



RESULTADOS

R01.- Informe final del proyecto

Resumen	
TÍTULO:	R01.- Informe final del proyecto (v. 1.0)
RESUMEN:	En este documento se describen el contenido general del proyecto, así como las fases de realización y resultados obtenidos. Por otro lado, se presenta la justificación económica.
REDACCIÓN Y REVISIÓN:	Álvaro Rodríguez Miranda
FECHA:	<ul style="list-style-type: none">• Versión inicial (v.1.0) → noviembre de 2022• Versión final (v.2.0) → diciembre de 2022
REPOSITORIO:	http://hdl.handle.net/10810/58547

 Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea	Matematika Aplikatua Saila Departamento de Matemáticas Aplicada	Escuela de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz C/ Nieves Cano, 12. 01006, Vitoria-Gasteiz Tfno: +34 945 01 3220 e-mail: alvaro.rodriguez@ehu.eus
 Universidad del País Vasco Euskal Herriko Unibertsitatea	Politika Publikoak eta Historia Ekonomikoa Saila Departamento de Políticas Públicas e Historia Económica	Facultad de Economía y Empresa Avda. Lehendakari Agirre, 83. 48015, Bilbao Tfno: +34 946 01 7097 e-mail: maria.alvarezsainz@ehu.eus

Agradecimientos

Hemos de agradecer, en primer lugar, a las entidades convocantes y financiadoras de la presente convocatoria de investigación, por el soporte que han dado al trabajo realizado: la Universidad del País Vasco (UPV/EHU) y la Fundación Vital Fundazioa.

En especial, queremos expresar nuestra gratitud a Angélica Torices (Universidad Complutense de Madrid) que es el origen de haber pensado en organizar este proyecto, en cuyo desarrollo ha tenido una labor fundamental, pero que —por motivos de que se trata de una convocatoria cerrada en la que sólo puede participar personal de la UPV/EHU— no ha podido figurar oficialmente como miembro del equipo. Esperamos poder extender los resultados del presente trabajo en futuros empeños que puedan reflejar convenientemente la realidad.

A Carmelo Corral, técnico responsable de las colecciones paleontológicas del Museo de Ciencias Naturales de Álava, por su apoyo y ayuda en el manejo de los fósiles durante los trabajos de digitalización en los talleres del museo, así como por su excelente disposición a ilustrarnos sobre los temas paleontológicos de la provincia y, además, por su participación en las charlas de difusión que organizamos como remate final del proyecto.

También hemos de mencionar en este apartado de agradecimiento a los responsables del museo (Jesús Alonso y Javier Fernández) por facilitarnos el acceso a las colecciones del museo y su tiempo y comprensión al respecto de las actividades que deseábamos realizar. Ciertamente, no se ha podido extender la colaboración todo lo que nos hubiera gustado, pero eso ya depende de aspectos organizativos e institucionales que requieren otros plazos y marcos.

Por último, en lo referente a la tramitación administrativa nos gustaría agradecer a los proveedores por su paciencia a la hora de tratar con la burocracia de la universidad y al personal administrativo de nuestra universidad por hacer todo lo posible para que, finalmente, se pudieran ir tramitando todos los documentos.

Resumen

El presente informe corresponde al proyecto titulado «Clasificación y contextualización de colecciones paleontológicas del entorno alavés mediante métodos multivariantes con variables cualitativas» que ha sido financiado en la convocatoria 2021 de proyectos de investigación UPV/EHU con la Fundación Vital Fundazioa.

La siguiente tabla recoge el resumen y la justificación del estudio que se indicaron en la propuesta.

Tabla 1.- Resumen e interés del proyecto presentado.

Resumen	<p>El presente proyecto evalúa la utilidad de las herramientas estadísticas para la clasificación y contextualización de colecciones patrimoniales, utilizando para ello el ejemplo concreto del registro de dientes de dinosaurios terópodos del Museo de Ciencias Naturales de Álava (aunque su aplicación es extensible a otros casos). La propuesta incluye como aspecto novedoso el empleo de información cualitativa (no numérica) que, en muchas ocasiones, suele excluirse de los análisis estadísticos. Por otro lado, se evita el sesgo disciplinar en la forma de analizar los datos al contar con especialistas de diferentes áreas que abordan problemas similares de clasificación (geomorfología, arqueología, economía e ingeniería).</p> <p>En el proyecto, se presta atención a la calidad de los datos de partida (esenciales para poder obtener resultados válidos) desde el punto de vista de la documentación 3D y la consideración de tratarse de piezas patrimoniales que deben ser manejadas según los protocolos adecuados y, por otro lado, también se aborda la distribución y reutilización de los datos. Asimismo, se reflexiona sobre el valor del conocimiento generado y las posibilidades de aprovechamiento, no sólo en el ámbito académico, sino también en el desarrollo económico y turístico del territorio.</p>
Interés de la propuesta	<p>El proyecto aplica herramientas estadísticas para la caracterización de colecciones paleontológicas, aunando así las técnicas de análisis matemático con el patrimonio natural (los elementos paleontológicos) y los recursos culturales y turísticos (yacimientos y museos depositarios de las piezas). Por lo tanto, tiene implicaciones no sólo en el conocimiento sobre la disciplina de estudio (paleontología) y las herramientas empleadas (análisis multivariante), sino también en las posibilidades de rentabilización social de ese conocimiento a través del desarrollo regional de las zonas naturales origen de los fósiles que se encuentran en el territorio y en la oferta cultural y científica que ofrecen los museos.</p> <p>Asimismo, la concepción del proyecto supone la agrupación de experiencia en diferentes áreas científicas muchas veces inconexas (paleontología, matemática, ingeniería, economía, conservación, arqueología), lo que permitirá obtener productos novedosos al mismo tiempo que se consigue consolidar y aumentar la capacidad investigadora del equipo participante. Sobre este último punto, también es importante indicar que la mayor parte de los investigadores desarrollan su actividad en el campus de Álava, por lo que esta mejora en las capacidades de investigación repercutirá especialmente en este territorio.</p>

Con el fin de contextualizar el proyecto que se presentó y entender sus características, es oportuno indicar que el objeto de esta convocatoria era:

«La convocatoria de Proyectos de Investigación UPV/EHU - Fundación VITAL Fundazioa correspondiente al año 2021, tiene como finalidad favorecer el desarrollo de la investigación básica y aplicada vinculada al Territorio Histórico de Araba y a los objetivos de desarrollo sostenible (ODS). (...) La finalidad de esta convocatoria es generar conocimiento y ponerlo a disposición de la sociedad a través de proyectos de investigación en cualquiera de los cinco campos del conocimiento: Ciencias, Ingeniería y Arquitectura, Ciencias de la Salud, Ciencias Sociales y Jurídicas y Artes y Humanidades.»

Resulta destacable notar que la convocatoria hace hincapié en que, más allá del avance metodológico que se realice, los proyectos deben tener una vertiente de disposición a la sociedad y, en especial, deben demostrar una repercusión en ámbito local.

Respecto al formato de las propuestas, deben ser proyectos que debían desarrollarse durante el año 2022 con un presupuesto máximo de 8000 €. En total se presentaron 28 proyectos de los cuales fueron concedidos 13, siendo el proyecto que se describe a continuación el que obtuvo la máxima calificación en el área de «Ciencias». La financiación concedida fue de 4400 €.

Se trata de un proyecto con un marcado carácter multidisciplinar, que ha contado con la participación de las siguientes personas:

Tabla 2.- Miembros del equipo de investigación del proyecto.

Nombre	Departamento	
Álvaro Rodríguez	Matemática Aplicada	IP
María J. Álvarez	Políticas Públicas e Historia Económica	co-IP
Ana Ferrero	Políticas Públicas e Historia Económica	
Beñat García	Ingeniería Minera, Metalúrgica y CC de los Materiales	
Javier García	Geografía, Prehistoria y Arqueología	
M. Jaione Korro	Ingeniería Minera, Metalúrgica y CC de los Materiales	
Ane Lopetegi	Ingeniería Minera, Metalúrgica y CC de los Materiales	
Iñaki López	Matemática Aplicada	
Xabier Pereda-Suberbiola	Geología	
Leire Usategui	Matemática Aplicada	
José M. Valle	Ingeniería Minera, Metalúrgica y CC de los Materiales	
Angélica Torices	Geodinámica, Estratigrafía y Paleontología (UCM)	

Esta configuración tiene por objeto abarcar el problema desde una visión combinada que considera diversos ámbitos de conocimiento.



Fig. 1.- Equipo del proyecto de investigación con indicación de su ámbito de conocimiento.

La propuesta se elaboró a finales de 2021 y estaba inicialmente planteada para ser desarrollada durante un periodo de 12 meses. Por motivos administrativos, la concesión se demoró hasta mayo de 2022, pero se mantuvo la fecha de finalización a diciembre de ese año, lo que supuso una reducción importante del periodo de ejecución. No obstante, tras ajustar los plazos para las diferentes tareas, el proyecto inicialmente previsto se pudo desarrollar satisfactoriamente y dentro del plazo.

Como resultados del proyecto se elaboraron una serie de documentos y productos que están disponibles para su consulta a través del repositorio ADDI de la UPV/EHU¹.

- **R1.- Informe final del proyecto** (este documento). En el que se describe la propuesta, haciendo una exposición del problema inicial, planteamiento del trabajo, objetivos concretos a desarrollar, equipo de trabajo, plan de tareas, desarrollo y resultados obtenidos.
- **R2.- Protocolo de registro 3D de especímenes paleontológicos.** Un primer aspecto crítico del tratamiento de datos es conocer la calidad de los datos de partida. Al tratarse, en gran medida, de variables cuantitativas extraídas a través de diferentes medidas de los fósiles (morfometría), se consideró de gran interés realizar un estudio más amplio sobre las posibilidades de registro 3D que, por un lado, permitiría tener una visión comprensiva de la parte morfométrica de los elementos a estudiar y, además, generaría una serie de productos (los modelos 3D) con un importante valor en labores de difusión y promoción científica del museo.

¹ <http://hdl.handle.net/10810/58547>

- R3.- Tratamiento de datos para la clasificación de dientes de dinosaurio. Corresponde a los aspectos relativos al procesamiento de los datos utilizando técnicas matemáticas y su forma de aplicación al problema de la clasificación de los dientes de dinosaurio. Incluye un análisis previo de los estudios precedentes aplicados a la colección de estudio, una revisión de técnicas multivariantes de uso contrastado para la clasificación de datos y una visión de ejemplos de clasificación en otros campos (arqueometría y sedimentología). Con todo ello, se realiza una propuesta de tratamiento de datos aplicada a este tipo de elementos paleontológicos (los dientes de dinosaurio) y su forma de implementación.
- R4.- Valoración del proyecto y el recurso cultural. Informe en el que se analizan los posibles beneficios de la colección paleontológica en diversos ámbitos (económico, cultural, turístico...) y, en qué medida, el presente proyecto de investigación y sus resultados pueden contribuir a mejorar estos aspectos. Se presenta una propuesta conceptual relativa al «valor» de las colecciones de museo, así como un análisis preliminar de la situación del museo de Ciencias Naturales de Álava (centro donde se ubica la colección objeto de estudio) tanto en su sede física como en los medios de difusión (web, redes sociales, conexión a repositorios científicos y culturales, etc.).
- R5.- Colección de réplicas en 3D de los ejemplares de dientes de dinosaurio. Se han generado modelos 3D de detalle de 11 dientes correspondientes a dos especies diferentes de dinosaurio, los cuales están disponibles para su uso y descarga libre a través del registro en el repositorio de la universidad. Asimismo, se ha generado una colección de réplicas impresas que han quedado en el museo para que puedan ser mostradas y utilizadas en actividades de difusión científica y formativa.

1.- Introducción

La generación de grandes bases de datos —que recogen múltiples características de diferentes tipos de elementos— es una constante de la actual era de la información; asimismo, su análisis eficiente con el fin de extraer conocimiento representa uno de los desafíos más importantes en la justificación de los esfuerzos de digitalización, siendo la base sobre la que se construyen las aplicaciones vinculadas a la Inteligencia Artificial². Con independencia de la temática (medicina, biología, vialidad, criminología, etc.) la estructura de las bases de datos es esencialmente la misma (tablas de elementos de los que se han medido y registrado el valor de ciertos atributos) e, igualmente, son similares tanto las técnicas de análisis, como los obstáculos que pueden llegar a surgir al tratar de analizarlas. Por todo ello, aunque el proyecto presente utiliza datos relativos a una disciplina concreta (la paleontología), debe entenderse que existe una gran permeabilidad hacia otras áreas tanto en lo relativo a adoptar técnicas y recomendaciones como en la posibilidad de exportar las conclusiones que se obtengan en esta investigación.

Para presentar el problema que se pretende abordar, partimos de una base de datos concreta relativa a restos fósiles (dientes de dinosaurios terópodos) formada por varios cientos de especímenes de los que se dispone de diversos datos cuantitativos (altura, anchura, número de denticulos por milímetro...) y también de algunos atributos no numéricos (como podría ser la forma de los denticulos: rectangular o apuntados). A partir de esta información interesa realizar una clasificación taxonómica que permita identificar los tipos y las especies a las que pertenecieron. Las técnicas más habituales son los denominados *métodos multivariantes*³ (como el *Análisis de Componentes Principales* – PCA) y suelen utilizar sólo la información numérica, prescindiendo de la información cualitativa disponible. **Actualmente, existen grandes dudas sobre la calidad de las clasificaciones realizadas**, en particular cuando éstas se han realizado a partir de especímenes sin conexión anatómica con un cráneo o incluyen repertorios muy heterogéneos (en cuando a rangos temporales o espaciales)⁴. **La hipótesis que se plantea aquí es que los resultados pueden mejorar significativamente si se complementan estos análisis cuantitativos con otras técnicas mixtas que hagan uso de toda la información (con independencia de su naturaleza)**⁵. En concreto, nuestra búsqueda preliminar ha seleccionado dos técnicas con gran potencial que son las que se pretende evaluar dentro del marco del presente proyecto de investigación: los *Análisis Factoriales Múltiples* (MFA)⁶ y los *Análisis de Correspondencias* (CA)⁷. Asimismo, se evaluará la aplicación de diferentes tipos de representaciones gráficas (dendrogramas, mapas de calor, gráficos dinámicos interactivos, etc.) que permitan asistir tanto en la realización de las taxonomías (en ocasiones revelando patrones

² Russel, S. & Norvig, P. (2010) *Artificial Intelligence. A modern approach*. Pearson.

³ Larson DW, Currie PJ (2013) Multivariate Analyses of Small Theropod Dinosaur Teeth and Implications for Paleoeological Turnover through Time. *PLoS ONE* 8(1): e54329. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054329>

⁴ Smith, J.B., Vann, D.R. and Dodson, P. (2005) Dental morphology and variation in theropod dinosaurs: Implications for the taxonomic identification of isolated teeth. *Anat. Rec.*, 285A: 699-736. <https://doi.org/10.1002/ar.a.20206>

⁵ Hendrickx, C., Mateus, O., Araújo, R. & Choiniere, J. (2019) The distribution of dental features in non-avian theropod dinosaurs: Taxonomic potential, degree of homoplasy, and major evolutionary trends. *Palaeontologia Electronica* 22.3.74 1–110. <https://doi.org/10.26879/820> <https://palaeo-electronica.org/content/2019/2806-dental-features-in-theropods>

⁶ Abaira, V. & Pérez de Vargas, A. (1996) *Métodos multivariantes en bioestadística*. Centro de Estudios Ramón Areces, S.A.

⁷ Greenacre, M. (2008) *La práctica del análisis de correspondencias*. Fundación BBVA.

no detectados por las herramientas analíticas⁸) como en la visualización y exposición de los resultados.

El carácter innovador de la propuesta se plantea en tres espacios complementarios:

1. En primer lugar, respecto al análisis estadístico de los datos, existen dos puntos originales que cabe destacar: **la no especificidad de los métodos utilizados** con respecto al área de estudio y **la incorporación de la información de carácter cualitativo** (no numérico). En efecto, ahondando en el primero de los puntos (sobre el segundo ya se hizo un comentario en el párrafo anterior), es oportuno mencionar la fragmentación de soluciones por áreas de conocimiento. Aunque la clasificación de elementos en función de sus atributos se realiza en múltiples contextos (biología, arqueometría, medicina, ciencias sociales, usos del suelo, etc.), no existe una comunicación fluida entre diferentes disciplinas, por lo que cada comunidad es poco receptiva a los desarrollos y avances realizados en otras áreas. Frente a esta situación, en el presente proyecto se contará con la participación de investigadores que han utilizado métodos de clasificación en diferentes áreas (paleontología, economía, ingeniería, geomorfología y arqueometría), lo que permitirá tener una visión integrada de las técnicas disponibles y su aplicación.
2. En segundo lugar, la validez de los análisis matemáticos depende de la calidad de la información de partida y ésta, con frecuencia, es desconocida. Por todo ello, el proyecto incluye la participación de especialistas en la documentación geométrica 3D (para los elementos cuantitativos), especialistas en paleontología (para los atributos cualitativos) y conservadores (en lo relativo al manejo de las colecciones patrimoniales) que definirán un **protocolo para el registro** de las características de los especímenes de manera que se pueda garantizar la calidad y trazabilidad de la información que forma las bases de datos.
3. En tercer lugar, más allá del procesamiento de los datos, es preciso ahondar en el análisis del valor aportado tanto por los elementos estudiados (fósiles, en este caso) como por las propias bases de datos (y otros contenidos digitales, como pueden ser los modelos 3D generados) a la economía local y a la generación de recursos atractivos para la región. Sin este estudio —que raramente es abordado— resulta imposible justificar la pertinencia e interés de las investigaciones realizadas. En nuestro caso, se cuenta con especialistas en economía que establecerán un **procedimiento para la valoración del impacto** económico y social de la colección patrimonial paleontológica y que podrá aplicarse para el caso particular del Museo de Ciencias Naturales.

En resumen, la propuesta contempla el estudio multidisciplinar de la colección de especímenes (dientes de dinosaurio) desde una fase inicial (de la propia generación de la base de datos), pasando por el análisis de los datos e incorporando la valoración del impacto del recurso natural estudiado. Esta concepción holística también debe mencionarse como una característica original del proyecto.

⁸ Young, F.W.; Valero-Mora, P.M. & Friendly, M. (2006) *Visual statistics. Seeing data with Dynamic Interactive Graphics*. Wiley.

2.- Desarrollo

El «Proyecto» establece una serie de conexiones⁹ que permiten relacionar diversos elementos. En concreto, se parte de un planteamiento inicial en el que existe una colección de «Dientes» que está depositada en el «Museo». Por supuesto, el museo tiene como misión servir a un «Público», no obstante, este público no tiene un acceso directo a la colección ya que ésta no está expuesta para su visita y tampoco está a disposición para su análisis (fuera de los trabajos científicos supervisados por el personal del museo) de manera física o virtual. El «Proyecto» pretende crear este enlace para ello se dirige inicialmente al «Museo» —como institución a cargo de la colección que proporciona el acceso a la misma— y al conjunto de «Dientes» que se va a estudiar.

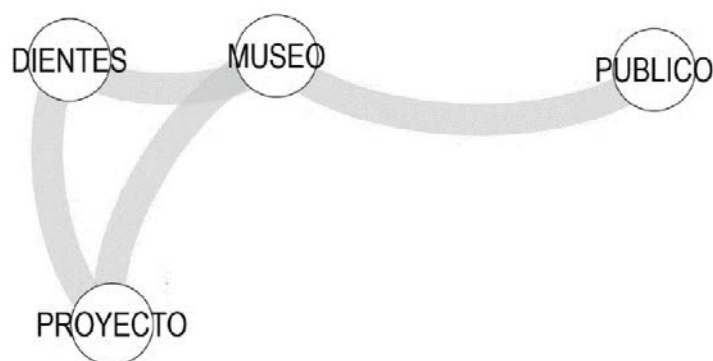


Fig. 2.- Elementos principales conectados a través del presente trabajo: «proyecto de investigación», «museo», «colección de dientes» y «público».

Esta conexión se establece a través de una serie de temas y agentes que van a intervenir en los diferentes procesos y que son los que aparecen representados en la siguiente figura.

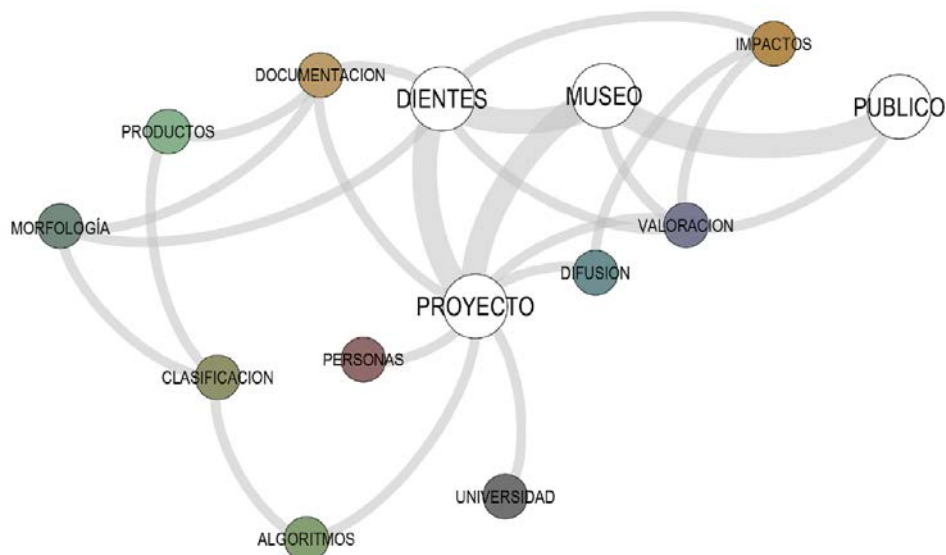


Fig. 3.- Desarrollo de la red de conexiones hasta el segundo nivel. En la que aparecen también indicados los factores principales que articulan las diferentes relaciones.

⁹ Los grafos han sido elaborados por Jaione Korro.

Para la realización del proyecto se establecieron tres paquetes de trabajo (*work packages*) interrelacionados que atendían respectivamente a:

- A) Recopilación y análisis de los datos de partida.
- B) Determinación y aplicación de las herramientas de análisis estadístico.
- C) Valoración de la difusión y el impacto del conocimiento generado.

De forma más detallada, cada uno de estos paquetes se encargó de los aspectos que se describen a continuación.

A.- Recopilación y análisis de los datos de partida

En esta tarea participan: Angélica Torices¹⁰ [AT] y Xabier Pereda [XP] (paleontología), José Manuel Valle [JMV] y Beñat García [BG] (ingeniería), Miren Jaione Korro [MJK] (conservación-restauración), Álvaro Rodríguez [AR] (ingeniería y matemática). Se trabajaron los siguientes puntos:

- (A1) La recopilación de bases de datos paleontológicos que se utilizarán en el análisis posterior, procedentes de diversas universidades y museos [AT] y [XP]. Esta tarea conlleva una labor de gestión (tanto para el acceso a los datos como para aclarar las condiciones intelectuales y de derechos en las que se encuentran, los límites existentes en su explotación y posibilidades de difusión) como de comprensión y explicación del contenido de las mismas.
- (A2) El estudio de las condiciones de los especímenes desde el punto de vista de la gestión de las colecciones patrimoniales y su manejo [MJK] durante las labores de registro y medida de los atributos descriptivos, con el fin de garantizar la integridad de las muestras y la seguridad de los investigadores.
- (A3) El estudio de las características geométricas del tipo de elementos a estudiar (dientes fósiles) con el fin de determinar las técnicas de registro 3D y cualitativo más indicadas [JMV] [BG] [AR] y estimar la precisión e indeterminación de las medidas obtenibles (con el fin de que esta indeterminación pueda considerarse como fuente de incertidumbre para los análisis estadísticos posteriores).

Por otro lado, también resulta esencial incluir los puntos 2 y 3 en el presente proyecto, como validación de los datos y para crear un protocolo de manejo y registro de las muestras, para lo cual se accederá físicamente a colecciones de fósiles y se realizarán pruebas de modelado 3D y medición con técnicas precisas, comparando los valores con los disponibles en las bases de datos existentes (punto 1), pudiendo así analizarlas en conjunto y analizar sus características, fiabilidad e interoperabilidad.

¹⁰ Angélica Torices es la responsable de la Cátedra de Paleontología de la Universidad de La Rioja y profesora de la Universidad Complutense de Madrid.

B.- Determinación y aplicación de las herramientas de análisis estadístico

En esta tarea participarán: María Jesús Álvarez [MJA] (informática & ciencias económicas y empresariales), Javier Iñáñez [JI] (arqueometría), Ane Lopetegi [AL] (geomorfología), Iñaki López [IL] y Leire Usategui (matemática aplicada) [LU], Angélica Torices [AT] (paleontología) y Álvaro Rodríguez [AR] (ingeniería y matemática). Se establecerán dos tareas:

- (B1) Por un lado, se realizó una puesta en común —con la participación de todos los miembros— de las diferentes técnicas de clasificación, visualización de datos y modo de empleo en cada área de especialización y se analizará su adaptación a las necesidades concretas del estudio (dientes). Este punto se ha desarrollado mediante la revisión bibliográfica, desarrollo de ejemplos y discusión de resultados entre los participantes, así como mediante el planteamiento de casos de interés a partir de la información paleontológica disponible (ver punto siguiente).
- (B2) Para la elaboración de los casos de interés seleccionados (ver punto anterior), se creará una infraestructura para el procesamiento de datos (equipamiento informático y software) en la sección de Matemática Aplicada de la Escuela de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz [IL] [LU] [AR]. Los resultados se evaluarán tanto desde el punto de vista estadístico como respecto a su utilidad en el contexto del problema paleontológico [AT].

C.- Valoración de la difusión y el impacto

La tarea será desarrollada por: Ana Ferrero [AF] (ciencias económicas), María Jesús Álvarez [MJA] (informática & ciencias económicas), Beñat García [BG] (ingeniería), Álvaro Rodríguez [AR] (ingeniería y matemática) y José Manuel Valle [JMV] (ingeniería). Los ámbitos considerados son:

- (C1) Identificación de los factores determinantes en la valoración de las colecciones patrimoniales, particularizado para el caso de los fósiles analizados y su repercusión concreta en el Museo de Ciencias Naturales y en el territorio alavés [AF] [MJA]. Como resultado, se redactará un protocolo para medir este impacto de manera que pueda ser implementado por los museos y administraciones con vista a la toma de decisiones sobre la gestión de los recursos patrimoniales.
- (C2) Asimismo, se considera interesante disponer de una base de elementos en 3D que pueda ser accesible de manera remota, garantizando la calidad y la disponibilidad de los datos. Para ello, se recurrirá a la infraestructura ya disponible en la UPV/EHU: el repositorio institucional ADDI, el cual garantiza la permanencia de los datos y su accesibilidad al estar conectado a los buscadores de ciencia (como *Recolecta*) y culturales (como *Europeana*). Esta infraestructura será testada, tanto en lo referente al nivel de uso (en colaboración con el Servicio de Biblioteca de la UPV/EHU que la gestiona) como en su utilidad. Por otro lado, se ahondará en las posibilidades de reproducción de los especímenes mediante impresión 3D para que puedan ser utilizados (para la exposición en museo, su análisis métrico o su empleo en actividades de difusión) de forma distribuida sin necesidad de acceder a la pieza original [BG] [AR] [JMV].

De manera complementaria al desarrollo de los paquetes de trabajo, se estableció una comunicación fluida entre todos los participantes (mediante reuniones online y presenciales, así como a través de un espacio virtual de trabajo —en la plataforma *Onedrive* de *Microsoft*—), así como el desarrollo del plan de difusión (foros de la universidad, redes sociales, jornadas en el

Museo, etc.), publicación científica y depósito de documentos en el repositorio institucional. Actividades en las que han participado todos los miembros del equipo y que han sido coordinadas por los investigadores principales.

Respeto al calendario de trabajo, como se ha indicado, el proyecto no pudo comenzar hasta el mes de mayo y se cerró a fecha de 30 de diciembre de 2022. La distribución de tareas en las tres líneas anteriormente indicadas más una cuarta de gestión general se presentan en la siguiente imagen:

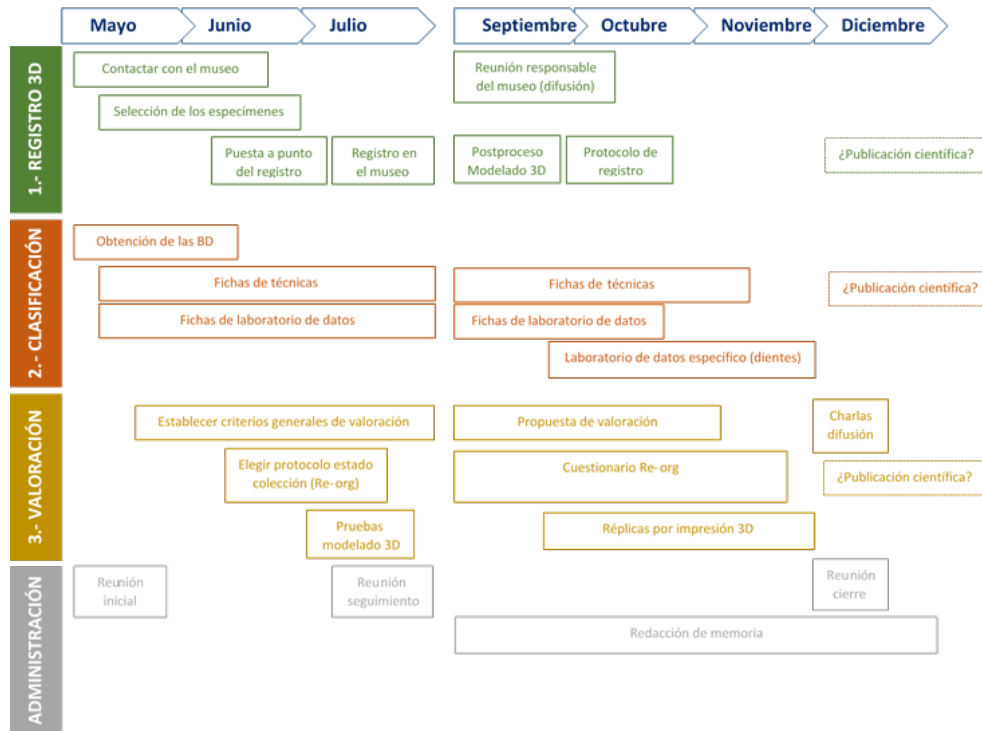


Fig. 5.- Calendario de ejecución del proyecto.

Como puede comprobarse, se han llevado a término todas las tareas de ejecución consideradas en el proyecto, incluyendo la difusión en charlas abiertas al público y la creación del repositorio con la información científica y la colección de réplicas en 3D de los dientes analizados.

A partir de este momento, nos centraremos en la difusión científica (conferencias y artículos) que, por los plazos que requieren, no ha tenido cabida dentro del periodo de ejecución del proyecto. Por otro lado, nos volcaremos en la transferencia del procedimiento de clasificación de dientes al equipo de paleontología para que se aplique al estudio de los especímenes tanto del museo de Ciencias Naturales de Álava como en otros yacimientos¹¹.

¹¹ A este respecto, se plantea la posibilidad de hacer talleres específicos sobre tratamiento de datos para paleontólogos.

3.- Resultados

El proyecto ha aportado resultados en diversos frentes:

- a) Por un lado, en el repositorio ADDI se presentan los diferentes informes que se han realizado de cada una de las líneas de trabajo y que, de manera más concreta, aportan recomendaciones sobre las técnicas de documentación geométrica de fósiles de dientes (R02), las herramientas de clasificación aplicadas a este ámbito de la paleontología (R03) y sobre la forma de valorar la colección con vista a mejorar su impacto en la sociedad (R04).



Fig. 6.- Registro con los resultados del proyecto¹² para su consulta pública a través del repositorio ADDI de la UPV/EHU.

- b) En el caso concreto del informe (R03) sobre la línea de clasificación de dientes, se ha generado un proceso de trabajo que, próximamente, será implementado por el equipo de paleontología, lo que permitirá su contraste y mejora.
- c) En tercer lugar, se ha generado una colección de modelos 3D de once dientes procedentes del yacimiento de Laño. Estos modelos están disponibles para su descarga a través del registro del repositorio y también se han subido a la plataforma *SketchFab*¹³ (para la distribución de modelos 3D a través de la web), desde donde pueden ser visualizados de manera interactiva sin necesidad de contar con software específico. Disponer de modelos 3D abre el camino a pasar de los análisis basados en medidas lineales a introducir otro tipo de variables de forma relativas a las superficies (es decir, basadas en medidas sobre 2 dimensiones) o volúmenes.

¹² <http://hdl.handle.net/10810/58547>

¹³ <https://sketchfab.com/>

e) La parte de comunicación científica está en marcha aún y se espera poder ir concretándola con varias publicaciones que aborden los diferentes aspectos tratados (documentación 3D, valoración y clasificación). Por el momento, se cuenta con un resumen enviado para ser evaluado (y presentado, si es aceptado) en un congreso internacional sobre documentación del patrimonio¹⁵. En este trabajo se recogerán los aspectos más relevantes de la línea sobre la digitalización de la colección.

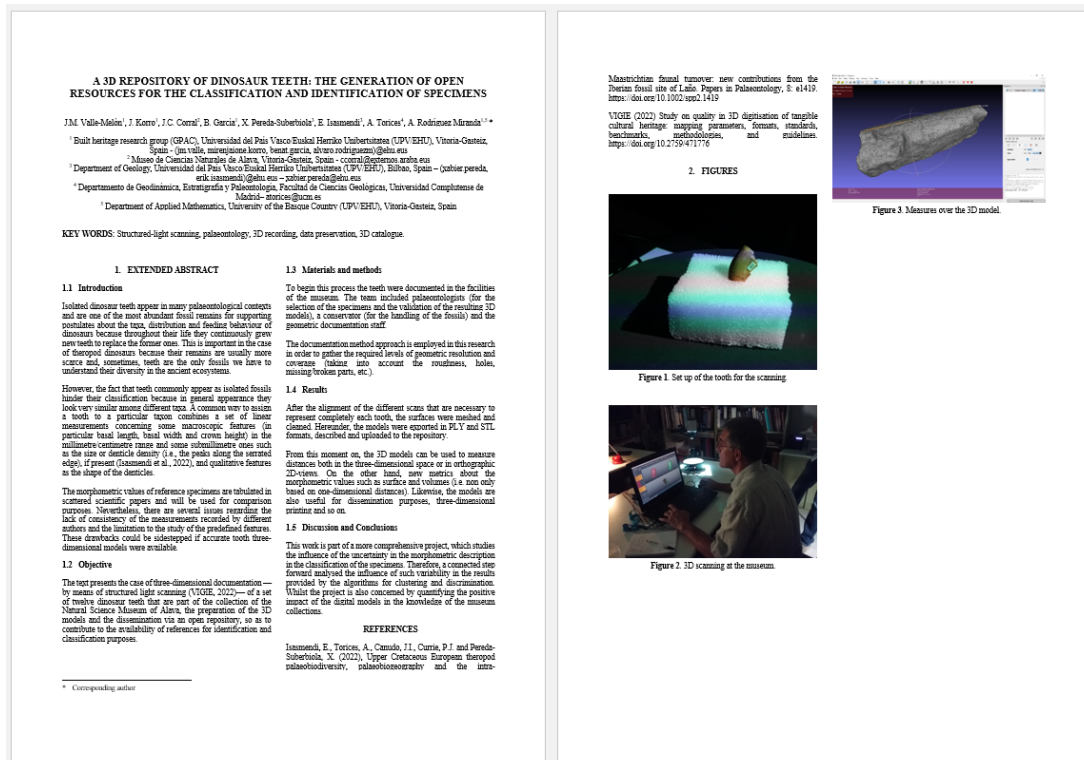


Fig. 9.- Resumen enviado para su consideración en el congreso CIPA 2023.

f) Respecto a la aplicación en la docencia¹⁶, cabe indicar que los resultados del proyecto sirven para la preparación de ejercicios que pueden utilizarse en las asignaturas que imparten los docentes.

¹⁵ Congreso CIPA 2023 (<https://www.cipa2023florence.org/>) que se celebrará en Florencia en junio de 2023.

¹⁶ Se ha producido la curiosa situación de que, la realización de este proyecto ha coincidido con una propuesta de establecer un nuevo máster en la Escuela de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz relativo a la «Inteligencia Artificial Industrial e Ingeniería Asistida por Ordenador» en el que las técnicas aquí analizadas tienen un papel muy relevante. Por este motivo, nos ha sido posible participar en las reuniones preliminares de la comisión encargada de definir dicho máster.


Grado en Ingeniería Informática de Gestión y Sistemas de Información
Asignatura: Investigación Operativa
Curso: 2022-2023

EJERCICIO DE EVALUACIÓN
Fecha de publicación: 20 de octubre de 2022
Entrega: 7 de noviembre de 2022

NOTAS:

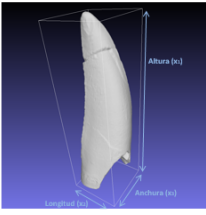
- La parte de evaluación continua se compone de ejercicios que se van pidiendo a lo largo de las semanas de clase. Cada ejercicio se valorará de 1 a 10 y, para obtener el porcentaje total de la calificación final (20% de la nota total de la asignatura), se otorgará el promedio de las calificaciones de todos los ejercicios.
- Este ejercicio deberá presentarse en papel (o impreso) no más tarde de la fecha de entrega indicada (sobre indicación de lo contrario).
- Se puede realizar individualmente o en pareja.

El contexto del que se parte en el presente ejercicio es un trabajo de clasificación de dientes de dinosaurio que se está realizando para el Museo de Ciencias Naturales de Álava.



Si no lo conocéis, podéis haceros una primera idea de su contenido en la web <http://naturamuseum.es/avila/> y, por supuesto, acercaros al edificio a ver la colección.

Vamos a considerar que disponemos de tres medidas principales para cada diente fósil de la colección (altura, longitud y anchura).



Y que para los dientes que corresponden a una especie de dinosaurio concreta sabemos que las relaciones entre estas medidas deben de mantenerse en los rangos siguientes:

- $1 \leq \frac{x_1}{x_2} \leq 1.5$
- $2 \leq \frac{x_1}{x_3} \leq 3$

Lo que nos interesa conocer es el valor mínimo de altura (x_3) que podemos encontrar en un diente perteneciente a esta especie de dinosaurio considerando que la suma de las tres medidas anteriores sea igual a 10 cm (es decir: $x_1 + x_2 + x_3 = 10$).

Se pide que realicéis las siguientes tareas:

- Plantead el problema en su forma estándar con ecuaciones y matrices.
- Representad esta forma estándar en forma de "tabla preliminar".
- Obtened una tabla inicial del «simplex» bien determinando, de forma argumentada, a partir de los datos del enunciado una base inicial que vaya a ser factible o utilizando un método de cálculo que permita llegar a esta situación (como el método de las «dos fases»).
- Aplicad el algoritmo «simplex» hasta obtener la solución óptima y comenta el resultado obtenido.

Fig. 10.- Ejercicio entregable para la asignatura de «Investigación Operativa» (para el grado en Informática de Gestión y Sistemas de Información) inspirado en el proyecto.

g) Como actividad de difusión, el día 2 de diciembre, se organizó unas jornadas con el título «Investigación paleontológica en Álava» en la que participó José Carmelo Corral —el técnico del museo de Ciencias Naturales de Álava— presentando la colección paleontológica existente en el museo, el paleontólogo Xabier Pereda que ofreció una panorámica de los yacimientos del territorio —con especial mención al de Laño, que es de donde proceden los fósiles de dientes estudiados— y Álvaro Rodríguez que expuso este proyecto de investigación.

Jornadas abiertas sobre
INVESTIGACIÓN PALEONTOLÓGICA

*Edificio Micaela Portillo, Universidad del País Vasco (UPV/EHU)
c/ Justo Vález de Elorriaga, nº 1
Salón de actos del edificio Micaela Portillo*

02/12/2022
17:00-18:00

Ponentes/Charlas

Carmelo Corral (Museo de Ciencias Naturales de Álava)
Descubriendo la colección paleontológica del Museo de Ciencias Naturales de Álava

Xabier Pereda (UPV/EHU)
Fósiles de dinosaurios en el territorio de Álava

Álvaro Rodríguez (UPV/EHU)
Digitalización y puesta en valor de la colección de dientes del yacimiento de Laño



Organizado por



Financiado por



Fig. 11.- Cartel que anunciaba las jornadas sobre paleontología abiertas al público.



Fig. 12.- Desarrollo de las charlas de difusión sobre paleontología en Álava.

- h) El proyecto también ha servido para establecer y estrechar relaciones entre departamentos; así como para demostrar la capacidad de desarrollar proyectos conjuntos entre los docentes involucrados, lo que implica ser capaces de aunar las áreas de conocimiento diversas que se incluyen y extenderlo a la colaboración con entidades culturales (museo) y con trascendencia a la sociedad.
- i) Por otro lado, el proyecto ha supuesto aumentar la actividad (y, por lo tanto, el retorno económico) del equipamiento existente, como el laboratorio de impresión 3D de la Escuela de Ingeniería de Vitoria-Gasteiz. Asimismo, ha permitido renovar licencias de software de modelado 3D, lo que aumenta la capacidad de participación en nuevos proyectos.

A modo de conclusión y con vistas a la posible extensión en el futuro de este proyecto podemos indicar que, por un lado, al respecto de las aplicaciones de las técnicas analíticas de clasificación en el ámbito concreto de la paleontología, se ha visto que son muy demandadas. Aquí se ha visto el ejemplo de los dientes, pero existen muchos otros campos en los que se cuenta con registros de diferentes tipos de elementos (huesos, pisadas fósiles, etc.) de los que, de manera habitual, se generan grandes bases de datos con medidas morfométricas y que están a la espera de poder ser utilizadas como ayuda a las clasificaciones que se establecen.

En segundo lugar, merece la pena destacar la escalabilidad de la propuesta que se ha desarrollado y la posibilidad de obtener resultados incluso con versiones preliminares y en tiempos reducidos, lo que resultan características muy adecuadas en el caso concreto del presente proyecto —realizado en el contexto de la convocatoria 2021 de la Universidad del País Vasco (UPV/EHU) y la Fundación Vital—, dado que no se disponía de un conocimiento previo de las técnicas que se estaban utilizando en el ámbito concreto de interés (la clasificación de dientes en paleontología) y que el periodo disponible para realizar el estudio era limitado. Asimismo,

este tipo de enfoques aportan flexibilidad al desarrollo del proyecto y tienen un comportamiento robusto ante posibles contingencias (por ejemplo, una sobrecarga de trabajo en otros temas que obligue a reducir el tiempo disponible para dedicar al proyecto o, al contrario, una mayor disponibilidad de recursos que permita avanzar más de lo inicialmente previsto).

Establecer un procedimiento de trabajo estructurado que articule la comunicación entre el conocimiento temático (paleontológico en este caso) y el significado de la analítica de datos es un resultado importante. En esta línea, el documento (R03) —relativo a las técnicas de clasificación— presenta una herramienta visual y sencilla de implementar el análisis de datos que facilita esta comunicación. En cualquier caso, resulta esencial mantener ambas partes (conocimiento paleontológico y relativos a las técnicas que se emplean) para que los resultados sean útiles. El hecho de disponer de herramientas visuales potentes y fáciles de implementar simplifica la comunicación y aumenta la capacidad de obtener resultados, pero no debe servir de argumento para obviar parte del conocimiento necesario para procesar correctamente los datos.

Por todo ello, consideramos que el trabajo realizado puede continuar y, por ejemplo, desarrollarse integrado como parte de un proyecto más amplio (como podría ser una convocatoria nacional de proyectos de investigación).

4.- Ejecución del presupuesto

El presupuesto inicial era de 4400 € (IVA no incluido). Debido a las condiciones de la adjudicación no ha sido posible adquirir inventariable ni imputar gastos en la publicación (asistencia a congresos), por lo que se han reorganizado las partidas. Finalmente, se consiguió ejecutar el presupuesto en su totalidad, siendo los conceptos desarrollados:

- 1) Material fungible (**≈ 1200 €, IVA incluido**)
 - a. Para el manejo de las piezas y ayuda para la digitalización 3D. Se ha realizado una búsqueda del material más adecuado para el manejo, limpieza y colocación de las piezas durante el escaneado (guantes, pinzas, brochas, material de soporte, etc.) en establecimientos especializados en material de restauración.
 - b. Consumibles para la impresión 3D.
 - c. Compra de un ejemplar del catálogo de la colección paleontológica de museo de ciencias naturales de Álava y gastos de papelería.
- 2) Software de modelado 3D. Tras una búsqueda de alternativas que nos permitan el uso en proyectos de transferencia. Se ha elegido el software BricsCAD (como opción compatible con Autodesk, pero con un precio más competitivo y la opción de disponer de licencias permanentes). El gasto realizado es de: (**≈ 3600 €, IVA incluido**).
- 3) Viajes y dietas. Para los desplazamientos al museo y a las reuniones presenciales (**≈ 300 €, IVA incluido**).