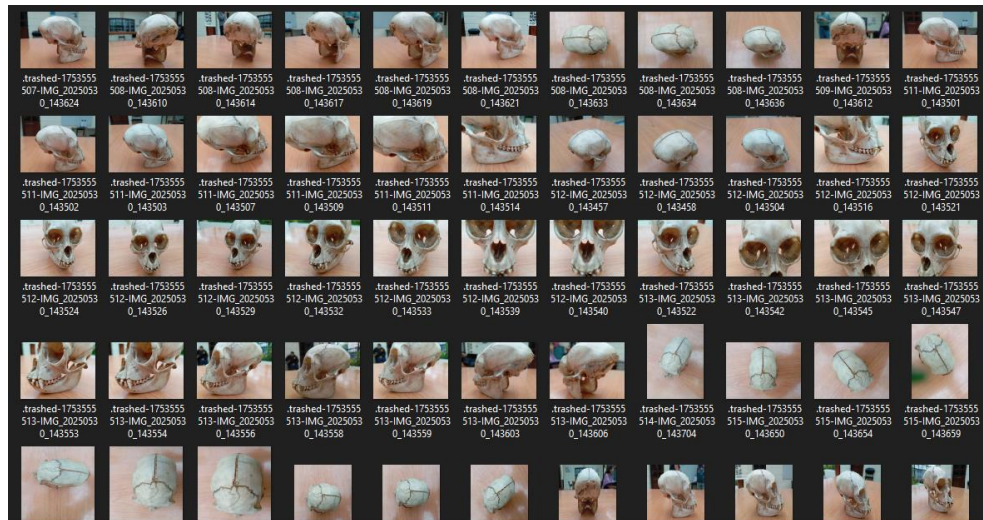


Ilustración 26: Fotografías tomadas del cráneo de Ateles furciceps, para el proceso de fotogrametría. Archivo de investigación. 2025

Cada uno de estos registros fotográficos de los cráneos se realizó mediante un protocolo sistemático de captura orbital, que consistió en un recorrido de 360° alrededor del objeto y un barrido superior en forma de cúpula. Este procedimiento incluyó la toma de imágenes en diferentes planos y distancias focales (cercanas y lejanas), con el fin de obtener tanto vistas generales como detalles específicos de la morfología. Se priorizaron ángulos que resaltarán características anatómicas relevantes para la identificación, tales como la posición del foramen magnum, la configuración dentaria, el alineamiento de las órbitas, etc.

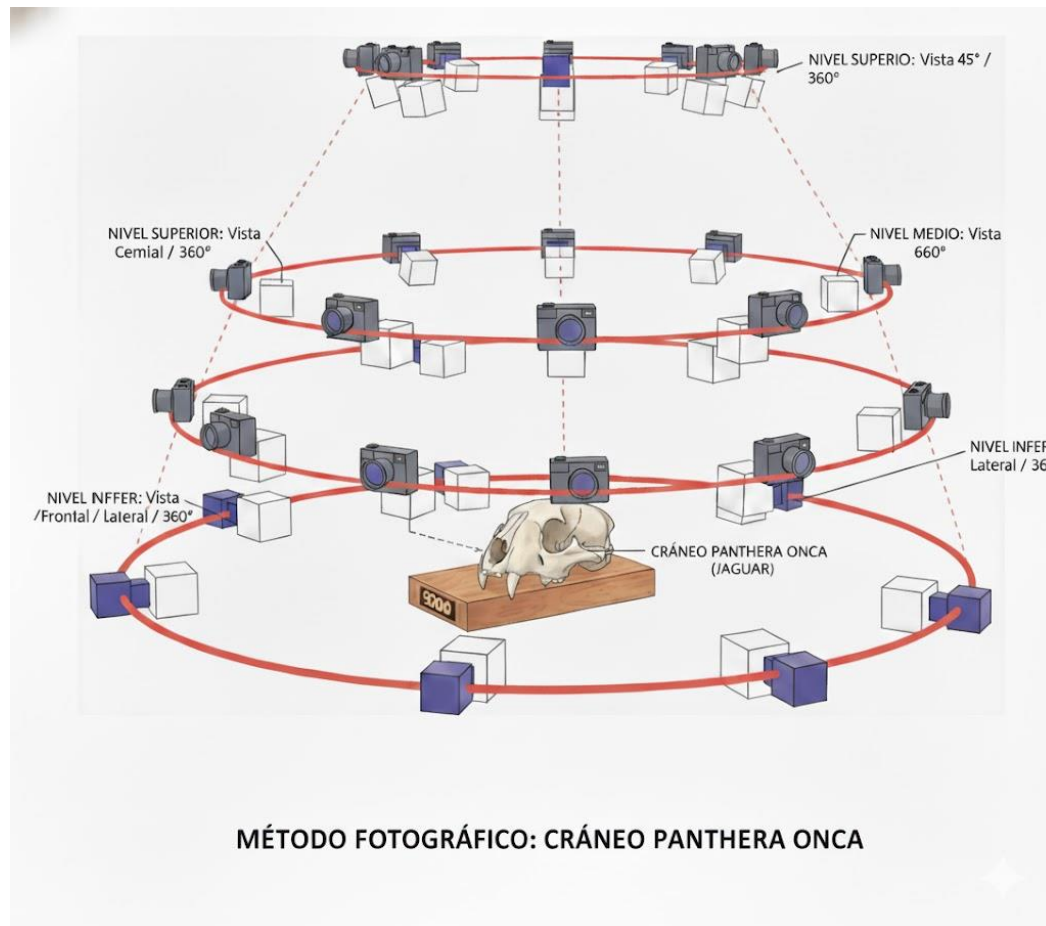


Ilustración 27: Método fotográfico. Archivo de investigación. 2025

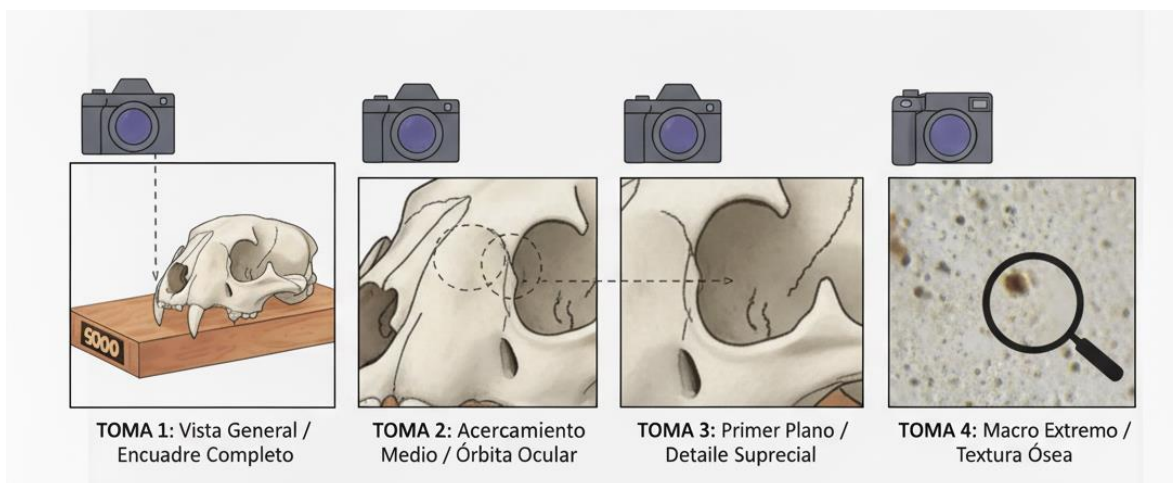


Ilustración 28. Detalle craneal progresivo. Archivo de investigación. 2025

Estos registros fotográficos se realizaron de manera continua el día 26 de julio del año 2025, en las instalaciones de Museo de Historia Natural de la Universidad Pedagógica

Nacional y haciendo uso de dos dispositivos tecnológicos (celulares) el primero un POCO C65 y el otro un Infinix NOTE 8.

Fase III Modelado de los cráneos (modelado y corte): Una vez finalizada la fase de recolección, se establecieron dos nuevas metas, modelar los cráneos y cortarlos.

Modelado: En el paso del modelado se tomaron los paquetes fotográficos de cada individuo y por medio del software Agisoft Metashape Professional para computador, se inició el proceso de modelado tridimensional por medio de la técnica llamada fotogrametría digital para reconstruir objetos a partir de imágenes bidimensionales.

El proceso inicia con la importación y organización de las fotografías capturadas desde múltiples ángulos y distancias; en este punto, la cantidad y la calidad de las tomas son determinantes, ya que una cobertura amplia y variada reduce la presencia de zonas sin información.

Posteriormente, el software realiza la alineación de fotografías, identificando puntos clave en común entre las imágenes y calculando la posición relativa de cada cámara en el espacio virtual, lo que permite generar una primera nube de puntos dispersa que define la geometría básica del objeto.

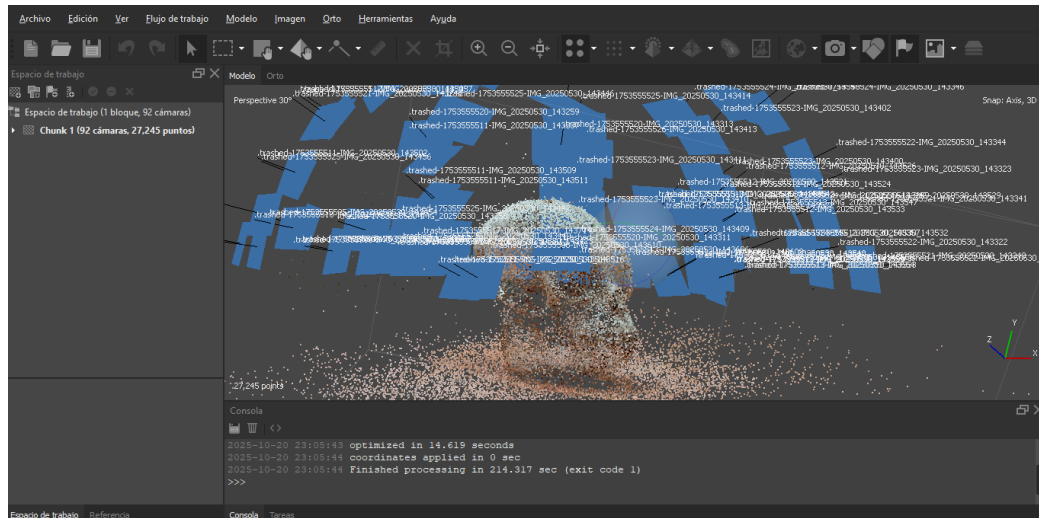


Ilustración 29. Alineación de fotografías. Archivo de investigación. 2025

A partir de esta alineación se construye una nube de puntos densa, que aumenta significativamente el nivel de detalle en la representación espacial. Sobre esta nube, Metashape interpola superficies para dar lugar a la malla poligonal tridimensional, la cual constituye la estructura geométrica del cráneo y refleja sus proporciones reales.

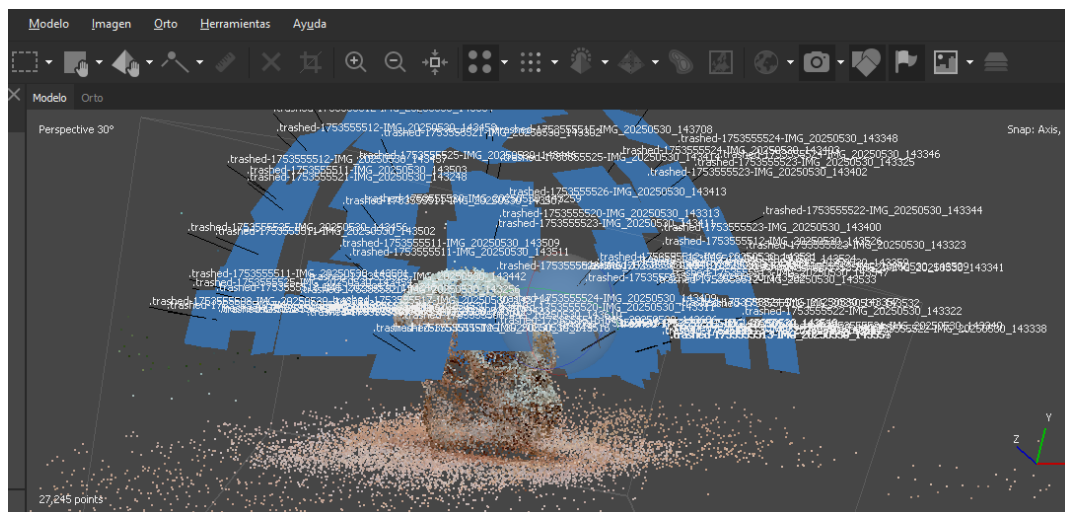


Ilustración 30. Nube de puntos densa. Archivo de investigación. 2025

Finalmente, se procede a la texturización del modelo, proyectando la información cromática de las fotografías sobre la malla para obtener una representación visual realista.

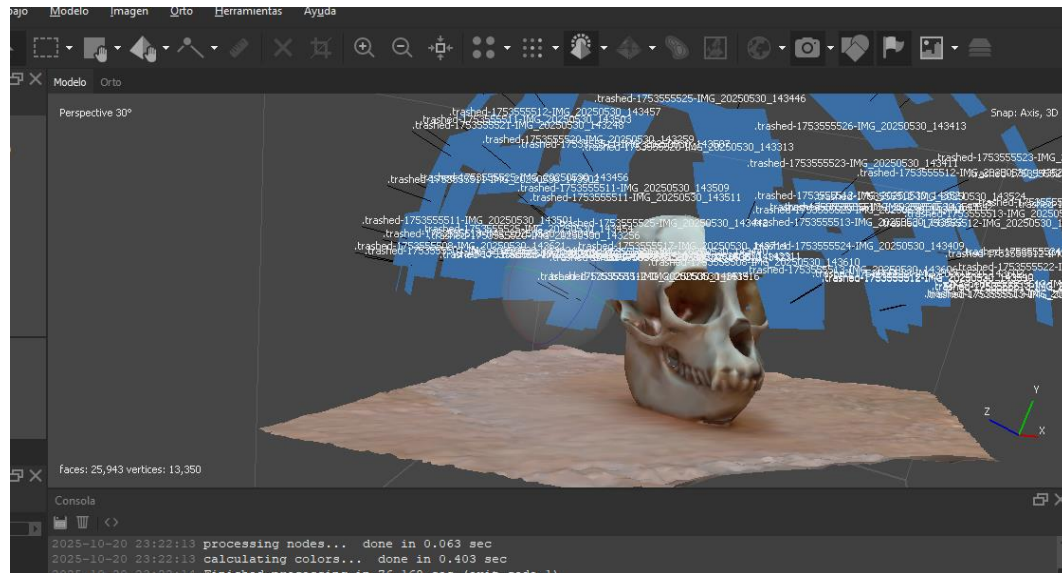


Ilustración 31. Texturización del modelo. Archivo de investigación. 2025

En cada una de estas etapas, la cantidad, la distribución y la calidad de las fotografías resultan factores decisivos, pues de ellas depende la precisión geométrica, la resolución de la textura y, en general, la fidelidad del modelo tridimensional obtenido. Finalmente, al obtener todos los modelos en sentido natural e invertido, se continúa al corte.

Corte: Una vez finalizada la etapa de modelado en Agisoft Metashape Professional, los archivos resultantes fueron importados en el software Blender en la versión 2.83 LTS con el propósito de realizar un proceso de integración entre dos versiones del mismo cráneo: una en posición anatómica natural y otra en posición invertida.

En primer lugar, ambos modelos fueron insertados dentro de la escena y se ajustaron sus escalas relativas, garantizando que mantuvieran las proporciones reales del espécimen. Posteriormente, se ubicaron sobre un mismo plano de referencia, lo que permitió trabajar de manera precisa en la correspondencia espacial entre ellos.

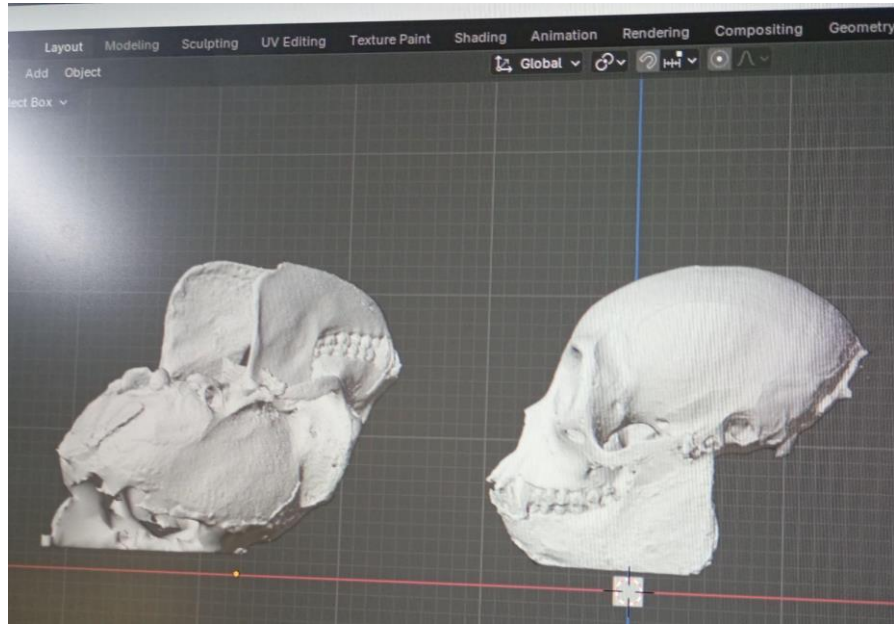


Ilustración 32: Cráneos escaldos en Blender. Archivo de investigación. 2025

Una vez alineados, se aplicaron cortes transversales en cada uno de los modelos con el fin de conservar únicamente aquellas estructuras de mayor interés anatómico. En el caso del cráneo en posición natural, se preservó principalmente la bóveda craneal y la región donde se observa con claridad el foramen magnum, mientras que en el cráneo invertido se conservaron la dentición y los rasgos morfológicos característicos de la base inferior.

Estos cortes se realizaron de manera controlada para asegurar que, al unir ambos fragmentos, las secciones seleccionadas coincidieran sin generar solapamientos ni pérdidas de continuidad en la forma general del cráneo.



Ilustración 33. Cortes transversales. Archivo de investigación. 2025

Una vez obtenidas las dos mitades con la información anatómica más relevante, se procedió a fusionarlas dentro de la misma escena, de modo que se conformará un único modelo que integrará tanto la visión superior como la inferior en una sola estructura tridimensional. Este procedimiento permitió reunir, en un solo objeto digital, los rasgos anatómicos más significativos para su observación y estudio, evitando la necesidad de manipular dos modelos independientes.



Ilustración 34. Modelo Panthera onca unido. Archivo de investigación. 2025

Una vez realizada esta fusión, el modelo compuesto fue exportado en formato .OBJ junto con su textura asociada, lo que asegura su compatibilidad con diversas plataformas de visualización y su utilización posterior en aplicaciones de realidad virtual y aumentada, destinadas a fines pedagógicos y de divulgación científica.

Fase IV programación de la aplicación:

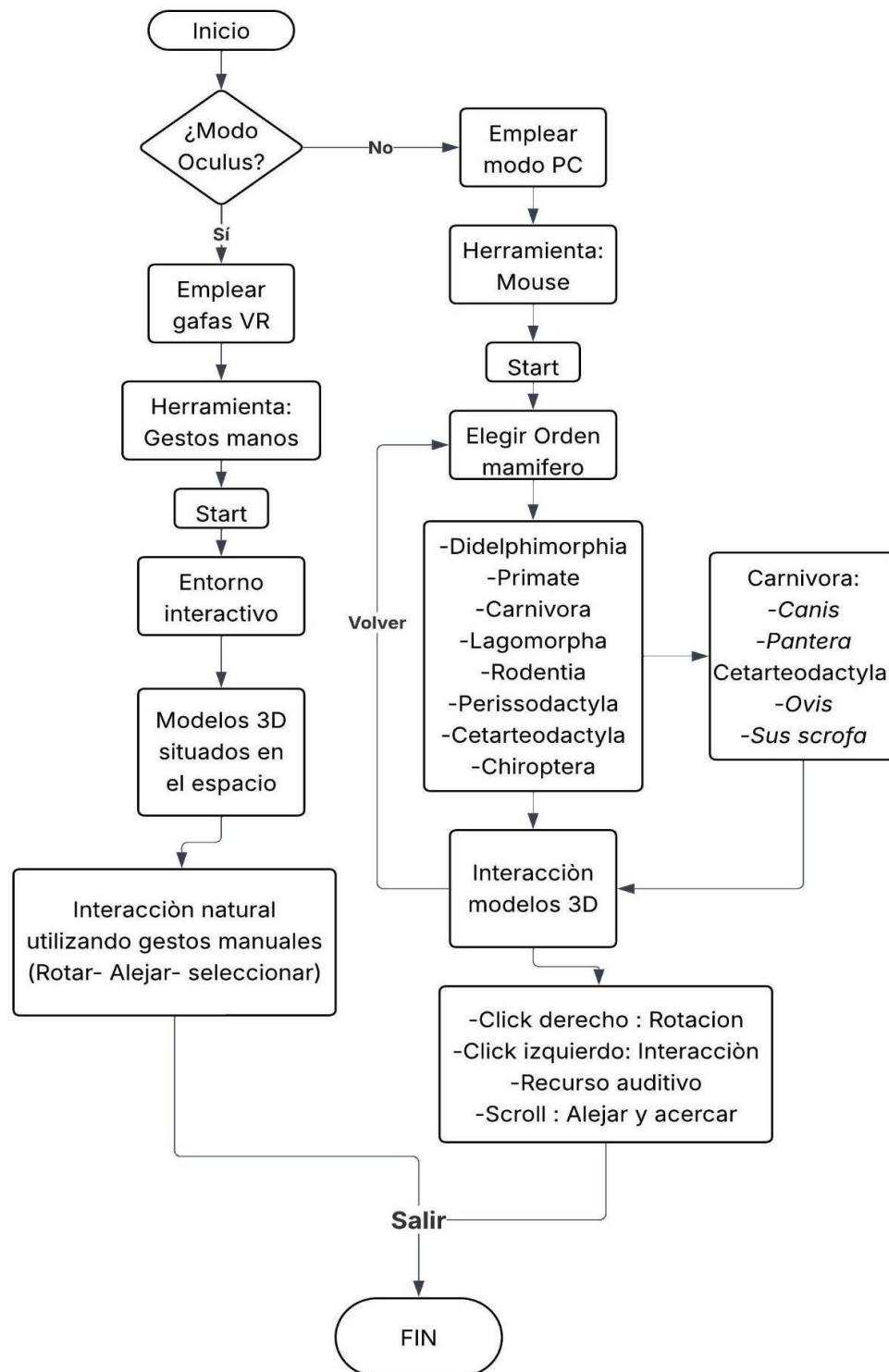


Ilustración 35: Diagrama de flujo modo de operación interfaz VRosteum. Archivo de investigación. 2025

La construcción de la aplicación educativa en el software Unity para computador versión Unity 2022.3.62f1 para la app en computador y la versión Unity 6 (6000.0.46f1) para la aplicación usada en gafas VR; siguió un flujo de trabajo orientado a integrar recursos digitales con valor pedagógico, garantizando la fidelidad anatómica de los cráneos y la facilidad de interacción por parte de los estudiantes. El diagrama de flujo representa las rutas principales de navegación y los modos de uso según el tipo de dispositivo empleado (PC o gafas de realidad virtual).

El proceso inicia con la elección del modo de interacción: si el usuario dispone de gafas de realidad virtual, la aplicación permite emplear gestos manuales para manipular los modelos tridimensionales de manera natural (rotar, alejar o seleccionar) Figura 41. En caso contrario, se utiliza el modo PC, en el cual la interacción se realiza mediante el mouse, con controles intuitivos que permiten rotar los modelos, acercar o alejar la vista y acceder a recursos auditivos e informativos Figura 37.

Tras la selección del modo, el usuario accede a un entorno interactivo donde puede elegir el orden de mamíferos que desea explorar (por ejemplo, Carnivora, Primate o Chiroptera) Figura 36. Una vez elegido, se despliegan los modelos 3D correspondientes a distintas especies, los cuales pueden observarse en detalle. Esta estructura permite una navegación libre y cíclica, donde el usuario puede volver al menú principal para seleccionar otros órdenes o especímenes Figura 37.

La interfaz fue diseñada con el objetivo de favorecer la comprensión morfológica y comparativa de los cráneos, priorizando la claridad visual y la accesibilidad. Los modelos fueron integrados en Unity con una escala y orientación estandarizadas para facilitar la

observación y comparación entre especies. Además, se añadieron elementos informativos en forma de paneles o carteles visibles dentro del entorno 3D, los cuales incluyen descriptores morfológicos, imágenes de referencia y audios explicativos que apoyan el aprendizaje autónomo e inclusivo.

El sistema de cámara implementado permite que los estudiantes exploren cada cráneo desde diferentes perspectivas, simulando la observación directa en un laboratorio o museo. En las pruebas de aula, esta dinámica demostró ser efectiva para promover la exploración activa y la construcción de conocimientos a partir de la observación y manipulación virtual tanto en el formato de PC como en la exploración de los objetos en el entorno RV.

Concluyendo la fase de programación, la aplicación de PC se compiló en un formato ejecutable para Windows, asegurando su funcionamiento en los equipos institucionales y permitiendo que los estudiantes interactuaran de forma fluida y significativa con los modelos. Por otro lado, la aplicación en formato VR fue ejecutable por medio del air link de las gafas Meta Quest 3 las cuales fueron usadas en la implementación, pero permitiendo el funcionamiento normal en cualquier dispositivo Meta Quest. De esta manera, el flujo descrito refleja no solo la lógica técnica de navegación, sino también la intención pedagógica de crear una experiencia inmersiva que articula la tecnología 3D con el aprendizaje de la morfología Mamaliana.

Aplicación VRosteum:

A continuación, se adjuntan imágenes de la aplicación en sus dos formatos, formato en PC y formato en VR:

Formato Computador:

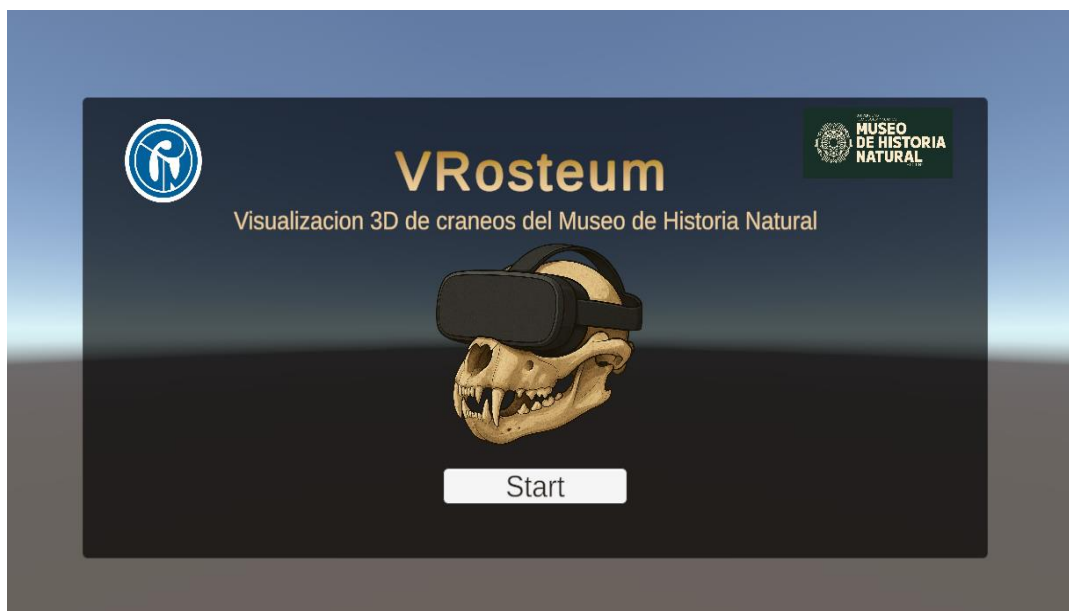


Ilustración 36: Pantalla de inicio. Archivo de investigación. 2025

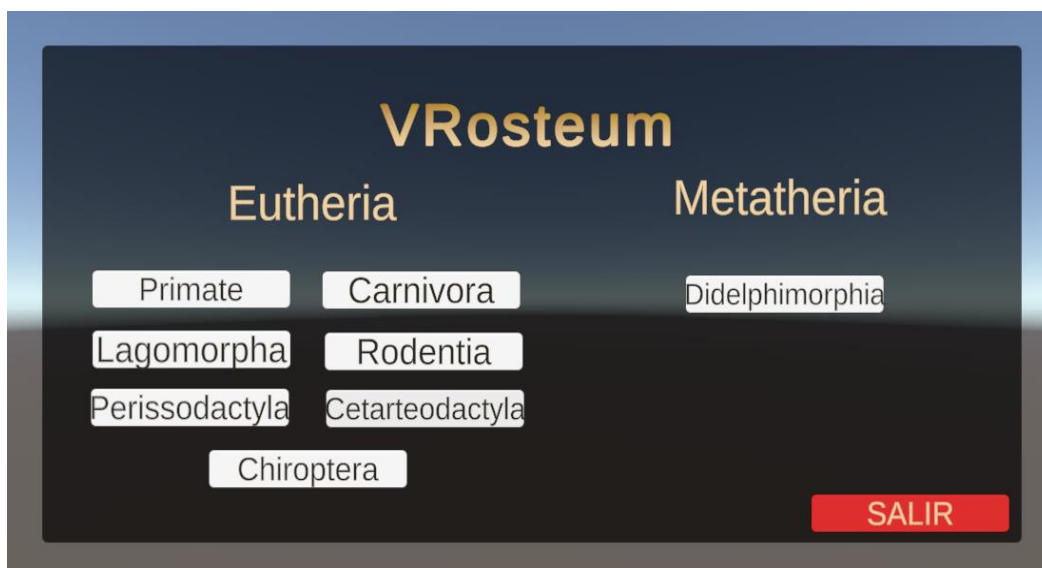


Ilustración 37: Menú de órdenes Mammalia. Archivo de investigación. 2025

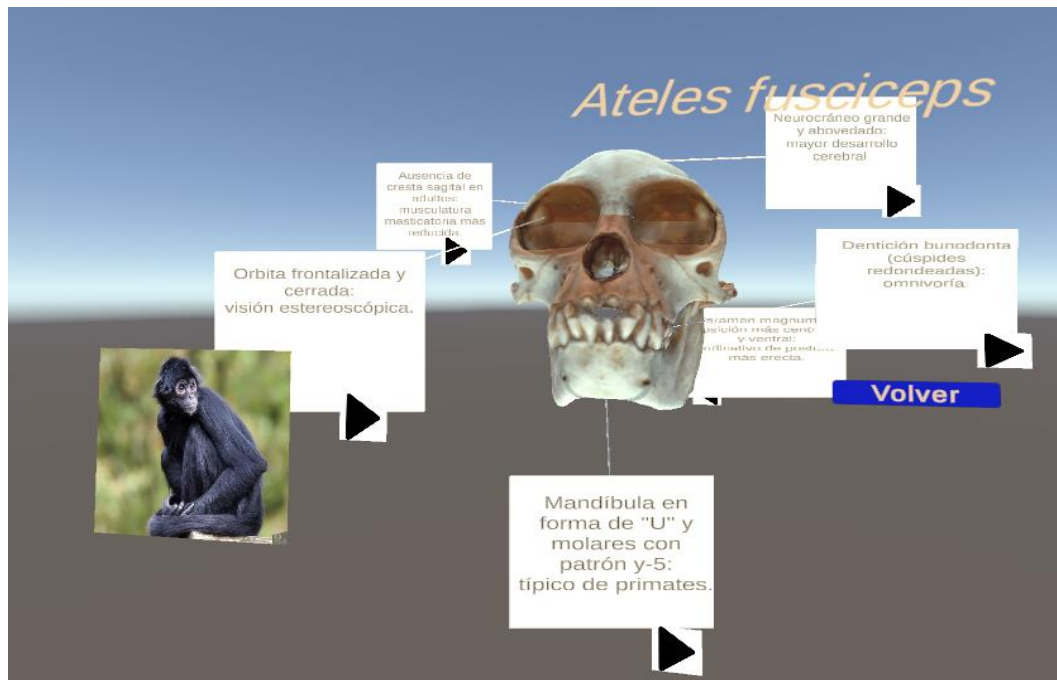


Ilustración 38: Cráneo Interactuable *Ateles fusciceps*. Archivo de investigación. 2025

Formato Virtual Reality:

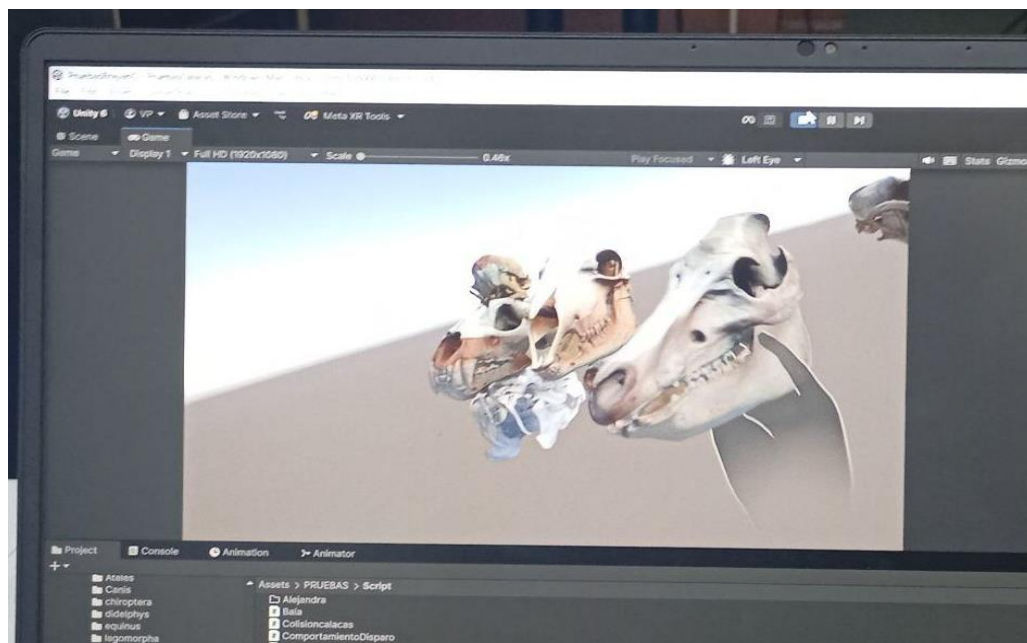


Ilustración 39: Cráneo Dinámico 1. Archivo de investigación. 2025



Ilustración 40. Cráneo Dinámico 2. Archivo de investigación. 2025

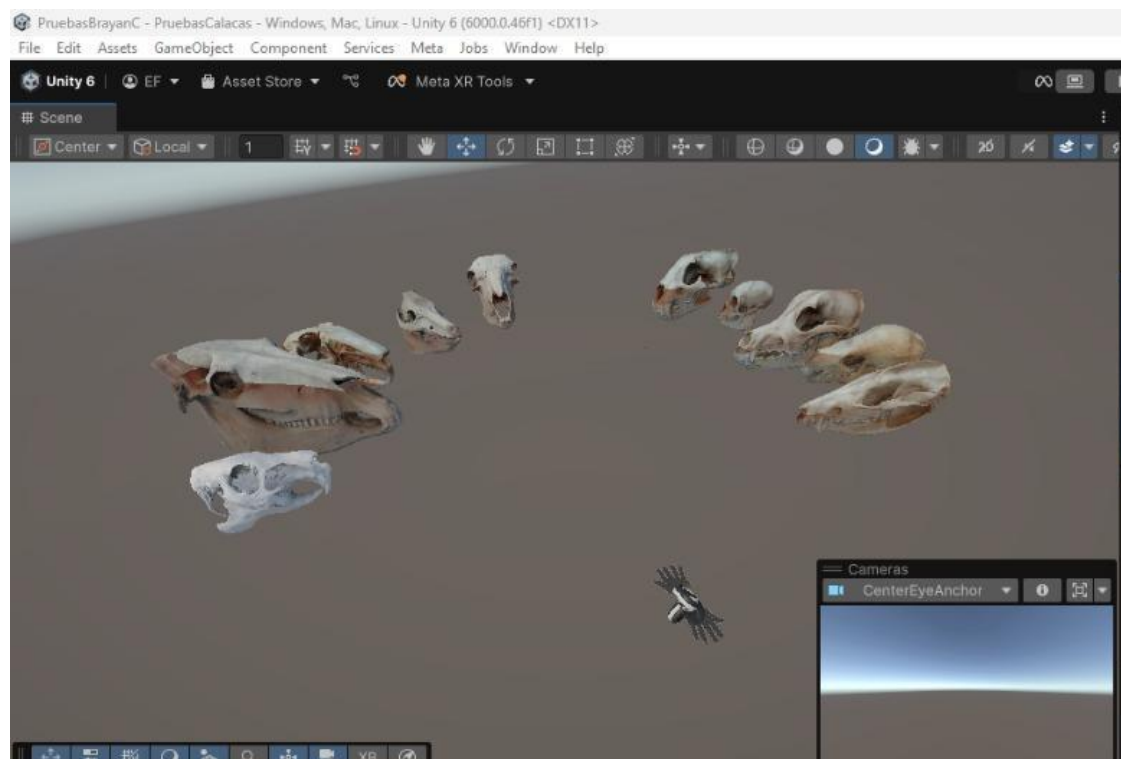


Ilustración 41. Menú VRosteum formato VR. Archivo de investigación. 2025

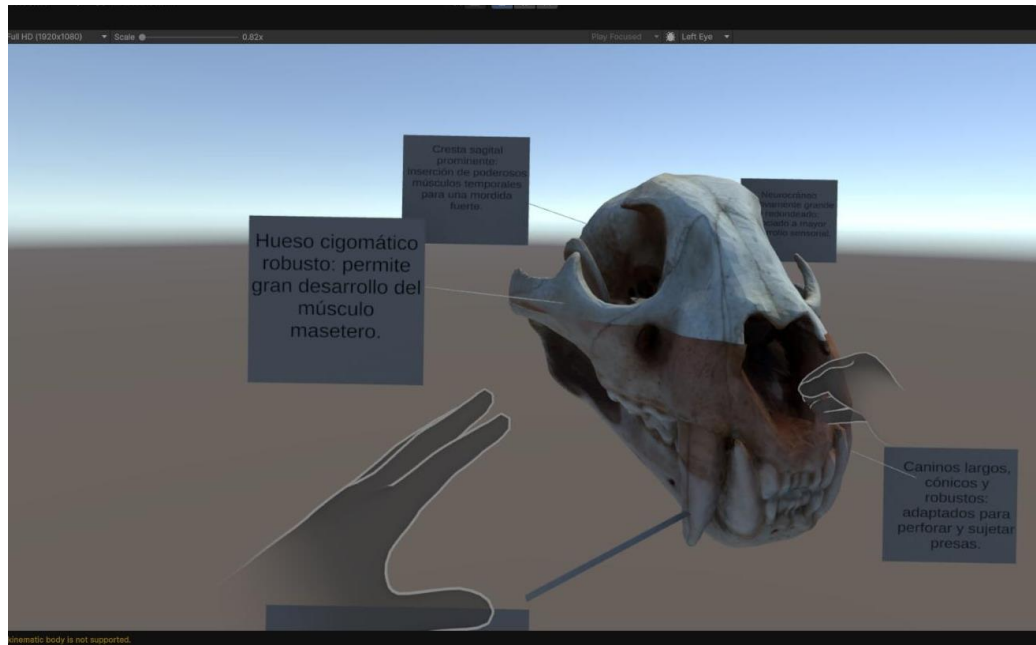


Ilustración 42. Información Cráneo Pantera onca VRosteum/VR. Archivo de investigación. 2025

Fase V Resultados de la validación por expertos

La fase de evaluación de expertos buscaba retroalimentar el ejercicio de desarrollo de la aplicación VRosteum teniendo en cuenta recomendaciones y evaluaciones de expertos en mastozoología y en aplicaciones para la enseñanza.

Por otro lado, se abordó la exploración de la aplicación en sus dos formatos por compañeros, para así evidenciar la fluidez, la interactividad y facilidad de manejo de la aplicación, en diferentes contextos.



Ilustración 43: Interacción por parte de compañeros. Archivo de investigación. 2025

Por medio de estas experiencias se pudieron realizar cambios en la información, teniendo en cuenta la rúbrica de evaluación de los expertos y las recomendaciones de las interacciones con el recurso, brindando así una mejor experiencia de aprendizaje por medio de esta y corrigiendo algunos factores que no permitían el óptimo desarrollo de esta.

La primera evaluación fue realizada por una Doctora en Educación, Magíster en Educación en Ciencias y Licenciada en Biología, quien actualmente se desempeña como docente de la Secretaría de Educación del Distrito (SED).

La segunda evaluación fue realizada por un Biólogo (Universidad Nacional de Colombia), Magíster en Enseñanza de las Ciencias y la Tecnología (Universidad de Quilmes, Argentina) y Doctor en Educación (DIE-UD), investigador del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV), Monterrey.

Ambos expertos exploraron la aplicación de manera autónoma y registraron sus valoraciones e impresiones cualitativas sobre los tres componentes principales.

En términos generales, los expertos coincidieron en que RVosteum es un recurso educativo con un alto potencial pedagógico, destacando su aporte innovador al integrar modelos tridimensionales y entornos inmersivos de realidad virtual en el aprendizaje de la morfología y taxonomía de los mamíferos. No obstante, también señalaron aspectos susceptibles de mejora relacionados con la interfaz, la precisión taxonómica y la incorporación de guías orientadoras para el usuario.

La primera evaluadora destacó la facilidad de navegación y la organización visual de la interfaz, aunque indicó la ausencia de un botón de salida y observó que en algunos modelos 3D “no se logra una claridad suficiente en los huesos”. En cuanto al contenido científico, resaltó la rigurosidad del conocimiento biológico, el uso adecuado de terminología y la pertinencia del recurso para la enseñanza de la biología, sugiriendo revisar algunos nombres de especies. Finalmente, valoró que la aplicación “es un excelente mediador entre el docente y el objeto de enseñanza” y que “tiene potencial para ser utilizada también en espacios de divulgación científica”.

Por su parte, el segundo evaluador reconoció que el aplicativo presenta un modelo lógico y coherente de desarrollo, con un diseño funcional y una adecuada respuesta de los modelos tridimensionales. Sin embargo, recomendó incorporar un menú o guía inicial que oriente al usuario sobre el propósito pedagógico de la aplicación. En la dimensión científica, sugirió precisar la perspectiva taxonómica empleada (clásica o sistemática) y revisar algunas clasificaciones biológicas, destacando la relevancia de contextualizar los criterios usados. En su valoración educativa, subrayó el carácter motivador e interactivo de RVosteum, resaltando su potencial de uso tanto en el aula como en museos virtuales y espacios de aprendizaje autónomo.

Teniendo en cuenta las recomendaciones realizadas por los expertos, se aplicaron los cambios oportunos para así fortalecer su usabilidad y su valor pedagógico.

Resultados de la Implementación

En el desarrollo normal de la investigación, la implementación se realizó el día 25 de septiembre del 2025 en la clase de diversidad biológica 1 en el espacio de zoología a cargo del profesor Jairo Robles Piñeros, con apoyo del equipo del COLAB de la UPN.

La aplicación se puso a disposición de los estudiantes en dos formatos complementarios: versión para computador (PC) y versión de realidad virtual (RV). Para la versión de escritorio, se instaló el programa en los equipos que los propios estudiantes llevaron al aula, con una proporción aproximada de un computador por cada cuatro estudiantes, organizados por mesas de trabajo. Paralelamente, se contó con un dispositivo Meta Quest 3, mediante el cual los participantes rotaban por turnos, como muestra la figura 43, explorando de manera inmersiva la versión de realidad virtual de la aplicación.



Ilustración 44: a. Implementación VR 1, b. Implementación VR 2. Archivo de investigación. 2025

Durante la actividad, los estudiantes tuvieron libertad total para explorar los recursos digitales, interactuando con los modelos tridimensionales de cráneos y observando sus características desde distintos ángulos. A lo largo de esta experiencia, se brindaron

explicaciones breves sobre la taxonomía de los mamíferos, haciendo énfasis en las características morfológicas distintivas de los diferentes órdenes, así como en los criterios empleados para su clasificación.

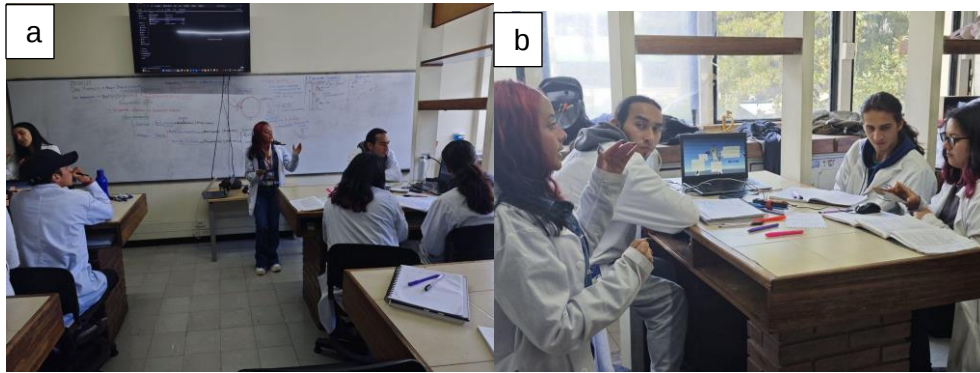


Ilustración 45. Espacio de explicación teórica a. perspectiva frontal, b. perspectiva paralela. Archivo de investigación. 2025

El espacio también permitió atender preguntas de los participantes, relacionadas con el proceso de elaboración del recurso, la morfología de los organismos representados y su clasificación taxonómica, generando un diálogo constante entre teoría y experiencia virtual. Estas interacciones evidenciaron la pertinencia del recurso para reforzar conceptos teóricos previamente identificados como falencias en la etapa de indagación de conocimientos previos.



Ilustración 46: Interacción estudiantes recurso VRosterum versión PC. Archivo de investigación. 2025

Una vez concluida la experiencia de exploración y acompañamiento docente, se procedió a la etapa de evaluación, en la cual se aplicaron los instrumentos diseñados para valorar tanto la percepción y apropiación subjetiva del recurso (a través de la rúbrica de evaluación de la aplicación en sus dos formatos), como el fortalecimiento de los conocimientos teóricos (mediante el quiz de mamíferos). Esta transición permitió analizar integralmente el impacto pedagógico de la aplicación, articulando la experiencia práctica con la reflexión conceptual dentro del proceso investigativo.

Resultados de la etapa de evaluación

La fase de evaluación tuvo como propósito analizar las percepciones, valoraciones y aprendizajes derivados del uso del recurso educativo digital VRosteum, en sus dos formatos: versión de escritorio (PC) y versión inmersiva con gafas de realidad virtual (VR).

Esta etapa permitió comprender de qué manera los estudiantes se relacionaron con el entorno tridimensional, qué aspectos favorecieron su experiencia de aprendizaje y qué elementos podrían mejorarse desde una perspectiva pedagógica y tecnológica.

La evaluación se abordó desde un enfoque mixto descriptivo, combinando información cuantitativa —proveniente de escalas de valoración tipo Likert de 1 a 5 siendo 1 = Muy difícil / Deficiente | 2 = Difícil / Poco adecuado | 3 = Aceptable | 4 = Fácil / Adecuado | 5 = Muy fácil / Excelente— con apreciaciones cualitativas expresadas en preguntas abiertas. Asimismo, se aplicaron quices diagnósticos y finales para estimar los avances conceptuales sobre la morfología craneal y la clasificación de los mamíferos.

Resultados de la experiencia con el VROSTEUM en versión de escritorio (PC)

Los resultados del formulario aplicado a 13 estudiantes que exploraron la versión PC del VRosteum evidencian una alta aceptación del recurso, destacando su funcionalidad, claridad visual y aporte al aprendizaje.

En cuanto a la facilidad de apertura y uso, el 84,6 % calificó los niveles 4 y 5, mostrando que la navegación y la comprensión de la interfaz fueron adecuadas.

1. Facilidad para abrir y usar la aplicación

13 respuestas

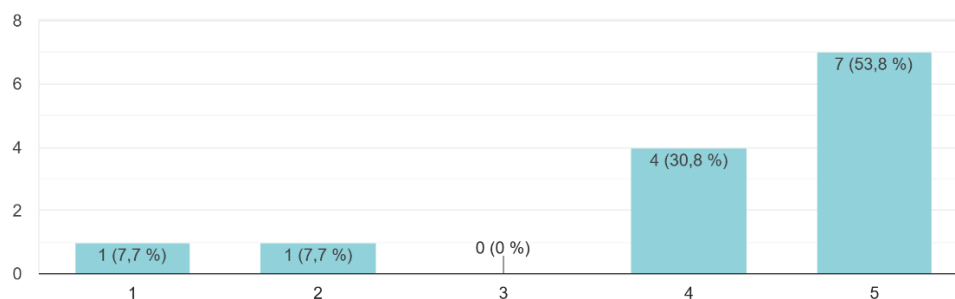


Ilustración 47: Forms VRosteum PC 1. Archivo de investigación. 2025

La navegación con mouse y teclado alcanzó un 69,3 % de respuestas en los niveles superiores, aunque se reportaron algunas dificultades iniciales con el control del puntero.

2. Navegación e interacción con el mouse/teclado (rotar, volver, moverse)

13 respuestas

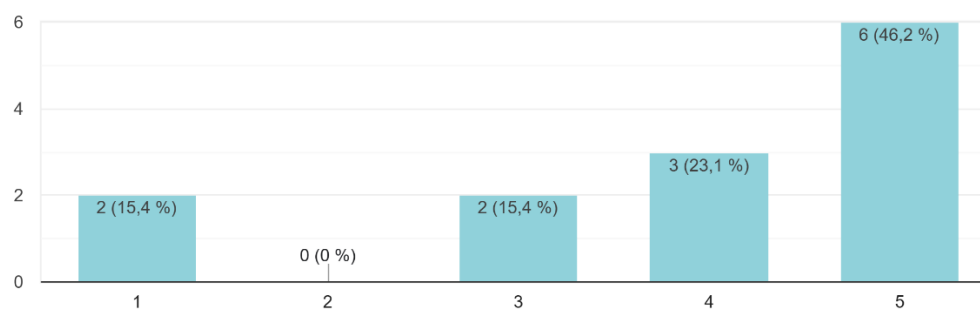


Ilustración 48: Forms VRosteum PC 2. Archivo de investigación. 2025

La claridad de la interfaz y la calidad visual de los modelos fueron reconocidas positivamente por el 61,6 % y 69,3 % respectivamente, destacándose el realismo y la nitidez de los cráneos.

3. Claridad y organización de la interfaz

13 respuestas

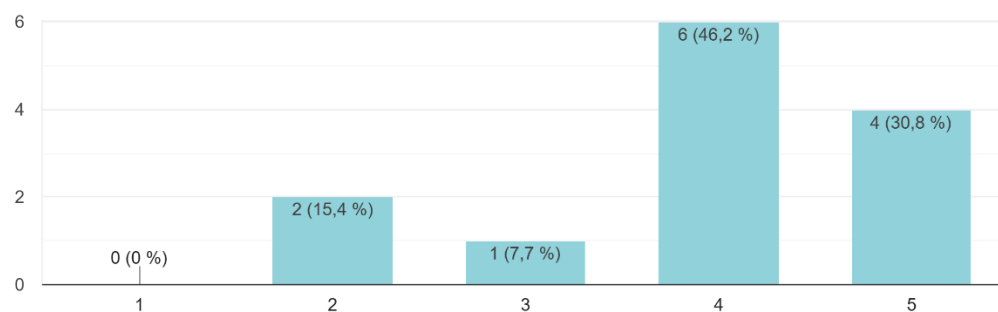


Ilustración 49: Forms VRosteum PC 3. Archivo de investigación. 2025

4. Calidad visual de los cráneos (nitidez, detalle, realismo)

13 respuestas

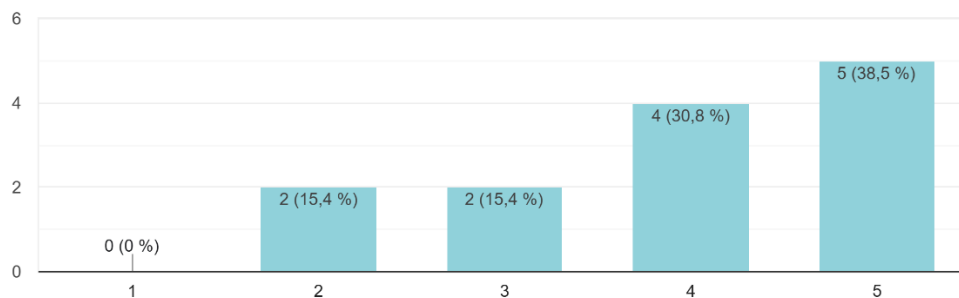


Ilustración 50: Forms VRosteum PC 4. Archivo de investigación. 2025

Por último, la experiencia general de uso alcanzó el 92,3 % de satisfacción en los niveles 4 y 5, consolidando la percepción de practicidad y utilidad pedagógica del recurso.

5. Experiencia general de uso (comodidad, practicidad)

13 respuestas

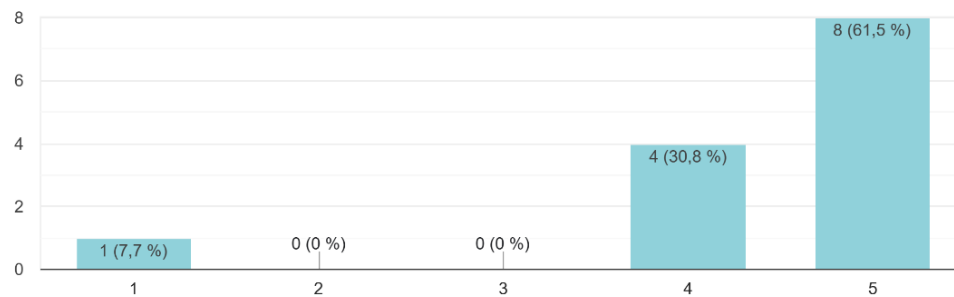


Ilustración 51: Forms VRosteum PC 5. Archivo de investigación. 2025

Como se aprecia en el diagrama de barras (Figura 51), la tendencia general de las valoraciones se concentra en los niveles más altos, lo que evidencia una experiencia fluida, agradable y formativa.

Con relación a las respuestas abiertas en la experiencia de PC, los estudiantes resaltaron principalmente la facilidad de manejo, la claridad de la información y el carácter innovador del recurso, comentarios como “Bastante fácil de manejar y es una herramienta práctica e innovadora que nos permite asociar y entender eficazmente los conceptos” o “La posibilidad de ver los cráneos y observarlos con detalle” reflejan la apropiación positiva de la herramienta.

Recopilando las sugerencias más frecuentes se mencionaron:

- Mejorar la precisión del movimiento con el mouse y la organización de la información.
- Incluir mayor diversidad de modelos (por ejemplo, esqueletos completos o videos explicativos).

- Optimizar aspectos estéticos y técnicos (colores, nitidez, compatibilidad con otros dispositivos).

Estas observaciones evidencian una postura crítica y participativa, donde los estudiantes no solo valoran el recurso, sino que también proponen caminos de mejora para versiones futuras.

Resultados de la experiencia con el VROSTEUM en versión de gafas de realidad virtual (VR)

La versión inmersiva fue evaluada por 17 estudiantes, cuyos resultados muestran un alto grado de satisfacción y motivación frente al uso de las gafas de realidad virtual.

En el tema de la facilidad para iniciar la aplicación obtuvo valoraciones de 4 y 5 en el 88,2 % de los casos, lo que indica un proceso de ingreso y comprensión fluido.

1. Facilidad para iniciar la app en las gafas VR
17 respuestas

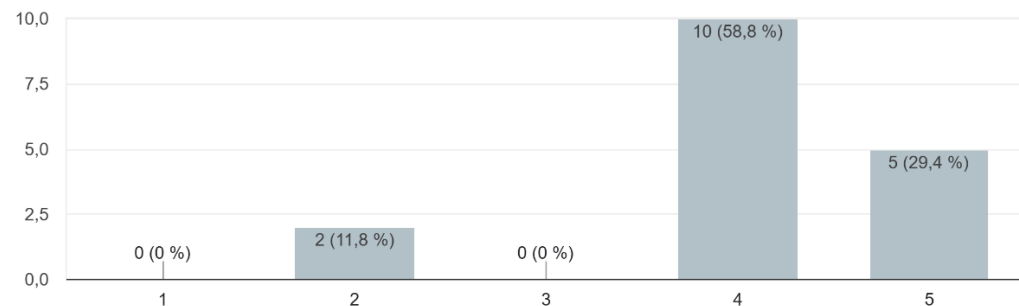


Ilustración 52: Forms VRosteum VR 1. Archivo de investigación. 2025

En la comodidad de la experiencia inmersiva, el 82,3 % calificó los niveles altos, señalando una buena adaptación a los controles y escasa presencia de mareo.

2. Comodidad de la experiencia inmersiva (no mareo, controles intuitivos)

17 respuestas

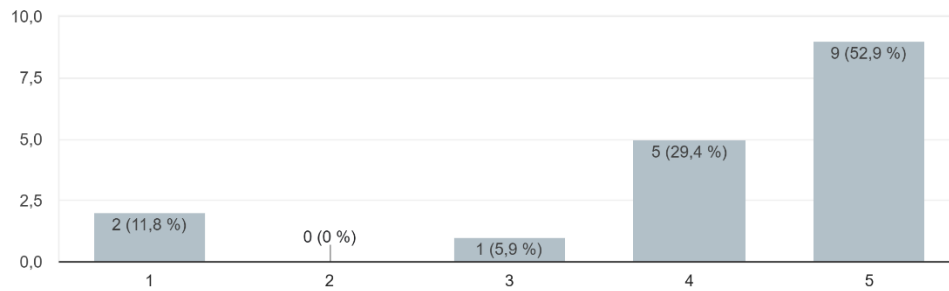


Ilustración 53: Forms VRosteum VR 2. Archivo de investigación. 2025

La interacción con los mandos y la calidad visual de los cráneos alcanzaron porcentajes elevados (70,6 % y 61,7 % en nivel 5, respectivamente).

3. Facilidad de interacción con los mandos (rotar, volver, seleccionar)

17 respuestas

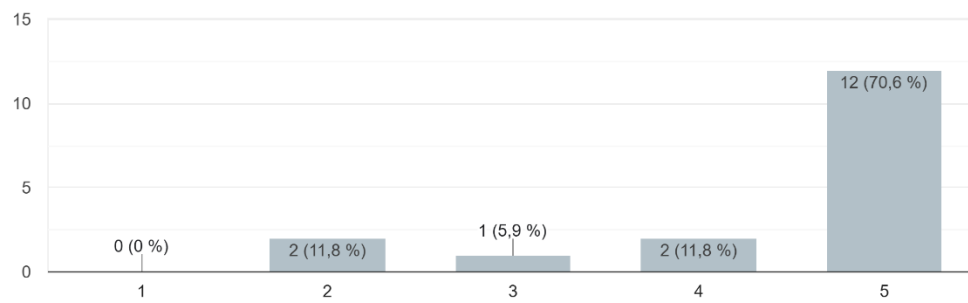


Ilustración 54: Forms VRosteum VR 3. Archivo de investigación. 2025

4. Calidad visual de los cráneos en VR (detalle, realismo, escala)

17 respuestas

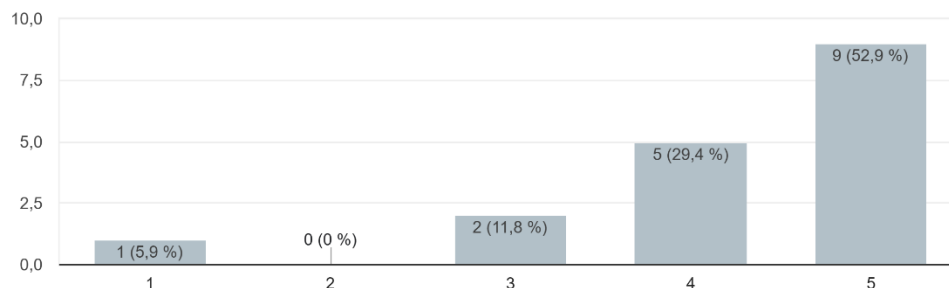


Ilustración 55: Forms VRosteum VR 4. Archivo de investigación. 2025

Y en la experiencia general de uso fue evaluada con la máxima puntuación por el 70,6 %, consolidando la percepción de disfrute, inmersión y novedad.

5. Experiencia general de uso (inmersión, practicidad, disfrute)

17 respuestas

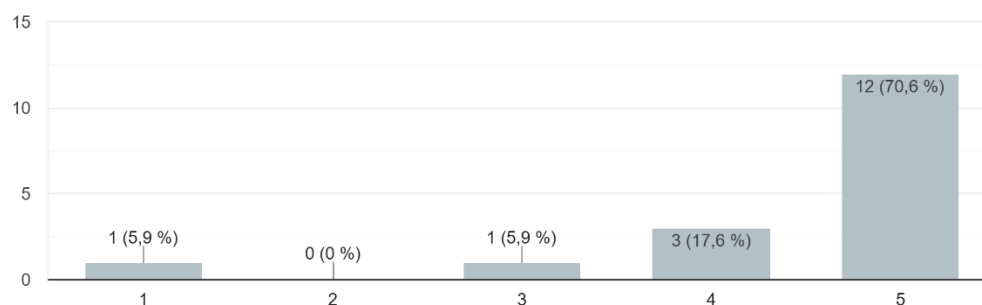


Ilustración 56: Forms VRosteum VR 5. Archivo de investigación. 2025

El diagrama de barras de la Figura 56 ilustra la consistencia de estas valoraciones, mostrando una concentración casi total en los rangos de satisfacción alta.

En las respuestas abiertas, los estudiantes destacaron el realismo, la interacción tridimensional y la sensación de “estar dentro del museo” como los principales aportes del recurso. Ejemplos como “El poder creer que tenía los cráneos en mis manos y verlos con

gran detalle” o “Ver los cráneos en forma más práctica por medio de las gafas” sintetizan la percepción de inmersión y motivación que generó la experiencia.

Entre los aspectos a mejorar se mencionaron:

- Ampliar el tiempo de uso y los turnos individuales.
- Incorporar accesibilidad, como textos visibles, audios o traducción en lengua de señas.
- Optimizar la calidad visual e incluir escenarios adicionales o nuevos grupos de animales.

Estas valoraciones cualitativas evidencian que la realidad virtual permitió una experiencia sensorial y cognitiva enriquecida, favoreciendo la exploración detallada y la curiosidad científica.

Comparación entre versiones PC y VR

El análisis conjunto de ambas modalidades permite identificar diferencias y complementariedades relevantes en términos de usabilidad, motivación y potencial pedagógico.

Tabla 3
Comparación versión Pc y VR

Dimensión evaluada	Versión PC	Versión VR
Accesibilidad y facilidad de uso	Alta. Intuitiva, práctica y estable en el aula.	Buena, aunque requiere asistencia técnica y tiempo de adaptación.

Nivel de inmersión y motivación	Moderado: facilita el aprendizaje visual, pero sin sensación inmersiva.	Alto: genera curiosidad, disfrute y sensación de presencia.
Interacción con el entorno	Limitada a mouse y teclado, pero suficiente para explorar.	Completa, mediante controladores y movimiento corporal.
Calidad visual percibida	Clara y detallada, con buena resolución en pantalla.	Realista y tridimensional, con percepción de escala.
Dificultades reportadas	Manejo del mouse, orden de la interfaz, textos pequeños.	Turnos limitados, mareo ocasional, necesidad de más tiempo.
Sugerencias principales	Ampliar contenido y mejorar diseño.	Mejorar tiempos, accesibilidad y agregar nuevos escenarios.

Tabla 3: Comparación versión Pc y VR. Archivo de Investigación. 2025.

Ambas experiencias fueron valoradas positivamente, aunque desde perspectivas distintas: la versión PC destaca por su accesibilidad y practicidad, mientras que la versión VR sobresale por su impacto inmersivo y emocional. En conjunto, ambas fortalecen la enseñanza de la mastozoología al combinar observación anatómica, manipulación digital y aprendizaje activo.

Resultados de los quices de conocimiento

Como parte del proceso de evaluación, se aplicaron quices diagnósticos y finales destinados a medir la comprensión sobre la morfología craneal y la identificación de órdenes de mamíferos después del uso del VRosteum. Sin embargo, debido a dificultades logísticas y de registro, los resultados no pudieron ser sistematizados cuantitativamente.

Aun así, a partir de la observación directa y los comentarios de los estudiantes, se evidenciaron avances cualitativos en el reconocimiento de estructuras anatómicas y una mayor apropiación del vocabulario científico relacionado con la clasificación mastozoológica. Los estudiantes lograron establecer relaciones entre forma y función, reconociendo características distintivas entre órdenes como Carnivora, Primates o Rodentia.

Este componente se asume como una limitación metodológica, pero también como un indicador de la necesidad de integrar evaluaciones más estructuradas en futuras aplicaciones, que permitan cuantificar el impacto del aprendizaje conceptual alcanzado a través de recursos inmersivos.

Síntesis interpretativa

La evaluación general del VRosteum en sus dos modalidades evidenció que el uso de tecnologías tridimensionales y de realidad virtual favorece procesos de aprendizaje activo, motivación y exploración autónoma del conocimiento biológico.

La versión de escritorio se consolida como un recurso accesible y funcional para contextos escolares, mientras que la versión inmersiva representa un salto cualitativo en la experiencia de enseñanza, promoviendo la curiosidad, la observación detallada y la vinculación emocional con el contenido.

Ambas experiencias confirman que las tecnologías digitales inmersivas pueden actuar como mediadoras en la construcción de saberes científicos, contribuyendo a transformar la enseñanza tradicional en un proceso participativo, visual y experiencial.

CONSIDERACIONES FINALES

El desarrollo de la presente investigación deja abiertas múltiples posibilidades para la formulación de nuevas propuestas relacionadas con la enseñanza de la biología mediante el uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC). En particular, se evidencia el potencial de las herramientas digitales, como los modelos tridimensionales y la realidad aumentada, para mediar los procesos de enseñanza, promoviendo experiencias educativas más activas, visuales y participativas.

Entre las principales implicaciones derivadas del proyecto se destaca la importancia de fomentar la participación activa de los docentes en formación, quienes se constituyen en agentes clave para la transformación pedagógica. Asimismo, la colaboración interinstitucional —entre universidades, museos y centros educativos— resulta esencial para el fortalecimiento de las experiencias formativas y la sostenibilidad de los recursos tecnológicos empleados.

Actualmente, el recurso se encuentra en desarrollo de la fase Alpha, lo que permitirá avanzar hacia su validación, ajuste y posterior implementación en distintos espacios académicos que lo requieran. Este proceso permitirá recoger aportes y retroalimentación por parte de docentes y estudiantes, con el fin de fortalecer su funcionalidad y pertinencia pedagógica.

La investigación constituye un aporte relevante a la formación de profesores de biología en formación, pues ofrece un acercamiento práctico a la integración pedagógica de las TIC en la enseñanza de las ciencias naturales. A su vez, representa un punto de partida para futuras investigaciones e innovaciones que busquen continuar explorando la enseñanza

mediada por dispositivos digitales e inmersivos, contribuyendo a la consolidación de una cultura tecnológica en la educación.

Implicaciones, limitaciones y desafíos:

En cuanto a las limitaciones, se identifican restricciones asociadas a los tiempos académicos, la disponibilidad de equipos tecnológicos, la conectividad y el acompañamiento docente, factores que pueden influir en la continuidad y alcance de la propuesta. No obstante, dichas limitaciones representan también oportunidades de mejora y consolidación de alianzas estratégicas para investigaciones futuras.

Se reconocen limitaciones de tiempo, espacio y colaboración, propias de los procesos de innovación educativa, especialmente en contextos donde la disponibilidad tecnológica o los tiempos institucionales pueden restringir el alcance de las actividades. Sin embargo, a pesar de estas limitaciones, la experiencia ha demostrado que es posible articular esfuerzos entre docentes, estudiantes y entidades aliadas para lograr resultados significativos.

Por último, entre los principales desafíos se encuentra la necesidad de seguir repensando las estrategias didácticas en torno a la incorporación de tecnologías emergentes, de manera que su uso no se limite a una dimensión instrumental, sino que contribuya efectivamente a la construcción de conocimiento y al desarrollo de competencias científicas, tecnológicas y críticas en los estudiantes. La proyección futura del trabajo consiste, por tanto, en consolidar la aplicación como un recurso educativo estable y transferible, que potencie la enseñanza de la biología desde una perspectiva innovadora, inclusiva y significativa.

Quiero mencionar que estos resultados son una primera fase del desarrollo de la investigación, que se espera ampliar en un proyecto de posgrado y así dar continuidad a este proceso

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo Díaz, J. A. (1997). Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS): Un enfoque innovador para la enseñanza de las ciencias. *Revista de Educación de la Universidad de Granada*, (10), 269–275.
- Acosta, A., y Boscán, L. (2014). Estrategias para promover aprendizaje significativo de la Biología en la escuela. *Revista de Educación en Biología*, 17(1), 45–62.
<https://www.redalyc.org/pdf/904/90430816010.pdf>
- Altuna, S. (2021). Taller de Modelización y Recursos Didácticos en Biología. IES 7 Venado Tuerto.
https://ies7venadotuerto.edu.ar/planes/c_biologia/Bio_plan4_TallerModelizacion_y_Recursos_didacticos_en_Biologia_2021%20-%20Susana_Altuna.pdf
- Ambientech.org (2024). Recursos Educativos. <https://ambientech.org/recursos-educativos>
- American Society of Mammalogists. (2024). Mammal Diversity Database (Version 1.11).
<https://www.mammaldiversity.org>
- Ankel-Simons, F. (2017). *Primate anatomy: An introduction* (4th ed.). Academic Press.
- Atmaca, H. T. (2024). Exploring mouse necropsy through augmented reality: developing a web application for enhanced learning and visualization. *Discover Education*, 3(1).
<https://doi.org/10.1007/s44217-024-00248-x>
- Ávila-Fajardo, GP y Riascos-Erazo, SC (2011). Propuesta para la medición del impacto de las TIC en la enseñanza universitaria. *Educación y Educadores*, 14 (1), 169-188.
- Ayuste, A, Escofet, A, Obiols, N y Masgrau, M. (2016). Aprendizaje-servicio y codiseño en la formación de maestros: vías de integración de las experiencias y perspectivas de los estudiantes. vol. 2, num. 68, p. 169-183. <https://doi.org/10.13042/Bordon.2016.68211>
- Baracaldo Quintero, ME, (2011). LA SUBJETIVIDAD EN LA FORMACIÓN DE MAESTROS. *Nómadas* (Col), (34), 246-259.

- Barroso Osuna, J. M., y Cabero Almenara, J. (2020). Realidad aumentada y aprendizaje de la Biología: diseño y evaluación de una experiencia con estudiantes universitarios. *Revista de Educación a Distancia*, 20(63), art. 3.
- Bermúdez, A., et al. (2018). Juegos didácticos basados en realidad aumentada como apoyo en la enseñanza de biología. <https://documentas.redclara.net/bitstream/10786/1263/1/39-4-4Juegos%2520did%25C3%25A1cticos%2520basados%2520en%2520realidad%2520aumentada%2520como%2520apoyo%2520en%2520la%2520ense%25C3%25B1anza%2520de%2520biolog%25C3%25ADa.pdf>
- Bhatia, A. (2014). Active learning leads to higher grades and fewer failing students in science, math, and engineering. *WIRED*. <https://www.wired.com/2014/05/empzeal-active-learning/>
- BioDigital Inc. (2025). The BioDigital Human: Interactive 3D anatomy, disease y treatment platform. <https://www.biodigital.com>
- BioInteractive, HHMI. (2024). BioInteractive. Recursos multimedia para aprender biología. <https://fundacionluminis.org.ar/recurso-didactico-online/biointeractive>
- Blanco, A. (2020). Competencias didácticas que necesitan los futuros docentes de Biología y Química. *Investigaciones en Gestión de la Organización y la Educación*, 3, 92–108.
- Boudadi, N. A., y Gutiérrez-Páez, M. (2022). The impact of using interactive animation in biology education at Moroccan universities. *Physics Education*, 57(5), 055010.
- Briones-Salas, Miguel, Ramos, Dagoberto, y Santiago, Yadira. (2014). Análisis de los trabajos presentados en los Congresos Nacionales organizados por la Asociación Mexicana de Mastozoología (AMMAC). *Therya*, 5(2), 461-480. <https://doi.org/10.12933/therya-14-204>
- Buencuerpo Arcas, V., García Moreno, A., Gutiérrez Castaño, E., Outerelo Domínguez, R., Pérez González, S., Pérez Tris, J., Pérez Zaballos, J., Ramírez García, A., y Ruiz Piña, E. (2016).

- Prácticas de Zoología. Estudio y diversidad de los Vertebrados Mamíferos. Características generales. Reduca (Biología). Serie Zoología, 9(1), 13–32. ISSN: 1989-3620.
- Cabero Almenara, J., y Martínez Gimeno, A. (2019). Las TIC y la formación inicial de los docentes. Modelos y competencias digitales. Profesorado, Revista De Currículum Y Formación Del Profesorado, 23(3), 247–268. <https://doi.org/10.30827/profesorado.v23i3.9421>
- Cabra Torres, Fabiola, y Marín Díaz, Dora Lilia. (2015). Formar para investigar e innovar: tensiones y preguntas sobre la formación inicial de maestros en Colombia. Revista Colombiana de Educación, (68), 149-171. Retrieved October 22, 2025, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-39162015000100007&lng=en&lng=es.
- Cajiao, R., y Colombia, F. (2004). La formación de maestros y su impacto social. Colciencias; Cooperativa Editorial Magisterio Cajiao, F La formación de maestros y su impacto social.
- Calvo, G., (2009). INCLUSIÓN Y FORMACIÓN DE MAESTROS. REICE. Revista Iberoamericana sobre Calidad, Eficacia y Cambio en Educación, 7(4), 78-94.
- Cárdenas-González, Catalina, Agudelo-Zamora, Henry D., y López-Arévalo, Hugo F.. (2021). Aportes y retos de la Colección de Mamíferos "Alberto Cadena García" del instituto de Ciencias Naturales al conocimiento de este grupo en Colombia. Caldasia, 43(2), 235-246. Epub April 07, 2022. <https://doi.org/10.15446/caldasias.v43n2.85458>
- Carvalho, A. (2013). Formación de profesores de ciencias: tendencias e innovaciones. In Prospherus (Ed.), Avances en educación científica (Cap. 3). Prospherus. [Disponible en: Prospherus, 2025]
- Carvalho, I. N., Nunes-Neto, N. F., y El-Hani, C. N. (2010). Como selecionar conteúdos de biologia para o ensino médio? Revista de Educação, Ciências e Matemática, 1(1), 67–100. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=737537534006>

- Cedec.intef.es (2020). Recursos interactivos para aprender Ciencias, Salud y Medio Ambiente en la etapa de Educación Secundaria. <https://cedec.intef.es/recursos-interactivos-para-aprender-ciencias-salud-y-medio-ambiente-en-la-etapa-de-educacion-secundaria/>
- Colombia. Congreso de la República. (2012). Ley Estatutaria 1581 de 2012, por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales. Diario Oficial No. 48.587.
- Comunicaciones CUT. (2022, 2 feb.). La CUT rechaza persecución sindical de la Universidad Pedagógica Nacional contra la seccional de ASPU-UPN. CUT. <https://cut.org.co/la-cut-rechaza-persecucion-sindical-de-la-universidad-pedagogica-nacional-contra-la-seccional-de-aspu-upn/> CUT
- Cook, J. A., Edwards, S. V., Lacey, E. A., Guralnick, R. P., Soltis, P. S., Soltis, D. E., ... y Yahr, R. (2014). Natural history collections as emerging resources for innovative education. *BioScience*, 64(8), 725–734.
- Crotty, M. (2009). *The foundations of social research: Meaning and perspective in the research process*. SAGE Publications.
- Cruz Martínez, B. C. (2022). Análisis de los criterios del método craneométrico en mamíferos carnívoros. Repositorio DGB-UNAM. <https://ru.dgb.unam.mx/items/970f3a01-e143-4d82-9a93-209323a274ec>
- Custodio Aufiero, H. M. (2024). Colecciones biológicas virtuales: un recurso didáctico para la enseñanza de la biodiversidad. SEDICI – Universidad Nacional de La Plata. <https://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/177890>
- Darrigran, G. (2023). Colecciones biológicas y virtualidad: recurso didáctico para fortalecer la calidad educativa. *Revista Bio-grafía*, 21(39), e17823.
- Darrigran, G., Custodio, H., Legarralde, T. I. y Vilches, A. M. (2023). Colecciones biológicas y virtualidad: un recurso para la enseñanza de la biodiversidad. *Bio-grafía*, 16(30), 132-141. <https://doi.org/10.17227/bio-grafia.vol.16.num30-17823>

- Delgadillo, I., y Góngora, F. (2009). Colecciones biológicas: estrategias didácticas en la enseñanza-aprendizaje de la Biología. *Bio-grafía*, 2(3), 131–140.
<https://www.redalyc.org/pdf/612/61220306.pdf>
- Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E., y Scott, P. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, 23(7), 5–12.
- Feldhamer, G. A., Drickamer, L. C., Vessey, S. H., Merritt, J. F., y Krajewski, C. (2015). *Mammalogy: Adaptation, Diversity, Ecology*. Johns Hopkins University Press.
- Fonseca A., G. (2021). El Conocimiento Didáctico del Contenido del concepto de biodiversidad en profesores en formación de biología. Un estudio de caso desde el diseño de una unidad didáctica. Publicado en: *Bio-grafía. Escritos sobre la biología y su enseñanza*, Edición Extraordinaria. Memorias del I Congreso Nacional de Investigación en Enseñanza de la Biología. pp. 401-412.
- Fonseca, G. (2018). El conocimiento profesional del profesor de biología sobre biodiversidad. Un estudio de caso en la formación inicial durante la práctica pedagógica en la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11349/14263>
- García Franco, R. D. (2022). Las colecciones biológicas como estrategia didáctica generadora de aprendizajes significativos en ciencias naturales y educación ambiental [Tesis de Maestría]. Universidad Nacional de Colombia. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/10915/126789>
- García, A., y Verzi, D. (2022). Innovación Didáctica en Ciencias Biológicas: Realidad Aumentada. <https://estudiosyperspectivas.org/index.php/EstudiosyPerspectivas/article/view/693>
- García-Barrios, E. y Romo, H. (2010). Anatomía del cráneo de mamíferos [Material de prácticas]. Universidad Autónoma de Madrid, Departamento de Biología. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/slideshow/11-anatomia-del-craneo-de-mamiferos/12657110>

- Gardner, A. L. (2005). Order Didelphimorphia. In D. E. Wilson y D. M. Reeder (Eds.), *Mammal species of the world: A taxonomic and geographic reference* (3rd ed., pp. 3–18). Johns Hopkins University Press.
- Gess-Newsome, J. (2015). A model of teacher professional knowledge and skill including PCK: Results of the thinking from the PCK Summit. In A. Berry, P. Friedrichsen, y J. Loughran (Eds.), *Re-examining pedagogical content knowledge in science education* (pp. 28–42). Routledge.
- Google. (2025). Mapa de la Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá [Mapa]. Google Maps.
<https://www.google.com/maps>
- Goswami, A., Milne, N., y Wroe, S. (2013). Biting through constraints: Cranial morphology, disparity and convergence across living and fossil carnivorous mammals. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 278(1713), 1831–1839.
- Gröning F, Bright JA, Fagan MJ, O'Higgins P. (2012). Improving the validation of finite element models with quantitative full-field strain comparisons. *J Biomech.* 11;45(8):1498-506. doi: 10.1016/j.jbiomech.2012.02.009
- Gutierrez, A. (2017). El laboratorio de ciencias en la formación docente: Integración de las prácticas de laboratorio en la enseñanza de las ciencias. *Latin American Journal of Science Education*, 4(2), 22067.
- Gutiérrez, C. A. (2018). Herramienta didáctica para integrar las TIC en la enseñanza de las ciencias. *Revista Interamericana de Investigación Educación y Pedagogía RIIEP*, 11(1), 101–126.
<https://doi.org/10.15332/s1657-107x.2018.0001.03>
- Hanken, J., y Hall, B. K. (Eds.). (1993). *The skull* (Vols. 1–2). University of Chicago Press.
- Harris, J., Mishra, P., y Koehler, M. (2009). Teachers' technological pedagogical content knowledge and learning activity types. *Journal of Research on Technology in Education*, 41(4), 393-416.

- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., y Baptista-Lucio, P. (2010). Metodología de la investigación (5.ª ed.). McGraw-Hill Interamericana.
- HernándezVega, G., (2004). Formacion de Maestros en el Departamentode Nariño. Revista Historia de la Educación Latinoamericana, 6(6), 127-146.
- HHMI BioInteractive. (2024). BioInteractive. Recursos multimedia para aprender biología.
<https://fundacionluminis.org.ar/recurso-didactico-online/biointeractive>
- Hickman, C. P., Jr., Keen, S., Eisenhour, D. J., Larson, A., y I'Anson, H. (2020). Integrated principles of zoology (18th ed.). McGraw-Hill Education.
- Igob.ig.edu.co (2023). Materiales didácticos digitales para la asignatura Biología Molecular.
<https://www.medigraphic.com/pdfs/cubaysalud/pcs-2018/pcss181ad.pdf>
- Innovative Genomics Institute. (2024). CRISPR-3D: Biología molecular en realidad aumentada.
<https://innovativegenomics.org/es/contin%C3%BAA/actividades-de-juegos/crujiente-3d/>
- Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y Formación del Profesorado (INTEF). (2025).
 Simuladores – Laboratorios virtuales. Ministerio de Educación y Formación Profesional,
 Gobierno de España. <https://intef.es/recursos/simuladores-laboratorios-virtuales/>
- Izquierdo Pardo, J. M., Pardo Gómez, M. E., y Izquierdo Lao, J. M. (2020). Modelos digitales 3D en el proceso de enseñanza-aprendizaje de las ciencias médicas. MEDISAN, 24(5), 1035–1048. Recuperado de
<https://www.redalyc.org/journal/3684/368464850020/html/>
- Jablonski, D. (1999). The future of the fossil record. Science, 284(5423), 2114–2116.
- Jimoyiannis, A. (2010). Designing and implementing an integrated technological pedagogical science knowledge framework for science teachers. Computers y Education, 55(3), 1259-1269.
- Kardong, K. V. (2019). Vertebrates: Comparative Anatomy, Function, Evolution. McGraw-Hill Education.

- Kumar, S., Suleski, M., Craig, J. E., Kasprowicz, A. E., Sanderford, M., Li, M., Stecher, G., y Hedges, S. B. (2022). TimeTree 5: An expanded resource for species divergence times. TimeTree. Recuperado el 14 de octubre del 2025 de: <https://timetree.org/>
- Lautenschlager, S., Gill, P. G., Luo, Z.-X., Fagan, M. J., y Rayfield, E. J. (2023). Functional reorganisation of the cranial skeleton during the cynodont–mammaliaform transition. *Communications Biology*, 6(1), 372.
- Lion Studios. (2023). Biología RA [Mobile application]. Google Play.
<https://play.google.com/store/apps/details?id=br.com.lionstudios.biologiara>
- López et al. (2024). TIC Aplicadas por los Docentes para el Desarrollo de Competencias Digitales. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(3), 11262.
- López, S. (2010). “Una mirada sobre los trabajos prácticos propuestos por los docentes de biología”. Universidad CLAEH. <https://universidad.claeh.edu.uy/educacion/wp-content/uploads/sites/2/2020/11/Silvana-L%25C3%25B3pez.doc.pdf>
- Lorduy, D., y Naranjo, C. (2020). Tecnologías de la información y la comunicación aplicadas a la educación en ciencias. *Praxis y Saber*, 11(27), e11177. <https://doi.org/10.19053/22160159.v11.n27.2020.11177>
- Macdonald, D. W. (Ed.). (2006). *The Princeton encyclopedia of mammals*. Princeton University Press.
- Mantilla, H, Cadena, A y Jiménez, A. (2014). Historia de la mastozoología en Colombia: Pasado, presente y perspectivas. Pp. 153-174. *Historia de la mastozoología en Latinoamérica, las Guayanas y el Caribe* (J Ortega, JL Martínez y DG Tiria, eds.). Editorial Murciélago Blanco y Asociación Ecuatoriana de Mastozoología, Quito y México, DF
- Mayta Huatuco, R., y León Velásquez, W. (2009). El uso de las TIC en la enseñanza profesional. *Datos Industriales*, 12 (2), 61-67.

- Medigraphic.com (2018). Vista de Materiales didácticos digitales para la asignatura Biología Molecular. https://revpanorama.sld.cu/index.php/panorama/article/view/954/pdf_174
- Medina, A y Saldaña, O. (2014). Historia de la mastozoología en Nicaragua: Una retrospectiva sobre la investigación en el país y su futuro. Pp. 315-328. Historia de la mastozoología en Latinoamérica, las Guayanas y el Caribe (J Ortega, JL Martínez y DG Tiria, eds.). Editorial Murciélagos Blanco y Asociación Ecuatoriana de Mastozoología, Quito y México, DF
- Medina, W, Macana García, D. C, y Sánchez, F. (2015). Aves y mamíferos de bosque altoandino-páramo en el páramo de Rabanal (Boyacá-Colombia). Ciencia en Desarrollo, 6(2), 185-198. Retrieved October 27, 2025, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-74882015000200008&lng=en&lng=es.
- Mendoza Velazco, D. J., Flores Hinojosa, E. M., Paredes Benavides, A. G., y Sanango Gualpa, C. K. (2022). La realidad aumentada en la enseñanza y aprendizaje de la biología y química universitaria: una revisión sistemática. RECIMA21 - Revista Científica Multidisciplinar, 3(8), e381766. <https://doi.org/10.47820/recima21.v3i8.1766>
- Meng, J., y Wyss, A. R. (2001). The morphology of Tribosphenomys (Rodentiaformes, Mammalia): Phylogenetic implications for basal Glires. Journal of Mammalian Evolution, 8(1), 1–71. <https://doi.org/10.1023/A:1011352102444>
- Mishra, P., y Koehler, M. J. (2006). Technological pedagogical content knowledge. Teachers College Record, 108(6), 1017-1054.
- Molina Andrade, A., Pérez, M. R., Castaño, N. C., Bustos, E. H., Suárez, O. J., y Sánchez, M. E. (2009). Mapeamiento informacional bibliográfico en el campo de la enseñanza de las ciencias, contexto y diversidad cultural: el caso del journal Cultural Studies in Science Education (CSSE). Revista EDUCyT, Vol. Extraordinario (Diciembre). Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Recuperado de https://die.udistrital.edu.co/sites/default/files/doctorado_ud/publicaciones/mapeamiento_inf

ormacional bibliografico en campo ensenanza ciencias contexto y diversidad cultural.
pdf

Mosquera Peñaloza, J, Correa Mena, Y y Ropero Hernández, L. (2023). La Gamificación y el uso de las TIC como Estrategia de Enseñanza y Aprendizaje en el Aula. Universidad Cooperativa de Colombia, Posgrado, Maestría en Educación, Bogotá. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12494/53144>

Mota, J. M., y Ruiz, A. L. (2022). Laboratorios virtuales y simulación 3D en la formación de pregrado de Biología: percepción del alumnado. Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Tecnologia, 15(2), e021020.

Murcia, Napoleón, y Jaramillo, Diego Armando. (2014). Educabilidad y normalidad. Imaginarios de maestros en formación. Sophia, 10(2), 9-22. Retrieved October 23, 2025, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-89322014000200002&lng=en&tlng=es.

Noguera, E. (2016). Mastozoología en Nariño y algunos comentarios sobre la biogeografía de la región. Revista De Ciencias, 7(1)

Nowak, R. M. (1999). Walker's mammals of the world (6th ed., Vols. 1–2). Johns Hopkins University Press.

Ocelli, M. (2018). Las simulaciones en la enseñanza de la Biología. CONICET Digital. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/98678/CONICET_Digital_Nro.7e68491d-6101-4bdd-987e-33118fa3f390_A.pdf

Orozco Marín, Y. A. (2017). Tratamiento didáctico del concepto biodiversidad en espacios no formales de educación: Una mirada desde la investigación en el campo. Bio-grafía. Escritos sobre la Biología y su Enseñanza, 10(19), 1078–1087. <https://doi.org/10.17227/bio-grafia.extra2017-7275>

Osorio, C. (2002). La educación científica y tecnológica desde el enfoque en Ciencia, Tecnología y Sociedad. Revista Iberoamericana de Educación, 28, 61–81.

- Park, S., y Oliver, J. S. (2008). Revisiting the conceptualisation of pedagogical content knowledge (PCK): PCK as a framework for teacher preparation. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 4(3), 261–274.
- Parra Mosquera, CA, (2012). TIC, CONOCIMIENTO, EDUCACIÓN Y COMPETENCIAS TECNOLÓGICAS EN LA FORMACIÓN DE MAESTROS. *Nómadas (Col)* , (36), 145-159
- Perea Negreira, D. (2006). Osteología comparada de los mamíferos. Universidad de la República (Uruguay).
https://www.colibri.udelar.edu.uy/jspui/bitstream/20.500.12008/31520/1/Perea_Osteologia%20comparada%20de%20mam%C3%ADferos_I.pdf
- Pérez, I. (2017). Estrategias para implementar las TIC en el aula de clase como herramientas facilitadoras de la gestión pedagógica
- Powers, K. E., Cook, J. A., McLean, B. S., y Dunnum, J. L. (2014). Natural history collections as emerging resources for innovative education in biology. *BioScience*, 64(8), 725–734.
- Quizlet (2024). Software para diseño de materiales didácticos.
<https://quizlet.com/ar/287850180/software-para-diseno-de-materiales-didacticos-flash-cards/>
- Ramos-Galarza, C. (2021). Diseños de investigación experimental. *CienciAmérica*, 10(1), Editorial.
<https://doi.org/10.33210/ca.v10i1.356>
- RedALyC. (2023). Experimentos en clases de ciencias: sentidos, tensiones y aprendizajes. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 28(97), 133–156.
<https://www.redalyc.org/journal/270/27072331002/html/>
- Romero Saritama, J. M., Cabero Almenara, J., y Gallego Pérez, Óscar. (2023). Realidad Aumentada como recurso didáctico para el aprendizaje de Biología: un estudio exploratorio desde la percepción de los

estudiantes universitarios. *Edutec, Revista Electrónica De Tecnología Educativa*, (84), 52–69.

<https://doi.org/10.21556/edutec.2023.84.2867>

Romero, C. (2019). “Casita de Biología”: patrimonio vivo para la formación docente. Museo de

Historia Natural UPN. Universidad Pedagógica Nacional (Colombia).

<https://www.upn.edu.co/museo-de-historia-natural/casita-de-biologia>

Samudio, R y Pino, J. (2014). Historia de la mastozoología en Panamá. Pp. 329-344. Historia de la

mastozoología en Latinoamérica, las Guayanas y el Caribe (J Ortega, JL Martínez y DG Tiria, eds.).

Editorial Murciélago Blanco y Asociación Ecuatoriana de Mastozoología, Quito y México, DF

Sánchez Corrales, J. J. (2023). Alometría craneana de mamíferos y su posible asociación con dieta y

ecología. Repositorio Universidad de Caldas.

[https://repositorio.ucaldas.edu.co/entities/publication/ffbcfa2d-6429-4e48-8cd2-](https://repositorio.ucaldas.edu.co/entities/publication/ffbcfa2d-6429-4e48-8cd2-24157387c57c)

[24157387c57c](https://repositorio.ucaldas.edu.co/entities/publication/ffbcfa2d-6429-4e48-8cd2-24157387c57c)

Sánchez Riera, A., y Ramírez Montoya, M. S. (2021). Realidad aumentada en la enseñanza de las

ciencias experimentales: una revisión sistemática. *Revista Electrónica de Investigación*

Educativa, 23, e23.

Sánchez Rodríguez, J. (2009). Plataformas de enseñanza virtual para entornos educativos. *Pixel-Bit. Revista de*

Medios y Educación, (34), 217–233. Recuperado de

<https://www.redalyc.org/pdf/368/36812036015.pdf>

Singh S, Kaur A y Gulzar Y (2024) El impacto de la realidad aumentada en la educación: una exploración

bibliométrica. *Front. Educ.* 9:1458695. doi: 10.3389/feduc.2024.1458695

Sketchfab. (s. f.). Búsqueda de modelos 3D “mammal skull” [Página web]. Recuperado el 23 de

octubre de 2025, de <https://sketchfab.com/search?q=mammal+skullytype=models>

StudySmarter. (2024). Qué es, por qué importa y cómo se estudia la diversidad de mamíferos en el

aula. [Resumen didáctico + ejemplos de especies clave].

<https://www.studysmarter.es/resumenes/biologia/veterinario/mastozoologia/>

UC Museum of Paleontology. (2025). Understanding evolution: Comparative anatomy. University of California, Berkeley. Retrieved October 22, 2025, from:

https://evolution.berkeley.edu/evolibrary/article/0_0_0/comparative_anatomy_01

Universidad de Granada. (s.f.). *Anexo I Instrumentos para la evaluación de medios y recursos tecnológico/didácticos*. [Documento]. Recuperado de

https://www.ugr.es/~ugr_unt/Material%20M%F3dulo%2010/anexo-1.pdf

Universidad Pedagógica Nacional. (2023). Proyecto Educativo del Programa – Licenciatura en Biología (versión mayo de 2023). Bogotá, Colombia: Universidad Pedagógica Nacional. Recuperado de:

https://cienciaytecnologia.upn.edu.co/wpcontent/uploads/2023/09/PEP_MAYO-2023.pdf

University of Colorado Boulder. (s. f.). Simulaciones de biología [Página web]. PhET Interactive Simulations. Recuperado el 23 de octubre de 2025, de

<https://phet.colorado.edu/es/simulations/filter?subjects=biology>

Urbina, S.; Pérez-garcías, A.; Ramírez-Mera, U. n. (2022). La competencia digital del profesorado universitario en la formación de maestros. *Campus Virtuales*, 11(2), 49-62.

<https://doi.org/10.54988/cv.2022.2.1043>

Urbina-López, M. de los Á. (2024). El uso de realidad aumentada en la enseñanza y aprendizaje de la Biología y Química universitaria. *Retos de la Ciencia*, 12(24), 123–140.

<https://www.retosdelacienciaec.com/Revistas/index.php/retos/article/download/539/736/258>

4

UVaDOC. (2021). El rincón de los experimentos: cómo la ciencia experimental potencia el pensamiento crítico desde Educación Infantil. Universidad de Valladolid.

<https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/50039/TFG-L3024.pdf>

Vaughan, T. A., Ryan, J. M., y Czaplewski, N. J. (2015). *Mammalogy* (6th ed.). Jones y Bartlett Learning.

- Viafara, R. (2024). Desarrollo de competencias digitales docentes en la formación inicial de los profesores de ciencias naturales. Universidad del Valle.
<https://libros.univalle.edu.co/index.php/programaeditorial/catalog/book/864>
- Vilches, A., y Solbes, J. (1995). El profesorado y las actividades CTS. *Alambique: Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 3, 30–38.
- Voogt, J., Fisser, P., Pareja Roblin, N., Tondeur, J., y van Braak, J. (2013). Technological pedagogical content knowledge. *Journal of Computer Assisted Learning*, 29(2), 109-121.
- VR-Lab Academy. (2025). Biology virtual reality experiments [Software].
<https://www.vrlabacademy.com/es>
- Wetterbom, A., Sevov, M., Cavelier, L., y Bergström, T. F. (2006). Comparative genomic analysis of human and chimpanzee indicates a key role for indels in primate evolution. *Journal of Molecular Evolution*, 63(5), 682–690.
- Wieman, C., Adams, W., y Perkins, K. (2024). PhET Interactive Simulations. University of Colorado. <https://phet.colorado.edu/es/>
- Wilson, D. E., y Reeder, D. M. (Eds.). (2005). *Mammal species of the world: A taxonomic and geographic reference* (3rd ed., Vols. 1–2). Johns Hopkins University Press.
- WitmerLab en la Universidad de Ohio. (2018). Capybara skull of the largest living rodent [Modelo 3D]. Sketchfab. <https://sketchfab.com/3d-models/capybara-skull-of-the-largest-living-rodent-77a788c945864ec39dca84a1f56601e4>
- Wozencraft, W. C. (2005). Order Carnivora. In D. E. Wilson y D. M. Reeder (Eds.), *Mammal species of the world: A taxonomic and geographic reference* (3rd ed., pp. 532–628). Johns Hopkins University Press.

Berta, A., Ekdale, E. G., y Cranford, T. W. (2014). Review of the cetacean nose: Function and evolution. *The Anatomical Record*, 297(11), 2075–2086.

ANEXOS

ANEXO 1. Modelo consentimiento informado

Vicerrectoría de Gestión Universitaria

Subdirección de Gestión de Proyectos – Centro de Investigaciones CIUP

Comité de Ética en la Investigación

En el marco de la Constitución Política Nacional de Colombia, la Ley Estatutaria 1581 de 2012 “Por la cual se dictan disposiciones generales para la protección de datos personales” y la Resolución 1642 del 18 de diciembre de 2018 “Por la cual se derogan las Resoluciones N°0546 de 2015 y N° 1804 de 2016, y se reglamenta el Comité de Ética en Investigación de la Universidad Pedagógica Nacional y demás normatividad aplicable vigente, se ha definido el siguiente formato de consentimiento informado para proyectos de investigación realizados por miembros de la comunidad académica considerando el principio de autonomía de las comunidades y de las personas que participan en los estudios adelantados por miembros de la comunidad académica.

Lo invitamos a que lea detenidamente el Consentimiento informado, y si está de acuerdo con su contenido exprese su aprobación firmando el siguiente documento:

PARTE UNO: INFORMACIÓN GENERAL DEL PROYECTO

Título del proyecto de investigación	CONOCIENDO MASTOFAUNA: USO DE MODELOS 3D Y REALIDAD AUMENTADA PARA LA APROXIMACIÓN A LA MORFOLOGÍA DE CRÁNEOS CON PROFESORES DE BIOLOGÍA EN FORMACIÓN
Resumen de la investigación	La investigación es un trabajo de grado que busca diseñar y comprobar la efectividad de un recurso didáctico de realidad virtual relacionado con el conocimiento de mamíferos a partir del estudio de sus cráneos, presentes en el Museo de Historia Natural de la Universidad Pedagógica Nacional. El estudio está dirigido a maestros en formación de la Licenciatura en Biología de la UPN, particularmente a los estudiantes de tercer semestre que cursan el espacio académico de Diversidad Biológica I. El propósito principal es innovar en las estrategias de enseñanza para la comprensión de la mastofauna, incorporando las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) como recurso pedagógico novedoso y didáctico.

Descriptoros claves del proyecto de investigación	· Cráneos de mamíferos · Realidad virtual · Enseñanza a maestros en formación		
Descripción de los posibles beneficios de participar en el estudio	Los participantes obtendrán experiencias novedosas de aprendizaje, una mejor comprensión de la diversidad de mamíferos y el conocimiento de nuevos recursos didácticos aplicables a la enseñanza de las ciencias naturales.		
Mencione la forma en que se socializarán los resultados de la investigación	Los resultados de la investigación serán presentados en la socialización del trabajo de grado, consignados en el documento académico correspondiente y, posiblemente, publicados en un artículo científico.		
Explicite la forma en que mantendrá la reserva de la información	La confidencialidad se garantizará mediante el uso de información anónima, la no divulgación de datos sensibles y el manejo de bases de datos de forma reservada, reportando únicamente los resultados justificados de la investigación.		
Datos generales del investigador principal	Nombre(s) y Apellido(s) :		
	N° de Identificación:	Teléfono	
	Correo electrónico:		
	Dirección:		

PARTE DOS: CONSENTIMIENTO INFORMADO

Yo _____

Identificado con Cédula de Ciudadanía _____, en representación de _____ con número de identificación _____.

Declaro que:

1. He sido invitado a participar en la investigación y de manera voluntaria he decidido hacer parte de este estudio.
2. He sido informado sobre los temas en que se desarrollará el estudio, han sido resueltas todas mis inquietudes y entiendo que puedo dejar de participar en cualquier momento si así lo deseo.
3. Sobre esta investigación me asisten los derechos de acceso, rectificación y oposición que podré ejercer mediante solicitud ante el investigador responsable, en la dirección de contacto que figura en este documento.
4. Conozco el mecanismo mediante el cual los investigadores garantizan la custodia y confidencialidad de mis datos.
5. La información obtenida de mi participación será parte del estudio y mi anonimato se garantizará. Sin embargo, si así lo deseo, autorizaré de manera escrita que la información personal o institucional se mencione en el estudio.
6. Autorizo a los investigadores para que divulguen la información y las grabaciones de audio, video o imágenes que se generen en el marco del proyecto y que no comprometan lo enunciado en el punto 4D.

En constancia, manifiesto que he leído y entendido el presente documento.

Firma,

Firma del participante (si aplica),

Nombre:

Identificación:

Fecha:

Con domicilio en la ciudad de: _____

Dirección: _____

Teléfono y N° de celular: _____

Correo electrónico: _____

La Universidad Pedagógica Nacional agradece sus aportes y su decidida participación

ANEXO 2: Rúbrica de evaluación de conceptos previos

RÚBRICA DE EVALUACIÓN DE PRECONCEPTOS SOBRE MAMÍFEROS

Población: Estudiantes de Licenciatura en Biología (3.er semestre)

Propósito: Indagar los conocimientos previos y concepciones iniciales acerca de los mamíferos y el reconocimiento de características morfológicas en cráneos como recurso para el aprendizaje en realidad virtual.

Tipo: Diagnóstica – exploratoria.

Criterio	Nivel alto (3)	Nivel medio (2)	Nivel bajo (1)
1.Reconocimiento general de los mamíferos	Identifica correctamente características exclusivas (glándulas mamarias, pelo, homeotermia, etc.) y distingue mamíferos de otros grupos.	Reconoce algunas características generales, pero mezcla con otros grupos (ej. confunde aves vivíparas, reptiles con pelo, etc.).	Tiene nociones muy vagas o erróneas; no distingue mamíferos de otros vertebrados.
2. Diversidad y clasificación básica	Menciona varios órdenes de mamíferos con ejemplos pertinentes; reconoce diversidad morfológica.	Reconoce 1–2 órdenes o menciona ejemplos aislados sin conexión clara.	No logra ubicar órdenes ni ejemplos; responde con ideas confusas o incorrectas.
3. Morfología de cráneos	Identifica correctamente rasgos distintivos (dientes, órbitas, hocico, etc.) y los asocia con funciones (alimentación, locomoción, hábitat).	Reconoce algunos rasgos, pero no explica función o relación ecológica.	Presenta confusión, no identifica rasgos ni los relaciona con los mamíferos.
4. Lenguaje científico y	Utiliza términos biológicos adecuados y explica	Mezcla lenguaje cotidiano y técnico, con	Usa solo términos coloquiales, con

claridad conceptual	con coherencia sus ideas.	explicaciones parcialmente claras.	explicaciones poco comprensibles.
5. Concepciones alternativas (errores comunes)	Expresa ideas ajustadas al conocimiento biológico actual.	Presenta concepciones alternativas pero parcialmente corregibles (ej. “todos los mamíferos son terrestres”).	Evidencia concepciones erróneas persistentes o mitos (ej. “los murciélagos no son mamíferos”).

ANEXO 3: Rúbrica de evaluación de la aplicación por expertos

RÚBRICA DE EVALUACIÓN – APP VROSTEUM - CRÁNEOS DE MAMÍFEROS

Escala de valoración: 1 = Deficiente | 2 = Insuficiente | 3 = Aceptable | 4 = Bueno | 5 = Muy bueno

Datos del evaluador

Nombre:	
Formación:	
Rol:	

1. Usabilidad y diseño

Criterio	1	2	3	4	5
1.1 Facilidad de navegación y uso de la aplicación					
1.2 Claridad de la interfaz y organización visual					
1.3 Calidad gráfica y realismo de los modelos 3D					

Comentarios: _____

2. Contenido científico

Criterio	1	2	3	4	5
2.1 Rigurosidad y exactitud de la información					

2.2 Pertinencia para la enseñanza de biología					
2.3 Uso adecuado de terminología científica					

Comentarios: _____

3. Valor educativo

Criterio	1	2	3	4	5
4.1 Estimula la curiosidad y participación					
4.2 Facilita la comprensión de características morfológicas					
4.3 Potencial de uso en aula, museos virtuales o investigación					

Comentarios: _____

ANEXO 4: Encuesta conceptos previos

PRUEBA DIAGNÓSTICA DE CONCEPTOS PREVIOS SOBRE MAMÍFEROS

Población: Estudiantes de Licenciatura en Biología (3.er semestre)

Instrucción general: Responde de manera autónoma y con tus propias palabras las siguientes preguntas. No se calificará con nota, sino que servirá para identificar ideas previas y concepciones iniciales sobre los mamíferos.

Sección 1. Reconocimiento general de los mamíferos

1. ¿Qué características piensas que permiten identificar a un mamífero y diferenciarlo de otros grupos de vertebrados?
2. Nombra tres ejemplos de animales mamíferos que conozcas y explica por qué los consideras dentro de este grupo.

Sección 2. Diversidad y clasificación básica

3. ¿Cuáles órdenes de mamíferos recuerdas? Escribe al menos dos y da un ejemplo de especie para cada uno.
4. ¿Qué tan diversa consideras que es la clase Mammalia en comparación con aves, reptiles o anfibios? Explica tu respuesta.

Sección 3. Morfología de cráneos

5. Observa la siguiente descripción: "Cráneo con caninos desarrollados, órbitas frontales y dientes adaptados a cortar carne". ¿Qué tipo de mamífero crees que corresponde a esa descripción? Explica tu respuesta.
6. Según tu experiencia, ¿qué elementos del cráneo (por ejemplo: tipo de dientes, forma de las órbitas, hocico) son más útiles para diferenciar grupos de mamíferos?

Sección 4. Lenguaje científico y claridad conceptual

7. Explica, en tus propias palabras y usando términos biológicos, ¿qué significa que un mamífero sea homeotermo?
8. Describe cómo explicarías a un estudiante de colegio qué es un mamífero y cuáles son sus principales características.

Sección 5. Concepciones alternativas o errores comunes

9. Responde verdadero o falso y justifica:
a) "Todos los mamíferos son terrestres".

- b) "Los murciélagos no son mamíferos porque vuelan".
- c) "Las ballenas son peces grandes que viven en el mar".

10. ¿Conoces alguna idea común que las personas suelen tener acerca de los mamíferos? Escríbelo y explica si estás de acuerdo o no con él.

ANEXO 5: Rúbrica de evaluación VRosteum gafas de VR

Evaluación de la aplicación VRosteum (Versión Gafas VR)

Este cuestionario tiene como objetivo recoger tu opinión sobre la aplicación VRosteum como recurso interactivo. Tus respuestas son anónimas y serán utilizadas únicamente para fines académicos.

* Indica que la pregunta es obligatoria

Experiencia de uso (Versión Gafas VR)

Escala de valoración:

1 = Muy difícil / Deficiente | 2 = Difícil / Poco adecuado | 3 = Aceptable | 4 = Fácil / Adecuado | 5 = Muy fácil / Excelente

1. Facilidad para iniciar la app en las gafas VR *

1

☐

2

☐

3

☐

4

☐

5

☐

2. Comodidad de la experiencia inmersiva (no mareo, controles intuitivos) *

1

☐

2

☐

3

☐

4

☐

5

☐

3. Facilidad de interacción con los mandos (rotar, volver, seleccionar) *

1

☐

2

☐

3

☐

4

☐

5

☐

4. Calidad visual de los cráneos en VR (detalle, realismo, escala) *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

5. Experiencia general de uso (inmersión, practicidad, disfrute) *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

6. ¿Qué fue lo que más te gustó de la aplicación? *

Tu respuesta

7. ¿Qué mejorarías para que la experiencia sea más práctica o agradable? *

Tu respuesta

ANEXO 6: Rúbrica de evaluación VRosteum PC

Evaluación de la aplicación VRosteum (versión PC)

Este cuestionario tiene como objetivo recoger tu opinión sobre la aplicación VRosteum como recurso interactivo. Tus respuestas son anónimas y serán utilizadas únicamente para fines académicos.

* Indica que la pregunta es obligatoria

Experiencia de uso (PC)

Escala de valoración:

1 = Muy difícil / Deficiente | 2 = Difícil / Poco adecuado | 3 = Aceptable | 4 = Fácil / Adecuado | 5 = Muy fácil / Excelente

1. Facilidad para abrir y usar la aplicación *

1

☐

2

☐

3

☐

4

☐

5

☐

2. Navegación e interacción con el mouse/teclado (rotar, volver, moverse) *

1

☐

2

☐

3

☐

4

☐

5

☐

3. Claridad y organización de la interfaz *

1

☐

2

☐

3

☐

4

☐

5

☐

4. Calidad visual de los cráneos (nitidez, detalle, realismo) *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

5. Experiencia general de uso (comodidad, practicidad) *

1	2	3	4	5
☐	☐	☐	☐	☐

6. ¿Qué fue lo que más te gustó de la aplicación? *

Tu respuesta

7. ¿Qué mejorarías para que la experiencia sea más práctica o agradable? *

Tu respuesta
