



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



FACULTAT DE BELLES  
ARTS DE SANT CARLES

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Facultad de Bellas Artes

ESTUDIO E INTERVENCIÓN DEL BIODETERIORO Y  
PROPUESTA DE CONSERVACIÓN PREVENTIVA DE  
UNA PIEZA GRECORROMANA DE HIERRO.

Problemática asociada al ataque microbiológico.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Conservación y Restauración de Bienes Culturales

AUTOR/A: García Peña, Marta

Tutor/a: Bosch Roig, María del Pilar

Cotutor/a externo: PASIES OVIEDO, TRINIDAD

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

## RESUMEN

El presente trabajo se ha centrado en el desarrollo del estudio, intervención de urgencia y propuesta de conservación preventiva de un material férreo arqueológico con ataque fúngico.

La pieza, una punta de lanza de hierro, forma parte, junto con otras piezas, de la colección de materiales griegos y romanos de Empúries (L'Escala, Alt Empordá, Girona), situada cronológicamente en la Edad del Hierro, a mediados del siglo VI a.C.- V d.C. Fue adquirida por la Diputación Valenciana del privado Manuel Cazorro y Ruiz en 1929, y actualmente se conserva en la sala de reserva del Museu de Prehistòria de València.

La pieza fue sometida a una intervención, posiblemente entre las décadas de 1930-40, momento en el que se le colocó un recubrimiento para su protección. A nivel superficial, se observa una densa capa de parafina ennegrecida que interrumpe y compromete su lectura y conservación, al verse afectada por la presencia de colonias fúngicas blanquecinas. Este ataque microbiológico se relaciona con algunas de las piezas pertenecientes al yacimiento de La Bastida de les Alcusses (Moixent, Valencia), que igualmente se encontraban en la sala de reserva, y que fueron ya tratadas hace unos años a causa de la misma problemática.

Con los resultados de todas estas investigaciones se ha podido realizar un estudio del estado de conservación de la pieza, realizar una mínima intervención de urgencia para controlar el ataque fúngico y elaborar una propuesta de conservación preventiva sostenible. De este modo, se han tenido presentes algunos de los diversos ODS, planteando así la creación de una urna acompañada en su interior por gel de sílice para la estabilización y frenado del biodeterioro de la pieza. Así mismo, se ha incorporado un *datalogger* y un biosensor, para realizar un seguimiento controlado de las condiciones de conservación, pudiendo de este modo controlar los riesgos microbiológicos.

**PALABRAS CLAVES:** conservación hierro, Empúries, parafina, biodeterioro, ataque microbiológico, conservación preventiva, biosensores.

## ABSTRACT

The present work has focused on the development of the study, emergency intervention and proposal for preventive conservation of an archaeological ferrous material with fungal attack.

The piece, an iron spearhead, is part, along with other pieces, of the collection of Greek and Roman materials from Empúries (L'Escala, Alt Empordá, Girona), located chronologically in the Iron Age, in the middle of the 6th century BC - 5th century AD. It was acquired by the Valencian Provincial Council from the private Manuel Cazorro y Ruiz in 1929, and is currently kept in the reserve room of the Museum of Prehistory of Valencia.

The piece was subjected to an intervention, possibly between the 1930s and 40s, at which time a coating was placed on it for protection. At the surface level, a dense layer of blackened paraffin is observed that interrupts and compromises its reading and conservation, as it is affected by the presence of whitish fungal colonies. This microbiological attack is related to some of the pieces belonging to the La Bastida de les Alcusses site (Moixent, Valencia), which were also in the reserve room, and which were already treated a few years ago due to the same problem.

With the results of all these investigations, it has been possible to carry out a study of the state of conservation of the piece, carry out a minimum emergency intervention to control the fungal attack and prepare a proposal for sustainable preventive conservation. In this way, some of the various SDGs have been kept in mind, thus proposing the creation of an urn accompanied inside by silica gel to stabilize and stop the biodeterioration of the piece. Likewise, a *datalogger* and a biosensor have been incorporated to carry out controlled monitoring of the conservation conditions, thus being able to control microbiological risks.

**KEYWORDS:** iron conservation, Empuries, paraffin, biodeterioration, microbiological attack, preventive conservation, biosensors.

## AGRADECIMIENTOS

Quisiera destacar mi agradecimiento a mis tutoras Pilar Bosch-Roig y Trinidad Países Oviedo. Me siento muy agradecida por haber contado con el apoyo y dedicación de ambas a lo largo de este trabajo, ofreciéndome su atención, ayuda y amabilidad durante todo el proceso.

A la directora del Museu de Prehistòria de València, María Jesús de Pedro y al conservador restaurador Ramón Canal, por darme la oportunidad de poder colaborar con el Laboratorio de restauración. Igualmente, al Archivo fotográfico del propio museo, por permitirme utilizar gran parte de la documentación fotográfica adjunta en este trabajo. Así como a la Dar. M<sup>a</sup> Teresa Domenech Carbo, y Dra. a la Rosa Montes, por haber contribuido con la facilitación de documentos realizados en colaboración con el Museu de Prehistòria de València, además de la participación de Jose Madrid, en la elaboración y aportación de las radiografías de estudio.

A Ángel García Abajo y su mujer Teresita López Ortega, por su paciencia y consejos u aportaciones sobre mi trabajo de fin de grado durante mi estancia en prácticas en el Centro de Coordinación Nacional de Patrimonio Cultural en Coyoacán, México.

Al Centro de Cooperación al Desarrollo, por haberme ofrecido la oportunidad de poder viajar a otro país, donde he podido conocer su cultura y gente maravillosa, como son mis compañeros de Proyecto del Tren Maya de Tulum o mis compañeras de la coordinación.

A mis amigas Tania y Sandra, por haberme acompañado en estos cuatro años. Gracias por haber compartido alegrías, lágrimas, aventuras y muchas risas. Han sido los mejores años de mi vida gracias a vosotras.

A Andrea, por haber aparecido en mi camino y quedarse durante estos cuatro años. Gracias por saber ser amigo, novio y familia. Por ayudarme, escucharme y apoyarme siempre que lo he necesitado. No habría sido lo mismo sin ti.

A mis hermanos y padres por el apoyo durante estos años. En especial a David y Tomás, gracias por hacerme disfrutar de esta experiencia con vuestro cariño, y de vez en cuando con un poco de enfado.

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	5
2. OBJETIVOS .....	6
3. METODOLOGÍA .....	7
4. CONTEXTO HISTÓRICO .....	8
4.1. Marco temporal: Yacimiento de Empúries .....	8
4.1.1. <i>Empúries en la actualidad</i> .....	9
4.2. Manuel Cazorro y Ruiz .....	10
4.3. Llegada de la colección de Empúries al Museu de .....	11
4.4. Conexión entre la colección de Empúries con el yacimiento de la Bastida de les Alcusses (Moixent).....	12
5. DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA EN ESTUDIO.....	13
5.1. Mapa de daños .....	14
6. ESTADO DE CONSERVACIÓN .....	15
7. PROBLEMÁTICA DE LA PIEZA.....	18
7.1. Propiedades y características de la parafina .....	18
7.2. Empleo de la parafina en objetos metálicos arqueológicos..	18
7.3. Métodos tradicionales de retirada de parafina en metales arqueológicos .....	19
7.4. Biodeterioro: ¿qué es?.....	20
7.5. Alteraciones y factores causantes del deterioro .....	21
7.5.1. <i>Material compositivo</i> .....	21
7.5.2. <i>Factor biológico</i> .....	21
7.5.3. <i>Factor ambiental</i> .....	23
7.5.4. <i>Alteración</i> .....	23
7.6. Ataque microbiológico en obras metálicas arqueológicas....	24
7.7. Biosensores .....	24
8. PROCESO EXPERIMENTAL .....	25
8.1. Diseño experimental .....	25
8.2. Análisis y pruebas .....	28
8.2.1. <i>Estudio físico-químico de la parafina</i> .....	28
8.2.2. <i>Estudio microbiológico</i> .....	29
8.2.3. <i>Estudio radiográfico</i> .....	29
8.2.4. <i>Estudio ultravioleta</i> .....	29
8.2.5. <i>Estudio estratigráfico</i> .....	29
8.3. Resultados estudio calidad ambiental .....	29
9. PROPUESTA DE CONSERVACIÓN SOSTENIBLE.....	31
9.1. El quitosán y sus propiedades .....	32
10. PROPUESTA DE CONSERVACIÓN PREVENTIVA.....	33
11. CONCLUSIONES.....	35
12. BIBLIOGRAFÍA GENERAL.....	35
13. ÍNDICE DE IMÁGENES.....	40
14. ÍNDICE DE TABLAS.....	44
15. ÍNDICE DE GRÁFICA.....	44
16. ANEXOS .....	45

## 1. INTRODUCCIÓN

El yacimiento arqueológico de Empúries es uno de los hallazgos más relevantes de la Península Ibérica, ya que se trata del único territorio peninsular donde coexistieron restos de dos antiguas ciudades y culturas; *Emporion* (griega) y *Emporiae* (romana). Localizada en el golfo de Rosas, encontramos los restos de lo que en su momento fue la antigua *Neópolis* (ciudad nueva) de dichas civilizaciones, ahora reducida a una pequeña aldea, San Martín de Empúries, perteneciente al municipio de L'Escala, Girona, Cataluña.

Parte de la colección de Empúries fue adquirida por el naturalista, prehistoriador e investigador arqueológico Manuel Cazorro Ruiz a lo largo de las excavaciones de 1908-1909, en su afán por el coleccionismo arqueológico. Hacia 1929-1930 y a pocos años de su muerte, decidió vender su colección grecorromana de 267 piezas al Museu de Prehistòria de València, debido a su delicado estado de salud que le impedía el mantenimiento personal que conllevaba la conservación de sus piezas.

La pieza a tratar en cuestión se corresponde con una punta de lanza de flecha de la colección de Empúries de Cazorro, facilitada por el Museu de Prehistòria de València. Esta, al igual que la colección de la Bastida de les Alcusses, fue intervenida con anterioridad en la década de los años 30 (poco tiempo después de su compra), mediante la inmersión en baños de parafina caliente, que actuaba como protección de las piezas, combinada con grafito o plombagina para darle una tonalidad homogénea<sup>1</sup>. La combinación de una errónea restauración junto con las condiciones medioambientales, además de un mal mantenimiento del sistema de fumigación y limpieza, fueron las causantes de la proliferación de colonias fúngicas blanquecinas en la superficie férrea. Todos estos factores incrementan el riesgo de contaminación microbiológica en los diferentes objetos hallados en el interior de la vitrina de almacenaje.

Ante dicha problemática, se ha diseñado una urna traslúcida donde se ha colocado en su interior el objeto afectado con el propósito de frenar el biodeterioro existente por medio de la medición y control constante de la temperatura y humedad relativa (*data logger*) de la misma. Una vez estabilizado, se incluye un biosensor de naturaleza similar al objeto estudiado (placa de hierro) para una estabilización precoz reflejada en el biosensor a través del medio de cultivo (hongos y bacterias). De este modo, se ha podido comprobar de forma controlada la calidad del aire interior del contenedor traslucido de polipropileno donde se introdujo la pieza.

En la naturaleza encontramos infinidad de bioindicadores (microorganismos, invertebrados, vertebrados, plantas, hongos, etc.) que nos proporcionan información semi-cuantitativa acerca de la contaminación del medio en el que se encuentra el objeto y los riesgos que esto supone. Este hecho hace plantear un modelo de trabajo experimental basado en las necesidades de una pieza afectada por el biodeterioro siguiendo su comportamiento sistemático. De este modo se pone en práctica la eficacia del uso de la conservación preventiva como

---

<sup>1</sup> Plombagina: polvos de partícula de granito natural con contenido en plomo muy finos empleados en trabajos manuales para la "imitación del hierro". Se combina con cera natural o betún de Judea.

sistema de control exhaustivo sobre un microclima, así como su relevancia en la conservación de bienes culturales<sup>2</sup>.

Contemporáneamente y como nuevo conocimiento adquirido durante la estancia en prácticas en la Coordinación Nacional del Patrimonio Cultural de Coyoacán, México, se plantea una futura propuesta de intervención sostenible mediante el uso del quitosán<sup>3</sup>. Este polisacárido natural deriva de la quitina desaceitada, presente en crustáceos, insectos y hongos. A su vez, el quitosán destaca por poseer propiedades como la no toxicidad, biodegradabilidad y biocompatibilidad, así como características relacionadas con la inocuidad, capacidad de descomposición biológica y compatibilidad con organismos vivos.

Todo esto, lo convierten en un recurso natural valioso para diversos sectores como la industria alimentaria, la cosmética, la farmacéutica, la biomédica, el tratamiento de aguas y la agricultura<sup>4</sup>.

Asimismo, durante la elaboración de este trabajo, se ha tenido presente la inclusión de los diversos ODS<sup>5</sup> llevados a cabo por las Naciones Unidas en 2015. La propuesta e intervención realizada, promueve ante todo el bienestar y salud del restaurador dado en el ODS 3, así como la relevancia de la conservación preventiva vinculada con el ODS 12, donde se aboga por una gestión sostenible de los recursos y la reducción del desperdicio. La propuesta de usar quitosán como posible intervención sostenible, se relaciona con el ODS 9, promoviendo la innovación, además de contribuir con el ODS 11, vinculado a la salvaguarda del patrimonio y el respeto con el medio ambiente, al utilizar un material biodegradable y no tóxico. Las propiedades del quitosán, como su biodegradabilidad, se alinean con el ODS 13, que busca reducir la contaminación ambiental mediante el uso de una sustancia biodegradable<sup>6</sup>.

## 2. OBJETIVOS

La elaboración de este trabajo tuvo como objetivo principal la identificación y control de la problemática asociada al biodeterioro por un ataque fúngico mediante un enfoque biosostenible. Para ello, se plantearon otros objetivos específicos, encaminados a la introducción de diversos Objetivos de Desarrollo Sostenible para su adecuación a la propuesta a realizada. Algunos de ellos se encuentran directa o indirectamente relacionados con ODS como:

- **ODS 3: Salud y bienestar.**
- **ODS 4: Educación de Calidad.**
- **ODS 9: Industria, Innovación e Infraestructura.**

---

<sup>2</sup> González Zuarth, C. A. et al. *Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental*. San cristóbal de las casas: D.R. © el colegio de la frontera sur (ecosur), 2014, pp. 13-16.

<sup>3</sup> "Estructura química está constituida por monómeros de 2-acetamido 2desoxi-β-D glucopiranosos unidos entre sí por enlaces β(1,4)" (Cusihuamán, 2017).

<sup>4</sup> *ibid.*

<sup>5</sup> Objetivos de Desarrollo Sostenible.

<sup>6</sup> Naciones Unidas. *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. [En línea] Disponible: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>.

- **ODS 11: Ciudades y comunidades sostenibles**
- **ODS 12: Producción y Consumo Responsable.**
- **ODS 13: Acción por el clima.**

**Principales:**

- Identificar las causas que han originado la problemática.
- Realizar una mínima intervención de urgencia para controlar el ataque fúngico.
- Crear una propuesta de conservación preventiva con el fin de detener y controlar el biodeterioro en la pieza del soporte metálico, además de llevar a cabo una detección precoz ante un futuro ataque fúngico mediante biosensores (ODS 12).
- Realizar una propuesta de intervención sostenible para la eliminación del ataque fúngico basada en el quitosán, promoviendo la innovación relación (ODS 3, 9, 11, 13).

**Específicos:**

- Contextualizar e interrelacionar la colección de Empúries con el yacimiento arqueológico de la Bastida de les Alcusses, fomentando la comprensión de la historia y la cultura (ODS 4).
- Conocer los diferentes factores causantes del deterioro.
- Desarrollar un ambiente controlado para la estabilización y erradicación de la problemática.

### 3. METODOLOGÍA

Para la realización de este trabajo, se ha llevado a cabo un exhaustivo estudio mediante la recopilación de información, lo que ha permitido establecer una metodología de trabajo basada en los datos obtenidos a raíz de los estudios analíticos del yacimiento de la Bastida de les Alcusses, elaborados por el Museu de Prehistòria de València. Este hecho ha facilitado la identificación de la problemática de la pieza grecorromana por presentar la misma casuística.

Asimismo, este estudio previo ha permitido un planteamiento del trabajo encaminado a la conservación preventiva basándose en la consulta de documentación, control y supervisión del diseño experimental. Todo ello a través de un enfoque en la gestión de información, innovación en el ámbito, preservación del patrimonio y búsqueda de soluciones sostenibles relacionadas con los ODS mencionados en el apartado de objetivos. Por todo ello se ha planteado la siguiente estructura:

- Consulta de diversas fuentes entre ellas documentos, artículos, libros web y estudios proporcionados por instituciones del ámbito de la CRBC<sup>7</sup>, relacionadas con ataques fúngicos en piezas metálicas arqueológicas mediante la comparación de estudios similares, orientándolo al desarrollo

---

<sup>7</sup> Conservación y Restauración de Bienes Culturales.



de una estrategia de conservación preventiva, además de la contextualización y llegada de la obra al museo.

- Estudio *in situ* de la pieza examinando su estado de conservación, condiciones y características por medio de un análisis estratigráfico, registro fotográfico (luz visible y luz UV), y microscópico-USB (Dinolite). Además, se tuvo la oportunidad de contar con la colaboración de otros investigadores, pudiendo tener acceso a resultados de FTIR, microbiológicos y radiográficos proporcionados por los mismos.
- Realización de comparativa del estudio analítico del yacimiento de la Bastida de les Alcusses con la colección de Empúries, como referente científico de la problemática presente en ambas colecciones.
- Creación de un protocolo de actuación basado en la recopilación de datos obtenidos a partir de diversos ensayos experimentales y estudios preliminares proporcionados por el IRP<sup>8</sup>.
- Estabilización microbiológica.
- Elaboración de una propuesta de conservación preventiva, así como el planteamiento de una intervención sostenible para la eliminación del biodeterioro.

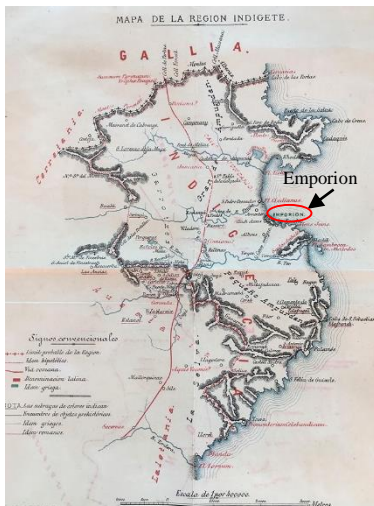


Fig. 4.1. Mapa divisorio, S. VIII- II a.C., extraído de *Indikecia*.

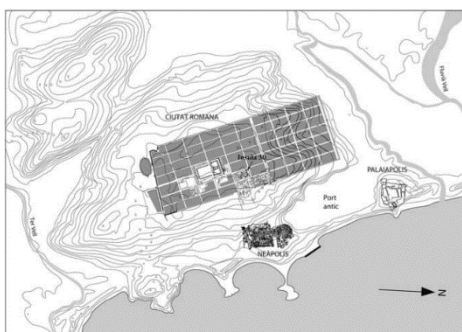


Fig. 4.2. Vista cenital del conjunto arqueológico de Empúries en el territorio catalán, extraído de *El poblament prefeudal de l'alta muntanya dels Pirineus occidentals catalans (Pallars Sobirà i Alta Ribagorça)*.

## 4. CONTEXTO HISTÓRICO

### 4.1. Marco temporal: Yacimiento de Empúries

El yacimiento de Empúries (Ampurias) es uno de los asentamientos más antiguos y relevantes de la Península Ibérica, el cual recoge el paso e influencia de dos grandes antiguas civilizaciones; griega (*Emporion*) y romana (*Emporiae*) en la región catalana. Localizado en el nordeste de la Península, golfo de Rosas, a mediados del siglo VI a.C. los griegos focesos<sup>9</sup> se vieron obligados a instalarse en Marsella tras la conquista de su metrópoli (*Focaea*) por parte de los persas. Poco tiempo después, los focesos expandirían su territorio ocupando parte del Mediterráneo hasta el 535 a.C. tras su derrota ante los etruscos y cartaginenses en la batalla de Alalia, reduciendo su territorio a tan solo una pequeña aldea en la costa catalana, y fundando la ciudad de *Emporion*, que serviría como referente del mercado. A su vez, dicha ciudad actuaría como centro receptor y difusor de las nuevas corrientes culturales, como sucedió con la cultura helenística, sirviendo como ejemplo de la notoria influencia griega sobre la península.

Se tiene constancia de la continua rivalidad entre focesos y cartaginenses, pero no toda su relación se basó en conflictos bélicos, pues mantenían contactos regulares a raíz del tratado romano-cartaginés, que estableció como frontera el Cabo de Palos (348 a.C.), permitiendo el comercio griego en la costa levantina. En dicho tratado se hace referencia a los griegos como «aliados» de los romanos, y su influencia

<sup>8</sup> Instituto de Restauración del Patrimonio.

<sup>9</sup> Focenses o focesos: civilización griega colonizadora.



Fig. 4.3. Plano correspondiente con la *Insula 30* del conjunto arqueológico, extraído de *El poblament prefeudal de l'alta muntanya dels Pirineus occidentals catalans (Pallars Sobirà i Alta Ribagorça)*.



Fig. 4.4. Artículo divulgatorio acerca de la ciudad de Empúries por parte de *La Vanguardia*, 18 julio 1936.

se vio reflejada tanto en *Emporion* como en otros asentamientos cercanos. El sistema de moneda ampuritana sigue el modelo cartaginés<sup>10</sup>.

Tiempo después, los emporitanos fundaron un nuevo núcleo urbano, mediados del siglo VI a.C., denominado Neápolis o «ciudad nueva» hacia el sur de la bahía portuaria, quedando compuesta Emporion por *Palaiápolis*<sup>11</sup> y *Neápolis*.

Durante este período, los griegos foceos tuvieron que convivir con el pueblo íbero de los indígetes<sup>12</sup> (fig. 4.1), quienes acabaron adoptando la cultura griega. Empúries, por tanto, se convirtió en una doble ciudad separada por un muro, este dividiría las dos ciudades; griega e ibérica.

Los romanos llegarían tres siglos después a Empúries con la ocupación de Aníbal en la ciudad, instalándose a principios del siglo III a.C., durante el período de la guerra púnica. En el 195 a.C., se produce la derrota de los íberos durante una batalla, produciéndose la destrucción de las murallas que dividían las ciudades. Años después, en el 45 a.C., Cesar fundaría en Empúries una colonia donde convivirían griegos, íberos y romanos, creándose *Emporiae*, hasta su caída entre los siglos V d.C. con la invasión de los barbaros y VII con los árabes, quedando reducida a lo que es hoy en día San Martín de Empúries (fig. 4.2)<sup>13</sup>.

#### 4.1.1. Empúries en la actualidad

En la actualidad Empúries<sup>14</sup> es uno de los yacimientos arqueológicos más relevantes de la península, acogiendo a miles de turistas al año, los cuales visitan el vestigio de las diferentes civilizaciones que convivieron en el territorio catalán. Todo esto no siempre ocurrió así, puesto que no fue hasta 1897 cuando se despertó el interés por profundizar en la memoria catalana por medio de la colonia griega de *Emporion*, durante *Renaixença* y el *Noucentisme*<sup>15</sup>.

<sup>10</sup> Perelló, E. R. *Orígenes de la ciudad romana de Ampurias*. Madrid : Editorial de la Universidad Complutense de Madrid, 1990, pp. 1-6.

<sup>11</sup> “<<Ciudad antigua>>, primer núcleo colonial griego” (Aquilué, X. y Rodà I. 2022).

<sup>12</sup> Indígetes o indiketes: poblado íbero ubicado en el nordeste peninsular, Girona, establecido en el golfo de ampurias y Rhoda hasta el Pirineo entre los siglos VIII y II a. C. Grandes agricultores, ganaderos, canterostas y mineros que comerciaron con diferentes poblados; fenicios, punicos y griegos, por medio de la ciudad ampuritana.

<sup>13</sup> Instituto Arqueológico Alemán. *Guía ilustrada de las ruinas de ampurias y Costa Brava Catalana*. Colonia: Instituto Arqueológico de la Universidad de Colonia, 2021, pp 7-16.

<sup>14</sup> “La palabra Empúries proviene del catalán y significa “las tierras inundadas”. Este nombre se refiere a la desembocadura del río Fluvià, que solía arrastrar barro y cubrir parte del territorio de Empúries”. TravelHolics-Viaja, Descubre, Explora. *Descubriendo Ampurias: ¿Qué es ahora?* [En línea]. Disponible: <https://www.travelholics.es/descubriendo-ampurias-que-es-ahora/>

<sup>15</sup> *Renaixença* se trata de una corriente literaria que pretende reavivar la lengua catalana, llegando a expandirse el sentimiento a otras formas artísticas en la segunda mitad del siglo XIX. Posteriormente evolucionaría al *Noucentisme*, vanguardia promovida por Eugenio d’Ors hacia un arte “puro”, ordenado y elitista,

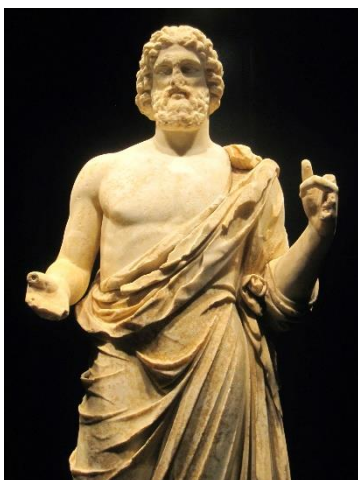


Fig. 4.5. Estatua de Asklepio, extraído de *Xsierrav*.



Fig. 4.6. Vista general del yacimiento de Empúries en la actualidad, extraído de *Patrimoni Cultural*.



Fig. 4.7. Manuel Cazorro y Ruíz sobre la muralla meridional de la *Neápolis*, excavaciones de Empúries, extraído de *Banc D'en Sinofós*.

Dicho interés se establece como paralelismo entre la cultura clásica, el helenismo, la raza ibérica, la lengua y Cataluña. Todo ello será impulsado por la Liga Regionalista quien promueve la idea del helenismo como base de los orígenes catalanes.

En 1907 se crea el Institut d'Estudis Catalans como centro del estudio de la historia, cultura y lengua catalana, así como institución encargada de llevar a cabo intervenciones arqueológicas en Empúries. Un año después, se iniciarían las excavaciones en el territorio dirigidas por Prat, Puig i Cadafalch y Jesús Pinilla, y asesoradas por Manuel Cazorro y Emili Gandía, con el objetivo de identificar los orígenes del pasado catalán durante la época colonial griega.

Durante el seguimiento de las excavaciones se hallaron fragmentos escultóricos que, posteriormente, se convivirían en uno de los principales vestigios griegos en Cataluña. De las piezas encontradas destacó la estatua de Asklepio (fig. 4.5), hoy en día conocido como símbolo representativo de la cultura helenística catalana<sup>16</sup>.

Actualmente encontramos ruinas pertenecientes a época romana: la Domus 1, con mosaicos que decoran los suelos, la Insula 30 (fig. 4.3), conformada por termas públicas pertenecientes a la ciudad, el Foro, restos de la Basilica y Curia, además de las *tabernae* o tiendas, y otros restos de la cultura helenística (fig. 4.6).

Queda pendiente la profundización de las campañas submarinas y musealización de los restos arquitectónicos del puerto marítimo, los cuales serán comparados con los vestigios terrestres<sup>17</sup>.

## 4.2. Manuel Cazorro y Ruíz

Naturalista, prehistoriador, investigador arqueológico y coleccionista fue una figura relevante durante las excavaciones de Empúries. Nacido el 4 de enero de 1865 en Madrid, provino de una familia con influencia política y acomodada. En 1885 se licenció en Derecho, poco tiempo después se convertiría en doctor de Ciencias Naturales en la Universidad Central de Madrid, brindándole la oportunidad de desarrollar su labor en diferentes lugares dentro y fuera de España.

En 1897, se incorporó en el Instituto de Gerona, ciudad donde desarrollaría gran parte de su vida profesional. Años después, y a raíz sus conocimientos estratigráficos, manifestó un gran interés por la prehistoria y arqueología clásica, llegando a colaborar en los trabajos arqueológicos de Empúries junto a Koenen y Schulten. Su labor como

manteniendo la tradición clásica mediterránea (Fundación Juan March Madrid, 2016).

<sup>16</sup> Munilla, G., Gracia, F. *Ampurias y los orígenes del turismo arqueológico en Cataluña*. Barcelona : Museo Arqueológico Nacional, 2015, pp. 383-404.

<sup>17</sup> Patrimoni Cultural. *Empuries, Los clásicos llegan para quedarse*. [En línea]. Disponible: <https://patrimoni.gencat.cat/es/coleccion/empuries>.



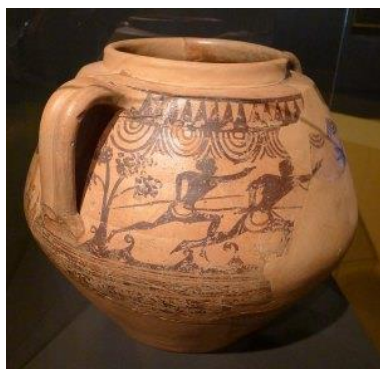


Fig. 4.8. Vaso de Cazorro, primera cerámica íbera con representación antropomórfica, extraído de *Sortides amb Gàrcia*.

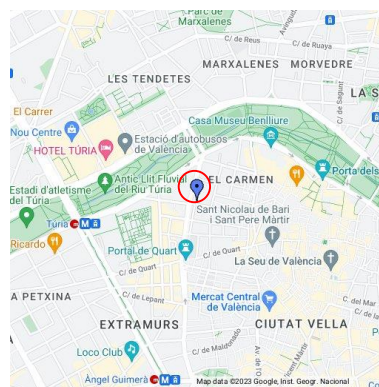


Fig. 4.9. Casa de la Beneficència, ubicación del Museu de Prehistòria de València, extraído de *Google Maps*.

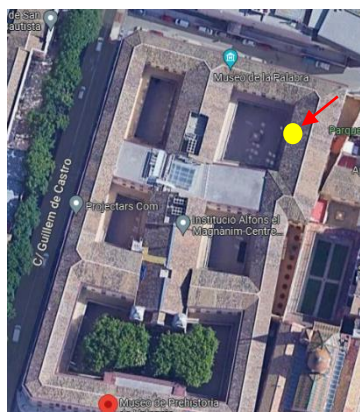


Fig. 4.10. Ubicación actual del laboratorio de restauración dentro del museo, extraído de *Google Maps*.

inspector en las campañas de excavaciones en Empúries, dirigidas por Puig y Cadafalch, despertaría su afán por el coleccionismo, especialmente en objetos vinculados con las ciencias naturales y arqueológicas, adquiriendo varios de ellos en compras de excavaciones furtivas en Empúries (fig. 4.7).

Entre 1913-1914 fue trasladado a Barcelona para continuar su labor como docente. Será en ese momento cuando inicie su vinculación con la Junta de Ciencias Naturales. Años después, y debido a su delicado estado de salud, que le imposibilitaba mantener sus colecciones, se vería obligado a dejar su trabajo e iniciaría la venta de sus colecciones de historia natural y arqueología. De este modo, su colección de historia natural formaría a ser parte del Museo de Zoología de Barcelona, mientras que su colección arqueología se vería dispersa entre la Bora Gran d'en Carreras (Serinyà, Gerona) y Cau de les Goges (Sant Julià de Ramis, Gerona).

Los objetos grecorromanos correspondientes a la colección de Empúries formarían a ser parte del Museu de Prehistòria de València en su venta entre 1929-1930.

Su pieza arqueológica más relevante, el vaso de Cazorro (fig. 4.8), permanecería en su familia hasta su desaparición tras el saqueo de su domicilio durante la Guerra Civil, terminando ésta en el Museo de Arqueología de Barcelona<sup>18</sup>.

#### 4.3. Llegada de la colección de Empúries al Museu de Prehistòria de València

Como se acaba de comentar, los diferentes hallazgos de la colección grecorromana de Empúries fueron producto de la venta privada por parte de Manuel Cazorro y Ruíz al Museu de Prehistòria de València en 1929. Dicha colección cuenta con 267 piezas, en su mayoría completas y en buen estado procedentes de ambas culturas (griega y romana). Gran parte de ellas se habían conservado porque, tras ser expoliadas, fueron vendidas a museos, que adquirirían piezas completas y de calidad para poder ser expuestas.

A finales de 1927, con tan solo dos años de antelación a la llegada de la colección, la Diputación de Valencia, de la mano de Isidro Ballester, fundó el SIP<sup>19</sup>, que se convirtió en la principal institución de adquisición, investigación, conservación, documentación y difusión del patrimonio arqueológico valenciano. Dicha institución pretendía explorar y preservar igualmente el patrimonio arqueológico influenciado por las diversas culturas asentadas en el Mediterráneo oriental, conservando por ello numerosos vestigios claves para la comprensión del pasado valenciano. En ese mismo año se crearía Laboratorio de restauración del

<sup>18</sup> Pons Pujol, L. (2018). Real Academia de la Historia. *Manuel Cazorro y Ruíz*. [En línea]. Disponible: <https://dbe.rah.es/biografias/11882/manuel-cazorro-y-ruiz>.

<sup>19</sup> Servicio de Investigación Prehistórica.

propio Museo de Prehistoria, cuyo primer trabajador fue Salvador Espí Martí<sup>20</sup>.

Los inicios del laboratorio fueron complejos, ya que se carecía de recursos donde desarrollar la labor, y es por ello que en sus inicios compartiría incluso un pequeño espacio temporal con la sede del Servicio Agrícola de la Diputación. Será en el laboratorio donde se realizarían los primeros trabajos de limpieza, clasificación y reconstrucción de diversas excavaciones, entre ellas se menciona la colección de la Bastida de les Alcusses (Moixent).

Desde 1951 hasta 1982 el laboratorio cambió de localización hasta en tres ocasiones, finalizando en la antigua Casa de la Beneficiencia (fig. 4.9). Parte de la colección de Empúries se encuentra actualmente en la sala de reserva del Museu de Prehistòria de València, donde localizamos el objeto a intervenir, una punta de lanza de flecha, debidamente almacenada y controlada a la espera de futuras investigaciones. Se hallaba almacenada junto con otras dos piezas pertenecientes a la colección de la Bastida de les Alcusses, cuidadosamente almacenadas, separadas y numeradas en el interior de un contenedor traslucido de polipropileno con tapa hermética para su aislamiento de la HR presente en la sala (fig. 4.11).

#### 4.4. Conexión entre la colección de Empúries con el yacimiento de la Bastida de les Alcusses (Moixent)

La Bastida de les Alcusses es un asentamiento fortificado íbero ocupado entre finales del siglo V a.C. y el tercer cuarto del siglo IV a.C. Este yacimiento fue adquirido en las excavaciones entre 1928-1931 (Bonet Rosado Helena, 2011).

La Bastida de les Alcusses se ha tenido como referente en este trabajo para determinar las propiedades de la punta de lanza de flecha perteneciente a la colección de Empúries. Algunos de los objetos que componen dicho yacimiento presentan la misma problemática que la pieza a tratar, puesto que se encontraban almacenados en una misma vitrina (fig. 4.12).

Diversas piezas correspondientes a la Bastida de les Alcusses han presentado una afectación biológica en mayor o menor medida. Como se ha mencionado la punta de lanza se encontraba en el mismo habitáculo que las piezas de la colección ibérica, lo que ha desencadenado en una afectación microbiológica sólo en la cara superior de los objetos almacenados como fruto de una posible migración. Este hecho ha favorecido el planteamiento de una hipotética intervención de la pieza grecorromana en la década de los años 30 por presentar la misma problemática. Durante esta década el laboratorio del museo inició la fase de limpieza, clasificación y reconstrucción de las diferentes excavaciones por parte de Salvador Espí y José María



Fig. 4.11. Contenedor traslucido de polipropileno, donde se encuentran las piezas, Archivo SIP.



Fig. 4.12. Almacenaje piezas con afectación microbiológica, Archivo SIP.

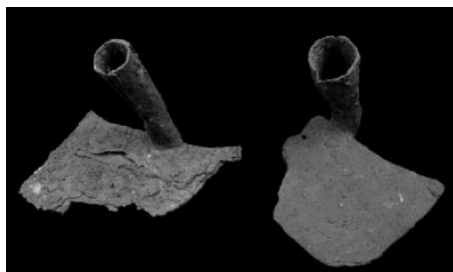


Fig. 4.13. Legona de hierro previo a la afectación microbiológica, extraído de *Un ataque microbiológico en objetos de Canal Roca, R. et al.*

<sup>20</sup> Pasies et al. *El Laboratorio de Restauración del Museo de Prehistoria de Valencia*. Valencia: Diputación de Valencia, 2006, pp. 171-177.



a)



b)

Fig. 5.1 (a-b). Fotografías generales; anverso y reverso de la pieza de estudio con problemática microbiológica, Archivo SIP.

Montaña, bajo el cargo de ayudante. Debido a la falta de recursos por la que pasaba el laboratorio del museo las piezas fueron sometidas a tratamientos de baños en parafina a modo de protección.

Tras la guerra civil se realizaban de forma habitual baños de agua caliente donde se sumergía la pieza para la eliminación de sedimentación y concreciones adheridas en superficie que, posteriormente, se impregnaba en parafinada combinada con grafito o plombagina con la finalidad de unificar el aspecto del objeto, además de ocultar las zonas que no habían limpiado adecuadamente.

*“Años hacía que esperaba el material de hierro depositado en el Museo, especialmente las series procedentes de la Bastida, que se la defendiera de los procesos de oxidación. Casi todo este material ha sido cuidadosamente parafinado, mientras pudimos proporcionarnos los necesarios productos para ello”<sup>21</sup>.*

Todo esto nos indica que, tras poco tiempo de ser adquirida la colección grecorromana, algunas de las piezas metálicas fueron intervenidas junto con la colección férrea de la Bastida de les Alcusses. Este planteamiento se ve reforzado por los análisis realizados el pasado 2018 sobre una legona<sup>22</sup> de hierro (fig. 4.13), donde se confirman la presencia de una protección a base de ceras, lo que habría provocado, junto con el descontrol de las condiciones medioambientales, la proliferación de microorganismos<sup>23</sup>.

Actualmente, han sido intervenidas algunas de las piezas ibéricas mediante la eliminación de las capas de parafina a través de métodos de limpiezas tradicionales como son el empleo de disolventes y esencias.

## 5. DESCRIPCIÓN DE LA PIEZA EN ESTUDIO

La pieza de objeto de estudio se trata de una punta de lanza de flecha de hierro perteneciente al yacimiento de Empúries, Girona (Cataluña), manufacturada entre los siglos VIII-II a.C. en época del Levante Ibérico. La punta en cuestión cuenta con unas dimensiones de 18,8 cm de alto por 3,7 cm de ancho y 2 cm de profundidad. De pequeño tamaño, se encuentra recubierta por una gruesa capa de cera ennegrecida (parafina con grafito), que actúa como protección, y bajo la cual se observan protuberancias originadas por los productos de corrosión subyacentes (fig.5.1.). En la mitad superior del objeto se aprecian restos de impronta de madera ya totalmente mineralizada.

<sup>21</sup> Pasies Oviedo, Trinidad. *Piezas metálicas en los fondos del Museo de Prehistoria de Valencia: Problemática asociada a su conservación y restauración*. Valencia: Universitat Politècnica de València, 2017, pp 5.

<sup>22</sup> “Especie de azada en forma de semicírculo utilizada generalmente en albañilería para batir y mezclar el cemento o el barro.” (Diccionario Dialectal Peralô, 2017)

<sup>23</sup> Canal Roca, R. et al. *Un ataque microbiológico en objetos*. Valencia : Anejos a CuPAUAM 6, 2018. págs. 2-10. ISBN 0211-1608.



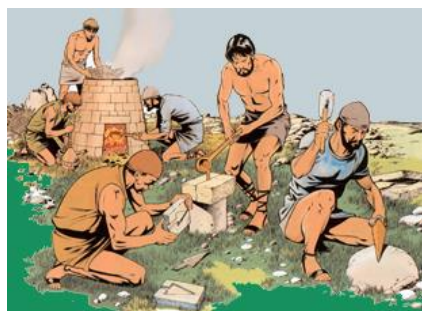



Fig. 5.2. Proceso del forjado de hierro, extraído de Scribd.

Por otro lado, la pieza presenta en ambas caras productos corrosivos a lo largo de su superficie, generalmente óxidos (hematita) aunque también puntualmente oxihidróxidos (goetita). Asimismo, la cara correspondiente con el anverso de objeto se ve envuelto en un fino velo de colonias fúngicas blanquecinas (fig. 5.3.).

La punta de flecha fue realizada mediante la técnica del forjado de láminas metálicas soldadas entre sí, dejando una de mayor grosor en el centro que se va ensanchando desde la punta hasta el puño, mientras que las laterales son más delgadas. Este tipo de armas están diseñadas para ser el remate de barras de madera o metal como sistema de arma de guerra y caza<sup>24</sup>.

En época ibera no contaban con sistemas modernos de forja por lo que su modo de trabajo se basaba en rodear el mineral en carbón de leña hasta obtener una elevada temperatura. Esta no era suficiente para el fundido del metal, pero sí para obtener una masa esponjosa y pastosa formada por hierro y escoria. Una vez obtenida la masa era trabajada mediante martilleo al rojo vivo hasta la eliminación de impurezas y escorias para su endurecimiento y obtención de un hierro más puro (fig.5.2)<sup>25</sup>.

TABLA 1. FICHA TÉCNICA PIEZA DE ESTUDIO

	<b>Dimensiones:</b> 18,8 cm × 3,7 cm × 2 cm	<b>Peso:</b> 1,49 kg
	<b>Material:</b> hierro	<b>Técnica:</b> hierro forjado
	<b>Tipología:</b> punta de lanza de flecha	<b>Época:</b> ibérica (siglo VIII-II a.C.)
	<b>Decoración:</b> recubrimiento de capa de parafina con elevado espesor ennegrecido. Presenta detalle de madera en el centro de la punta de metal	<b>Técnica decorativa:</b> forjado
	<b>Procedencia:</b> venta privada; Manuel Cazurro Ruiz	<b>Intervenciones anteriores:</b> recubrimiento de parafina ennegrecida por medio de inmersión en baños calientes de cera y grafito
	<b>Propietario:</b> Museu de Prehistòria de València	<b>Estado de conservación general:</b> Deficiente, evidencia de productos corrosivos (avanzada mineralización), capas densas que interrumpen su lectura, ataque fúngico
	<b>Fecha de inicio intervención:</b> 19/10/2023	<b>Fecha fin intervención:</b> 15/11/2023



a)



b)



c)

Fig. 5.3 (a-c). Visión microscópica de fino velo de colonias fúngicas blanquecinas sobre cara superior, Archivo SIP.

<sup>24</sup> Quesada Sanz, F. *El armamento ibérico. Estudio tipológico, geográfico, funcional, social y simbólico de las armas en la Cultura ibérica (siglos VI-1 a.C.)*. Millau: Editions Monique Mergoil, 1997, pp. 83-86.

<sup>25</sup> Hernández Richards, K. SCRIBD. *Historia Del Hierro*. [En línea] Disponible: <https://es.scribd.com/document/262715506/Historia-Del-Hierro#>.

### 5.1. Mapa de daños

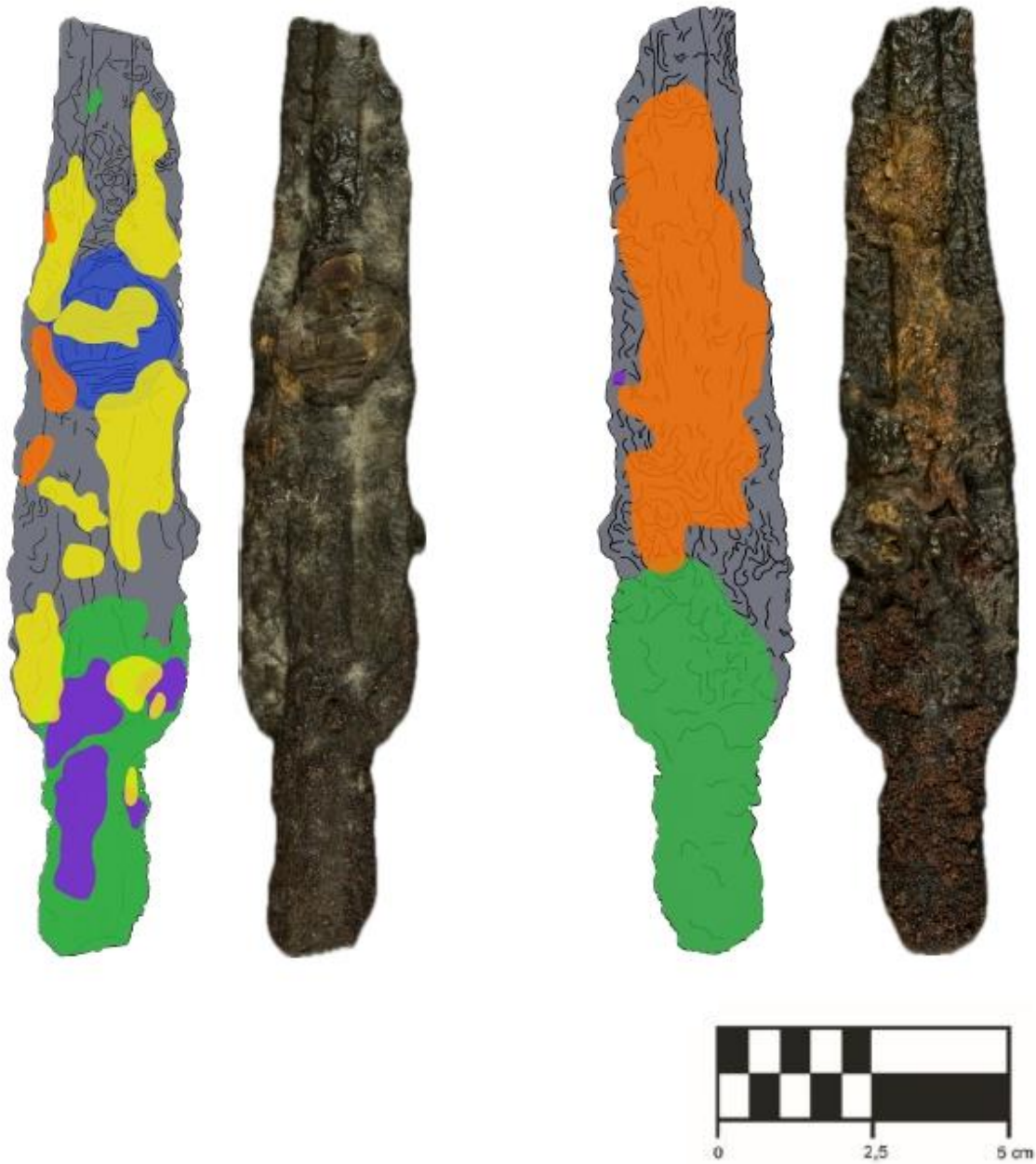


Fig. 5.4. Diagrama/Mapa de daños presentes en la pieza, Archivo SIP.

#### LEYENDA

- Cloruro de hierro (III)
- Velo de colonias fúngicas
- Óxidos (hematita)
- Oxihidróxidos (goetita)
- Madera mineralizada
- Protuberancias



## 6. ESTADO DE CONSERVACIÓN

La punta de lanza de flecha fue adquirida en una de las compraventas a lo largo de las campañas de excavaciones en Empúries en torno a 1908-1909. Al tratarse de una pieza adquirida por un privado, refleja un mantenimiento llevado a cabo por parte del propietario durante su posesión hasta su venta al Museu de Prehistòria de València, donde fue intervenida para su protección. Gracias a este hecho y a pesar del ataque fúngico, el estado de conservación del hierro no es muy grave, ya que no presenta escamaciones, sino básicamente deformaciones y aumento de volumen a consecuencia de los productos de corrosión.

El proceso de intervención al que fue sometido la pieza férrea anteriormente (baños en parafina), produjo un enmascarado de los detalles bajo una gruesa capa de cera ennegrecida, acompañada de productos corrosivos, como la hematita, la goethita o los cloruros, que salen en superficie provocados por el contacto con el oxígeno y la humedad del entorno.

Tras la realización de un análisis visual *in situ*, se ha observado la presencia de microorganismos activos en su superficie, especie hongo *Fusarium tanahbumbuense* y *Beauveria pseudobassiana*<sup>26</sup>, presentes en la superficie de la pieza. Al encontrarse en contacto con otras piezas con afectación biológica, ésta se ha visto afectada por la migración de estos principalmente en una de las dos caras, la cara expuesta.

La información obtenida a través de la observación empírica ha servido como base para la elaboración de un diagnóstico e identificación de patologías provocadas a raíz de la anterior intervención (fig. 6.1). Todo el proceso ha sido acompañado con su correspondiente estudio fotográfico, radiográfico y microscópico, donde se documenta el procedimiento realizado.

La integridad de la pieza no se ha visto gravemente afectada, ni presenta aparentes daños estructurales significativos que comprometan su estabilidad.

### MATERIALES EXÓGENOS

Como se ha mencionado anteriormente la pieza cuenta con un recubrimiento de parafina combinada con grafito o plumbagina total en su superficie enmascarando detalles (como se identifica en la sección 8.2.1). Sobre su cara expuesta se aprecia un fino velo blanquecino correspondiente a un ataque fúngico en activo causado por migración (fig. 6.2). Éste se encuentra estable en función de las condiciones de temperatura y humedad relativa del entorno en el que se ubica.



Fig. 6.1. Proceso documentación fotográfica, Archivo SIP.



Fig. 6.2. Fotografía macro de velo blanquecino correspondiente a un ataque fúngico en activo, Archivo SIP.

<sup>26</sup> Identificados por encargo del museo a Rosa Montes de agrónomos de la UPV,

### MATERIALES ENDÓGENOS

En la naturaleza encontramos los minerales en su estado más estable, estos al verse sometidos a procesos metalúrgicos que desatan procesos de corrosión por medio de agentes externos.

El hierro (Fe) es uno de los minerales más inestables en cualquiera de los medios naturales. Se trata de un metal maleable, dúctil y de gran tenacidad empleado desde su descubrimiento en la Edad del Hierro hasta la actualidad.

Dicho metal en contacto con el entorno que lo rodea provoca una serie de procesos fisicoquímicos que desencadenan en reacciones químicas, físicas o electro-químicas, siendo el oxígeno y la humedad los mayores causantes del daño. Estos factores provocan un aumento del volumen y la deformación de su estructura física, así como la metalografía, además del retorno a su estado natural, es decir, al mineral en su forma más estable, pudiendo desaparecer o transformarse en productos corrosivos siempre y cuando conserve su cohesión.

La pieza en cuestión presenta una corrosión uniforme incentivada por la presencia descontrolada del medio de oxígeno y humedad, además de haber sido intervenida con anterioridad. Este tipo de corrosión es la menos dañina, puesto que no llega a penetrar en el núcleo metálico, aunque la pieza presenta un estado avanzado de mineralización oculto por las capas de cera ennegrecida.

Todo ello marcó la velocidad de corrosión de la superficie metálica hasta la creación de una capa protectora que, con el paso del tiempo, ralentiza el proceso de corrosión. En el caso del hierro los productos corrosivos se manifiestan en forma de gotitas viscosas redondeadas si se encuentra en activo, si están inactivas aparecen en la superficie como perlas de color oscuro.

Los productos corrosivos presentes en la pieza son:

- **Goethita ( $\text{FeO(OH)}$ ):** hidróxido de hierro con tonalidad amarronado y anaranjado (fig. 6.3. a.). Presenta una apariencia compacta (marrón ocre) y pulverulenta (naranja) en la superficie inferior por la cara reverso, aunque también se observa de forma localizada en el anverso. La goethita se forma en condiciones oxidantes<sup>27</sup>.
- **Hematita ( $\text{Fe}^2 \text{O}^3$ ):** óxido férrico de tonalidad rojiza en forma granular que constituye un importante parte de las menas del hierro (fig. 6.3. b.). Presenta una apariencia compacta en la superficie inferior de la pieza<sup>28</sup>.
- **Cloruro de hierro (III) ( $\text{FeCl}_3$ ):** tricloruro de hierro se percibe como un brillo o apariencia de estar húmedo/mojado sobre la superficie del objeto. El  $\text{FeCl}_3$  en combinación con el oxígeno del aire y la humedad del entorno forma la herrumbre<sup>29</sup> que incrementa los tiempos de corrosión (fig. 6.3. c.). Este tipo de daño se debe a la presencia de iones de cloruro, sales, junto



a)



b)



c)

Fig. 6.3 (a-c). Fotografía macro de productos corrosivos, Archivo SIP.

<sup>27</sup> Minería en línea. *Goethita ( o goetita)*. [En línea]. Disponible: [https://mineriaenlinea.com/rocas\\_y\\_minerales/goethita/](https://mineriaenlinea.com/rocas_y_minerales/goethita/).

<sup>28</sup> Vives de la Cortada. *Hematite*. [En línea]. Disponible: <https://vivescortadaimport.com/diccionariominerales/minerales/hematite/index.php>.

<sup>29</sup> Óxido de hierro hidratado.

con la acumulación de agua, la contaminación atmosférica y la temperatura del entorno en el que se encuentra. Es una patología altamente dañina por su facilidad de penetración y combinación con otros productos químicos A simple vista no se aprecian sobre la pieza cloruros activos, aunque habría que esperar a una posterior intervención para poder realizar las pruebas oportunas que determinarían su presencia<sup>30</sup>.

## 7. PROBLEMÁTICA DE LA PIEZA

### 7.1. Propiedades y características de la parafina

La problemática presente en pieza férrea se atribuye a la afectación microbiológica provocada por la presencia de cera, en este caso parafina, de origen mineral (petróleo).

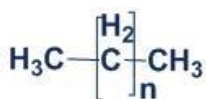
La parafina ( $C_nH_{2n+2}$ ) es una sustancia de aspecto ceroso compuesto por mezclas de hidrocarburos saturados de alto peso molecular con enlaces simples entre carbonos y de disposición lineal. Se obtiene por medio de la destilación de estratos a elevadas temperaturas, los cuales son procesados durante producción de aceites lubricantes de los que son separados.

Encontramos la parafina como una masa mórbida grasa de tonalidad blanquecina o ligeramente amarillenta inocua con estructura cristalina. Otra de sus propiedades físicas es su facilidad para cambiar de estado, pudiendo pasar de sólido a líquido y viceversa empleando una fuente de calor debido a su débil estructura. Ésta es soluble en disolventes apolares, como hidrocarburos aromáticos y alifáticos, pero poco soluble en alcohol<sup>31</sup>.

Podemos encontrar diferentes tipologías, como la parafina liviana o la parafina media, así como clasificarla en diferentes grupos; macrocristalinas, microcristalinas, semirrefinadas y parafina residual<sup>32</sup>.

### 7.2. Empleo de la parafina en objetos metálicos arqueológicos

Por lo general, la parafina se ha empleado como un recurso de protección superficial, aunque también podemos ver su uso en diferentes procesos de entelados, como aglutinante de pigmentos, así como consolidante y adhesivo (pegamento) para hierros a base de gutapercha, entre otros usos.



PARAFINA = ACEITE MINERAL USP

Fig. 7.1. Composición parafina  
( $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_3$ ), extraído de *Online Stores*.

<sup>30</sup> Serrano Mena, F. *Propuesta y aplicación de tecnologías para la conservación del patrimonio (armamento y objetos metálicos) en el museo "La Ruta del Esclavo" a partir del SIPAYC*. Matanzas : Universidad de Matanzas Sede "Camilo Cienfuegos" Facultad de Ciencias Técnicas Departamento de Química e Ingeniería Química, 2015, pp. 16-37.

<sup>31</sup> Barros Jiménez, I. M. *Uso y experimentación de la parafina para la producción de velas artísticas*. Cuenca: Universidad de Cuenca, 2017, pp. 10-11.

<sup>32</sup> *Ibíd.*



Fig. 7.2. Ejemplo pieza férrea con recubrimiento graso, Falcata ibérica, extraído de *Información*.



Fig. 7.3. Ejemplo objetos metálicos con recubrimiento graso, Falcata y Soliferreum ibérica, extraído de *Wikipedia*.

El recubrimiento en parafina de objetos metálicos se empleaba como un método de protección habitual impulsado en la década de los treinta por la gran escasez de recursos provocados por las catástrofes dadas a raíz de la I Guerra Mundial y la Guerra Civil. Este hecho obligó a una adaptación de los materiales en las intervenciones a base de tratamientos con colas, resinas, ceras, aceites, etc. Asimismo, en esta misma década se presenta la Carta de Atenas, donde se estableció por primera vez un criterio común para la intervención de objetos metálicos, con una metodología más o menos genérica en muchos países europeos.

Por aquel entonces los métodos de actuación se centraban en la limpieza, curación y montaje de los objetos metálicos, así como la imposición de acciones de mantenimiento, a través de limpiezas y patinados artificiales mediante el empleo de productos grasos que actuaran como protección contra los agentes de deterioro<sup>33</sup>.

Este modelo de actuación consistía en la realización de lavados en agua caliente de los objetos metálicos que, seguidamente se secaban artificialmente evitando así la filtración de humedad en su interior, de lo contrario aumentaría los tiempos de deterioro. Después de este proceso, las piezas eran sumergidas en parafina caliente para su recubrimiento.

*"...lo bien que han quedado los objetos que se llevaron de este Museo para recibir un baño de parafina, que en tanto apremio lo necesitaban, en especial la espada de antenas ha quedado estupendamente montada"*<sup>34</sup>.

Tal como ya comentamos, se tiene constancia escrita de la ejecución de dicha metodología de trabajo por parte del laboratorio del Museu de Prehistòria de València, donde se verifica esta práctica en algunos objetos de las colecciones mencionadas.

### 7.3. Métodos tradicionales de retirada de parafina en metales arqueológicos

Tradicionalmente, la eliminación de la parafina se ha llevado a cabo mediante el uso de disolventes, esencias o aceites esenciales o métodos electroquímicos. En el ámbito arqueológico, la parafina se ha utilizado como método de conservación o protección de objetos metálicos con el propósito de aislarlos de agentes de deterioro.

La eliminación o preservación de la pátina ha sido motivo de debate, incluyendo la consideración de si debe ser reemplazada por una nueva pátina artificial. Este tema surgió tras la Conferencia de Atenas, que planteó cuestiones sobre la toma de decisiones y su relación con los

<sup>33</sup> Dávila, C. "¿Qué aporta la documentación de las restauraciones antiguas de objetos metálicos a la conservación actual?". Escuela superior de conservación y restauración de bienes culturales, Laboratorio de Restauración Museo Arqueológico Nacional. Madrid : METALESPAÑA 08, 2014, pp 2-18.

<sup>34</sup> *Ibíd.* pp. 5-13.



procesos de limpieza, los cuales hoy en día están ligados a procesos complejos de la metodología de conservación.

El retiro de la parafina se lleva a cabo cuando ésta afecta a la apariencia o integridad del objeto metálico, provocando alteraciones en su estado de conservación. Además, esta sustancia puede ocultar detalles relevantes para su comprensión y lectura, así como retener partículas de suciedad y polvo en su superficie, pudiendo ocasionar futuras alteraciones o aumentar los tiempos de corrosión del objeto metálico<sup>35</sup>.

En un mismo sentido, el laboratorio del Museu de Prehistòria de València optó por un enfoque tradicional en cuanto a la eliminación de la parafina en las piezas afectadas de la colección férrea de la Bastida de les Alcusses. En el caso de la legona de hierro, que presenta las mismas problemáticas que la pieza de estudio, se llevaron a cabo baños en alcohol etílico para desinfectar y eliminar el ataque biológico, así como el empleo de disolventes como la esencia de trementina de petróleo, para la retirada de la pátina artificial de cera ennegrecida<sup>36</sup>.



a)



b)

Fig. 7.4 (a-b). Biodeterioro presente sobre una de las placas de hongos del modelo experimental; inicio vs estado avanzado, Archivo SIP.

#### 7.4. Biodeterioro: ¿qué es?

El biodeterioro es un fenómeno natural causado por procesos físico-químicos que promueven el crecimiento de microorganismos que se depositan en la superficie de los objetos ocasionando diversas alteraciones estéticas y/o compositivas.

Este deterioro comienza cuando las condiciones ambientales, temperatura y humedad relativa, se vuelven adecuadas para el crecimiento de microorganismos que influyen a nivel estético, físico, químico y/o mecánico<sup>37</sup>.

Muchas de las colecciones de los museos contienen materiales orgánicos altamente higroscópicos, lo que supone una absorción y retención de la humedad constante que, en la mayoría de los casos, se dan por una inadecuada ventilación o una excesiva humedad relativa. Este tipo de condiciones micro-climáticas fomentan el desarrollo de dos principales agentes contaminantes biológicos, los hongos y las bacterias.

Los hongos son organismos pluricelulares compuestos por filamentos denominados hifas, que se entrelazan para conforman el micelio. Se desarrollan en ambientes húmedos y cálidos con un pH entre 4-6. Las fluctuaciones micro-climáticas que presenta el entorno logran favorecer al crecimiento de las hifas y esporas fúngicas pudiendo originar manchas en la superficie de las obras debido a los productos que excretan. Asimismo, los hongos al crecer sus hifas pueden generar alteraciones físico-mecánicas en las piezas. Así mismo excretan enzimas,

<sup>35</sup> *Ibíd.* pp. 7.

<sup>36</sup> Canal Roca, R. et al. *Un ataque microbiológico en objetos*. Valencia : Anejos a CuPAUAM 6, 2018, pp. 2-10.

<sup>37</sup> Gennaro, G. *Restauro di superfici cartacee biodeteriorate: batteri pulitori e nuovi metodi enzimatici integrati*. Roma: Sapienza Università di Roma, 2014, pp. 5-7.

como la celulasa<sup>38</sup> y diversas proteasas<sup>39</sup>, así como ácidos orgánicos que alteran las propiedades químicas de los soportes, lo que provoca su deterioro.

En contraste, las bacterias son organismos unicelulares que generalmente crecen en ambientes con un pH de 7-8 y a temperaturas entre 25 y 38°C, aunque algunas de las especies pueden resistir extremas temperaturas. Al igual que los hongos, las bacterias producen enzimas y ácidos orgánicos, además de inorgánicos que contribuyen a la degradación de los soportes históricos<sup>40</sup>.

## 7.5. Alteraciones y factores causantes del deterioro

Los objetos metálicos arqueológicos pueden verse alterados y degradados por diversos factores, estos pueden clasificarse en dos tipos: intrínsecos y extrínsecos.

### INTRÍNSECO

Son aquellos que se producen a partir de los materiales compositivos del objeto de estudio.

#### 7.5.1. *Material compositivo*

Entendemos como material constitutivo a la composición, naturaleza y estructura que conforma una obra de arte. Estos son algunos de los factores que influyen y favorecen a la degradación del soporte artístico. En el caso de las piezas arqueológicas férricas, se debe tener en cuenta además la técnica de manufactura, el tipo de aleación y la interacción con otros materiales, puesto que los diversos materiales metálicos poseen diferentes propiedades fisicoquímicas haciéndolo más o menos susceptible a la corrosión, degradación y pérdida de propiedades, resultando de un futuro proceso de degradación estructural y compositivo.

### EXTRÍNSECO

Son aquellas alteraciones producidas por agentes externos a la pieza y que influyen directa o indirectamente.

#### 7.5.2. *Factor biológico*

Encontramos diversos factores que desencadenan el crecimiento biológico de organismos macro o microscópicos, esto se debe a daños o alteraciones provocadas por ataques fúngicos y

---

<sup>38</sup> "La celulasa es una enzima compleja especializada en descomponer celulosa, transformándola en glucosa" (Quimica.es).

<sup>39</sup> "Las proteasas son enzimas capaces de hidrolizar los enlaces peptídicos de una proteína y se clasifican como ácidas, básicas y neutras, en función de su rango de pH óptimo. Pueden extraerse de fuentes animales, plantas o microorganismos" (López, D. et al, 2018).

<sup>40</sup> Valentin, N., y García, R. *El biodeterioro de materiales orgánicos*. s.l. : Jornadas Monográficas Prevención del biodeterioro en archivos y bibliotecas. Instituto del Patrimonio Histórico Español vol. 14, 2004, pp. 15-84.

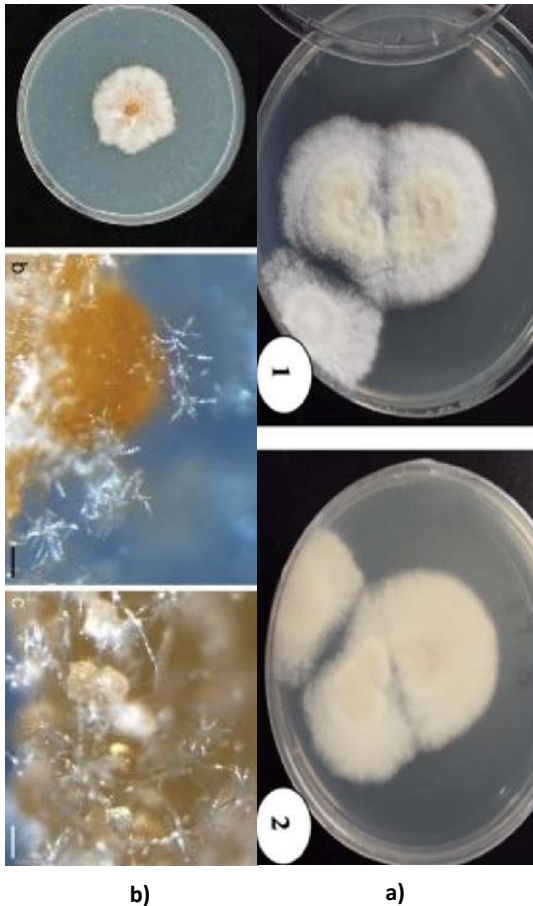


Fig. 7.5 (a-b). *Fusarium tanahbumbuense*; extraído de Nuevas especies endémicas de *Fusarium* hacen autostop con cepas patógenas de *Fusarium* que causan el mal de Panamá en pequeñas parcelas bananeras de Indonesia y *Beauveria pseudobassiana*; extraído de *Beauveria pseudobassiana* REHNER Y HUMBER, 2011 Un nuevo hongo entomopatógeno de la montaña Gara, IRAK.

reacciones con excrementos animales, provocando la corrosión, degradación y pérdida de las propiedades de los objetos metálicos.

Los microorganismos se instalan e inician un proceso de degradación basado en la nutrición de materiales orgánicos e inorgánicos por medio de procesos fisicoquímicos. Por ello, se dividen en dos grupos: autótrofos y heterótrofos.

Los autótrofos son aquellos organismos que producen su propio alimento a partir de materia inorgánica empleando energía solar o reacciones químicas. Algunos ejemplos de ellos son las plantas, algas y bacterias fotosintéticas.

Los heterótrofos, por su parte, necesitan obtener su alimento de otros organismos mediante materia orgánica viva o muerta. Algunos de estos organismos son las bacterias, protozoos y hongos<sup>41</sup>.

Tabla 2. Diferencias entre organismos autótrofos y heterótrofos

Características	Autótrofos	Heterótrofos
Fuente de energía	Luz solar	Materia orgánica
Fuente de carbono	Dióxido de carbono	Materia orgánica
Tipo de nutrición	Fotosíntesis	Quimio síntesis o absorción
Ejemplos	Plantas, algas y cianobacterias	Animales, hongos y bacterias

En el caso de la pieza de estudio, se ha dado la presencia de una afectación microbiológica causada por el hongo *Fusarium*<sup>42</sup> *tanhbumbuense* y *Beauveria pseudobassiana*<sup>43</sup> (fig. 7.5). Estos tipos de hongos, pueden dañar plantas y animales, además de crecer en diversos sustratos orgánicos como la cera y parafina en adecuadas condiciones de humedad y temperatura basando su alimentación a partir de la grasa, en este caso, presente en la parafina<sup>44</sup>.

En un estudio publicado por la revista "Microbiology"<sup>45</sup> en 2012, revelaron que el hongo *Fusarium oxysporum* posee la capacidad de crecer y descomponer ceras y parafinas. Este estudio

<sup>41</sup> Tortora, G. J., Funke et al. *Books Google*. Buenos Aires, Bogotá, Caracas, Madrid, México, Porto Alegre : Editorial Medica Panamericana S.A., 2007, pp. 100-123.

<sup>42</sup> "Especies con macroconidios fusoides, ligeramente curvados, septados y con una célula basal pedicelada. Con microconidios y clamidosporas terminales o intercalares, que pueden estar ausentes o presentes"

<sup>43</sup> "Hongo entomopatógeno que, en la actualidad, se utiliza como insecticida biológico por su eficacia contra numerosas plagas" (Certis Belchim Growing Together, 2022).

<sup>44</sup> Martínez-Hernández, M.C. et al. *Biodeterioro de objetos metálicos arqueológicos por hongos y bacterias*. México : Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), 2016, pp. 104-107.

<sup>45</sup>Crous, A.M. et al. *Fusarium oxysporum secretes a lipolytic enzyme that can degrade paraffin and waxes*. s.l. : Microbiology, 2012, pp. 4-5.

nos da una idea del daño que puede llegar a generar estas especies microbianas.

### 7.5.3. Factor ambiental

Las condiciones ambientales, como la exposición a la luz, la temperatura, la humedad y la calidad del aire, son factores clave en la degradación del patrimonio cultural. En el caso de la pieza de estudio, estas condiciones no solo han contribuido a su deterioro, sino que también al de los materiales utilizados en la antigua intervención.

La pieza y otras similares se encontraban en una misma vitrina de almacenamiento en el interior de la sala de reserva del museo, la cual no se había sometido a desinfección desde 2012. A pesar del control de humedad y temperatura, la sala presentaba problemas como humedades por capilaridad y un mantenimiento irregular. Todos estos factores, contribuyeron a la propagación de esporas contaminantes en el ambiente de almacenamiento. La deficiente calidad del aire en ese entorno, sumado a la acumulación de polvo y suciedad, exposición limitada a la luz, y las variaciones de temperatura y humedad relativa debido a los cambios estacionales dados en Valencia, han provocado unas óptimas condiciones para la proliferación microbiana (fig. 7.6).



Fig. 7. 6. Contaminación microbiológica en el interior de la vitrina de almacenaje, Archivo SIP.

Tabla 3. Factores ambientales que favorecen la proliferación de hongos sobre parafina

Factor	Temperatura (T)	Humedad relativa (HR%)	Calidad del aire	Exposición a la luz
<b>Óptimo</b>	20-25 ° C	60-80 %	Limpia	Limitada (luz solar o artificial directa <100 lux)
<b>Favorable</b>	>25 ° C	>80%	Contaminada	No limitada (luz solar o artificial directa >100 lux)
<b>Desfavorable</b>	<20 ° C	<60%	Limpia	Limitada (luz solar o artificial directa <100 lux)

### 7.5.4. Alteración

La presencia de microorganismos en objetos metálicos recubiertos de parafina puede provocar daños significativos en la estructura de dichos objetos a causa de diversas alteraciones fisicoquímicas y estéticas.



Una de las principales consecuencias radica en la composición orgánica de la parafina que, como se ha mencionado anteriormente, actúa como fuente de nutrición a partir de sus grasas, degradándola paulatinamente. Este hecho provoca la disminución gradual de la capa de cera, dejando el metal desprovisto.

Por otro lado, la presencia de estos microorganismos puede causar entre otros, manchas en la superficie del objeto, generar ácidos que modifican su pH<sup>46</sup> y acelerar los tiempos de corrosión del metal.

## 7.6. Ataque microbiológico en obras metálicas arqueológicas

La biodegradación de objetos metálicos se produce por la actividad de microorganismos, como bacterias u hongos, en combinación con materiales que componen el objeto, la humedad relativa (HR), la temperatura (Tª) y el medio ambiente. Esta actividad provoca una afectación microbiológica en la superficie del objeto, que puede causar daños significativos.

Además de los factores de deterioro mencionados, es importante tener en cuenta la influencia de los microorganismos. Estos organismos generan la conocida *corrosión bacteriana* o *corrosión microbiológica*, un proceso que facilita la corrosión por picadura o *pitting*<sup>47</sup>.

En el caso de la pieza grecorromana, la presencia de parafina como fuente de alimento para los microorganismos, en combinación con las condiciones ambientales, ha provocado la proliferación de hongos en la cara superior del objeto. Dicha proliferación se ha visto agravada por la migración de la afectación biológica de otras piezas.



Fig. 7.7. Aspecto corrosión bacteriana o corrosión microbiológica, extraído de Grupo Beta.

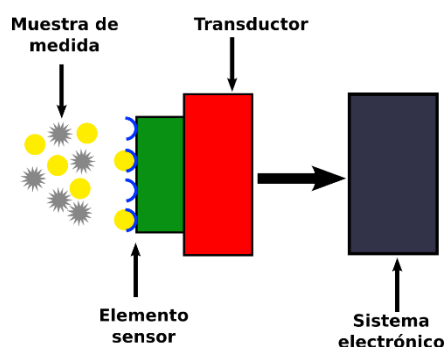


Fig. 7.8. Sistema de funcionamiento de sensores electroquímicos, extraído de *Curiosidades de un químico sonador*.

## 7.7. Biosensores

Los sensores electroquímicos son dispositivos que detectan cambios específicos en el potencial o en la corriente eléctrica causados por la presencia de una especie química.

Los sensores electroquímicos se dividen en dos categorías:

- **Sensores químicos:** utilizan componentes químicos inorgánicos u orgánicos como elementos sensores.

<sup>46</sup> Sinc Ciencia Contada en Español. (12 de febrero de 2016). *Demuestran por primera vez la capacidad de un hongo para degradar metano*. [En línea]. Disponible: <https://www.agenciasinc.es/Noticias/Demuestran-por-primera-vez-la-capacidad-de-un-hongo-para-degradar-metano#:~:text=Hongos%20como%20degradadores%20de%20metano&text=Los%20hongos%20producen%20hidrofobinas%2C%20que,para%20el%20transporte%20del%20gas.>

<sup>47</sup> Salazar-Jiménez, J. A. *Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales (Nota técnica)*. s.l. : Tecnología en Marcha. Vol. 28, Nº 3, 2015., pp. 132.

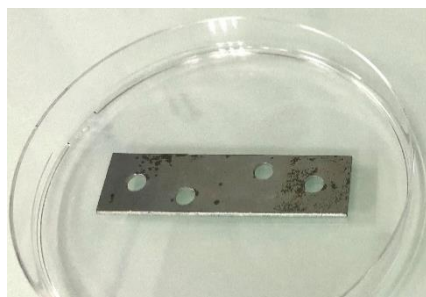
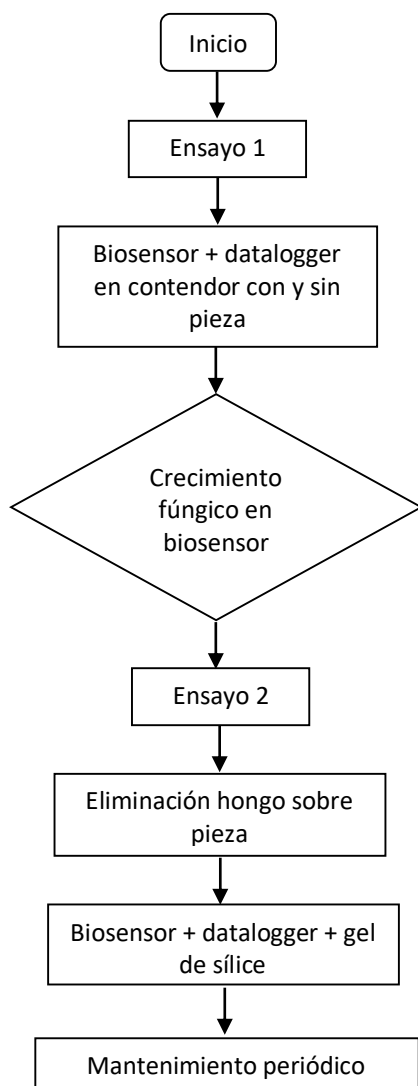


Fig. 7. 9. Biosensor empleado durante el diseño experimental, chapa de hierro con medio de cultivo, Archivo SIP.



- **Biosensores o bioindicadores:** utilizan componentes bioquímicos o biológicos como elementos detectores que reaccionan cuantitativamente a cambios en el entorno.

Ambos sensores requieren de un transductor<sup>48</sup> para transportar y convertir la especie química en una señal eléctrica que puede medir y procesar la información<sup>49</sup>.

El empleo de estos dispositivos tiene diversas ventajas frente al uso de los métodos tradicionales de evaluación de contaminación ambiental, aunque posee algunos inconvenientes que se deben tener en cuenta<sup>50</sup>.

Tabla 4. Ventajas y desventajas del uso de biosensores

Ventajas	Desventajas
Alta sensibilidad	Elevado coste
Específicos	Poco reproducibles
Rapidez	Poca estabilidad
Portabilidad y facilidad de uso	Dificultad de uso

## 8. PROCESO DE EXPERIMENTAL

### 8.1. Diseño experimental

Con el propósito de abordar el estudio y control del biodeterioro presente en la pieza y causado por un ataque fúngico, mediante un enfoque biosostenible, se propone un modelo de detección precoz de microorganismos basado en la investigación realizada por el Instituto del Patrimonio Cultural de España, dirigida por Nieves Valentín, enfocada en la conservación de momias (Valentín, 2015).

La pieza de estudio, compuesta de hierro y recubierta de parafina, presenta un ataque fúngico en la cara superior. Esta proliferación se ha originado por la migración de microorganismos junto con la composición orgánica del recubrimiento, que sirve como fuente de alimentación para los organismos fúngicos. El biodeterioro ha ido variando según el periodo y dependiendo de factores previamente mencionados (apartado 7.5.), así como del mantenimiento regular de la pieza.

La eficacia y mantenimiento de puntos críticos, como sistemas de climatización y ventilación en instalaciones de museos, afectan significativamente. En el caso de la sala de reserva del museo, se

<sup>48</sup> "Dispositivo que convierte un tipo de energía en otra" (Hottinger Brüel & Kjær).

<sup>49</sup> Baeza, A. *Sensores y Biosensores Electroquímicos*. s.l.: Facultad de Química, Departamento de Química Analítica. pp. 3-8.

<sup>50</sup> Rueda, I. M. *Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire*. Madrid: Facultad de Farmacia, Universidad Complutense, 2017, pp. 9.

observó indicios de contaminación ambiental en la vitrina de almacenaje, con pequeñas manchas blancas en las baldas de cristal (Fig 7.6).

Para abordar esta problemática, se ha desarrollado un modelo de estudio de calidad del aire mediante biosensores que detectan movimiento biológico, junto con el control continuo de la humedad relativa y temperatura mediante el uso de *dataloggers*. Este sistema de alerta, se basa en un soporte, en este caso del mismo material que el objeto de estudio, sobre el cual se aplicó un medio de cultivo (agar-agar<sup>51</sup>) para la detección de contaminantes en el aire. En nuestro caso, el objeto que actuó como biosensor fue una pequeña placa de hierro (5x 1 cm) que previamente fue esterilizada (Fig 7.9).

### Metodología

El procedimiento se inició con la introducción de la pieza en un contenedor translúcido de polipropileno (contenedor A). Dentro del contenedor se colocan un *datalogger* para la medición constante de temperatura ( $T^{\circ}$ ) y humedad relativa (HR%). Este mismo modelo se repitió en un contenedor sin objeto de estudio (contenedor B).

A lo largo de ocho meses, se han seguido las variaciones que ha presentado el diseño experimental teniendo en cuenta:

- Condiciones ambientales de la zona de almacenaje.
- Características de los materiales que constituyen la pieza.
- El desarrollo microbiológico.

Inicialmente, se coloca tanto en el interior de los contenedores como en el interior de la vitrina, un sistema de detección (placas Petri con medios de cultivo de hongos y de bacterias) con la finalidad de comprobar la calidad del aire y cómo pudiera afectar a las piezas que salvaguarda en su interior (fig. 8.1).

### Estudio de detección de la contaminación microbiológica

Preparados ambos contenedores con los sistemas de medición, se trasladaron del laboratorio a la sala de reserva, donde se colocaron en la vitrina de almacenamiento bajo el control de visitas periódicas. Con esto se ha pretendido detectar la contaminación microbiológica ambiental tanto de los contenedores como de la sala-vitrina de reserva. Para ello se colocan placas Petri con medios de cultivo de hongos y de bacterias tanto dentro de los contenedores con o sin la pieza, como dentro de la vitrina de la sala de almacenamiento.

El crecimiento fúngico en los medios de cultivo depositados apareció a partir 5 días. Este crecimiento confirmaba la presencia de esporas



Fig. 8. 1. Primer ensayo: medios de cultivo + *datalogger* en contenedores con (arriba) y sin (abajo) pieza, junto con medios de cultivo en interior vitrina, Archivo SIP.



Fig. 8. 2. Crecimiento biológico en medios de cultivo de hongos, tras cuatro días desde su introducción, Archivo SIP.



Fig. 8. 3. Crecimiento microbiano en medios de cultivo de hongos. Archivo SIP.

<sup>51</sup> Sabouraud Chloramphenicol Agar.



Fig. 8.4. Aumento del crecimiento microbiano sobre la pieza, causado por la excesiva humedad en el contenedor, Archivo SIP.



a)



b)

Fig. 8.5 (a-b). Instalación y posterior contaminación de los biosensores, Archivo SIP.



Fig. 8.6. Eliminación microorganismos mediante baño y cepillado en etanol puro, Archivo SIP.

activas tanto en las piezas como en el ambiente de la vitrina-sala de reserva, así como en el interior de ambos contenedores (Fig 8.3).

Llegado a este punto, se confirmó la contaminación del aire en el interior de la sala de reserva, puesto que, durante la instalación de los contenedores en la vitrina, se abrió unos segundos para la correcta colocación del *data logger* en el contenedor sin pieza, suficiente para la introducción de esporas y su crecimiento en el medio de cultivo.

Asimismo, se apreció un notorio aumento del crecimiento microbiano sobre la pieza, causado por la excesiva humedad en el contenedor (fig. 8.4).

Estas esporas activas estaban poniendo en riesgo tanto la pieza ya infectada como el resto de las piezas presentes en la sala de reserva.

Respecto a los medios de cultivo de bacterias, no se presenció contaminación bacteriana.

#### ***Intervención de desinfección e instalación de biosensores para la detección precoz***

Una vez confirmada la presencia de esporas fúngicas tanto en la pieza como en el aire de la sala de reserva. Se retiraron todos los medios de cultivo, se desinfectaron los contenedores y *data loggers* y se introdujeron los biosensores con una mínima cantidad de medio de cultivo<sup>52</sup>, junto con una pequeña cantidad de gel de sílice para disminuir las variaciones de HR y ver si con esta desinfección ambiental y control de temperatura y humedad, sin intervenir sobre la pieza, se podía controlar-frenar el ataque fúngico. Todo el proceso fue realizado bajo una campana extractora, para evitar la propagación de esporas en el laboratorio.

Pasados cuatro días, se detectó una nueva contaminación en el biosensor de ambos contenedores, indicando la necesidad de intervenir sobre la pieza con el ataque fúngico.

En este punto, se llevó a cabo un nuevo ensayo con la pieza desinfectada. Para ello, se sumergió y cepilló la pieza en etanol puro por 30 min., se dejó secar y se reintrodujo en su respectivo contenedor junto con un nuevo biosensor, su *data logger* y un bote con gel de sílice, todo previamente desinfectado con etanol puro (fig. 8.6). Este mismo procedimiento se repitió en el contenedor sin pieza.

Eliminado el hongo, se dejó estabilizar por unas horas ambos contenedores. Pasado este tiempo, los *data loggers* de ambos contenedores presentaban microclimas no superiores a los 25°C y por debajo del 35% HR (fig. 8.7.). Esta estabilización perduró hasta la llegada de los picos de variación de HR producidos durante los cambios de estación (durante primavera-verano), donde se observó un aumento de la HR superior al 45 %, pero con una T<sup>a</sup> no superior a los 25°C (gráficos

<sup>52</sup> Empleo de autoclave esterilizado para aplicación con pipeta el Agar, 200µl.





Fig. 8. 7. Microclima no superior a los 25°C y por debajo del 35% HR., Archivo SIP.

1 y 2). Estas condiciones han iniciado a mostrar leves signos de un posible repunte biológico.

## 8.2. Análisis y pruebas

### 8.2.1. Estudio físico-químico de la parafina

La presencia de parafina sobre la pieza se ha podido afirmar gracias a los análisis FTIR realizados por parte de la Dra. Teresa Doménech. En los que se afirma que, la muestra extraída del recubrimiento se corresponde con los patrones de referencia de hidrocarburos polisaturados de cadena larga, es decir, una protección a base de ceras (parafina), que se aparecían junto a los agregados de calcita y minerales silíceo-ferríferos que formaban parte de las concreciones superficiales.

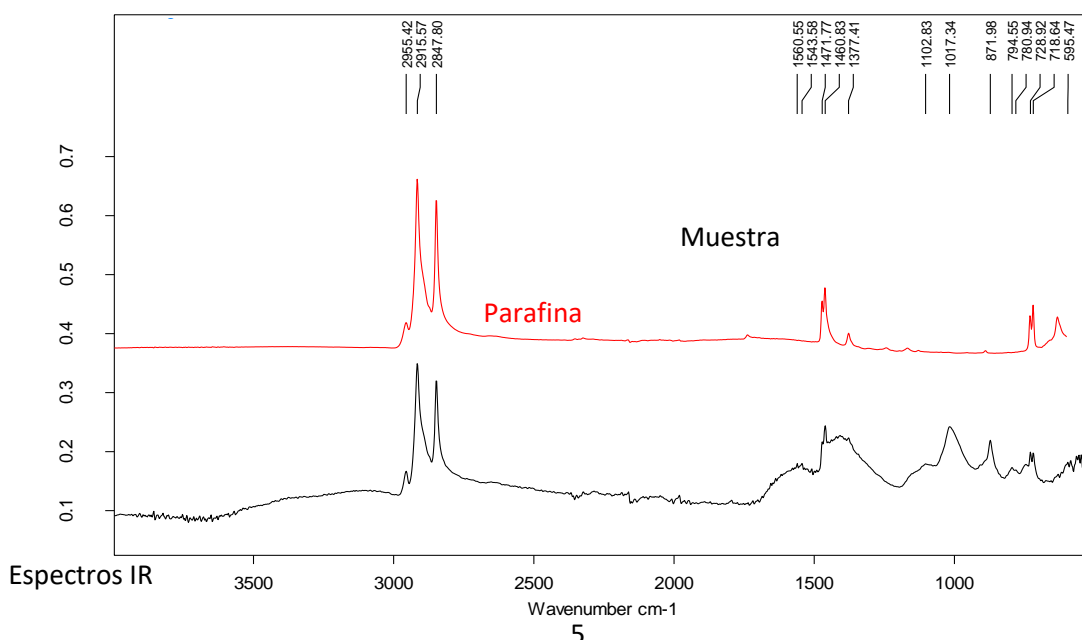


Fig. 8.8. Espectro de absorción IR de la muestra M-1 y presencia de cera microcristalina y calcita, Archivo SIP.

Asimismo, se tiene constancia de la elaboración de pruebas previas basadas en el calentamiento del metal recubierto, para comprobar la presencia de cera. Al someterse a una fuente de calor, esta sustancia comienza a fundirse y manchar de manera aceitosa y negruzca.

### 8.2.2. Estudio microbiológico

La problemática presente en la pieza férrea se atribuye a la presencia de cera ennegrecida, en este caso parafina, de origen mineral (petróleo). Este hidrocarburo ha provocado la afectación microbiológica de la pieza, ya que se han generado unas condiciones favorables para el crecimiento de hongos.

Los análisis llevados a cabo por parte de Dra. Rosa Montes para el Museu de Prehistòria de València. Durante la intervención y estudio de algunas de las piezas correspondientes la Bastida de les Alcusses se confirmó la presencia de hongos, *Fusarium tanahbumbuense* y

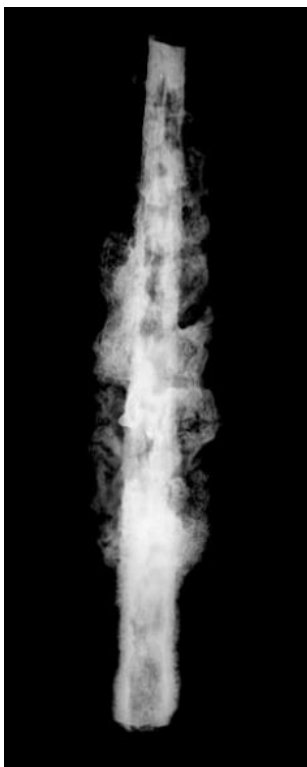


Fig. 8. 9. Vista perfil radiográfica de la pieza de estudio, Archivo SIP.

*Beauveria pseudobassiana*, identificados por métodos de biología molecular.

### 8.2.3. Estudio radiográfico

Los metales arqueológicos son materiales que presentan múltiples problemas de conservación, entre los que destaca la oxidación. El hierro plantea una gran complejidad debido a sus pátinas inestables y deformaciones que pueden llegar a provocar la mineralización total del objeto.

La radiografía es una técnica no invasiva, que permite visualizar el interior de los objetos sin dañarlos. El empleo de esta técnica nos facilita discernir la composición y densidad de los materiales que componen la pieza, así como apreciar las zonas mineralizadas. En el caso de la punta, la radiografía realizada y facilitada por el Dr. Jose Antonio Madrid García, muestra un estado avanzado de mineralización, hasta el punto de comenzar a desaparecer las zonas de menor espesor (fig. 8.7).

### 8.2.4. Estudio ultravioleta

Otro de los estudios que se le practicó a la pieza, fue la visión ultravioleta. Esta técnica lumínica permite detectar la presencia de microorganismos activos. Esto se puede ver en la imagen realizada (fig. 8. 8), donde se aprecia la colonización fúngica viva en forma manchas fluorescentes.

### 8.2.5. Estudio estratigráfico

Para este análisis, se extrajeron pequeñas muestras a punta de bisturí en dos zonas diferentes del recubrimiento y el hongo. Durante el estudio de microscopía óptica y estratigrafía, se pudo apreciar un cristal de parafina, lo que confirma nuevamente la presencia de dicha sustancia (fig. 8.9).

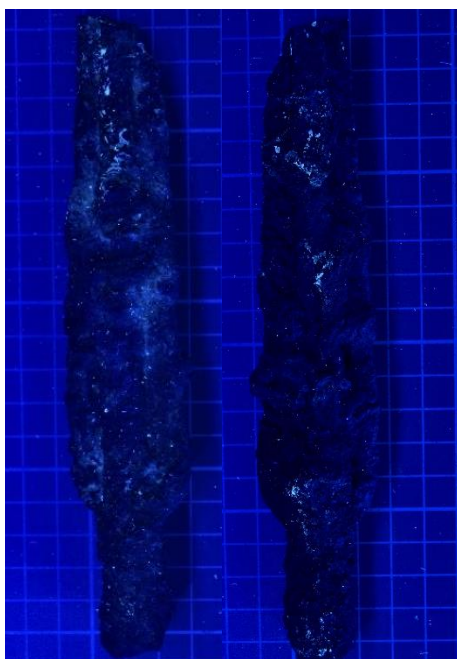


Fig. 8. 10. Anverso y reverso con luz ultravioleta, visualización fluorescencias correspondientes con organismos vivos, Archivo SIP.



Fig. 8. 11. Fotografía microscopio óptico de muestra 1C, Archivo SIP.

## 8.3. Resultados estudio calidad ambiental

Los estudios de contaminación microbiológica ambiental han permitido evaluar la calidad del aire en el interior de un museo, así como de la atmósfera que rodea a las obras de arte depositadas en vitrinas o en contenedores ubicados en las salas de reserva del Museo de prehistoria de Valencia.

Los contenedores A y B, depositados en una de las vitrinas de la sala de reserva del museo, han mostrado un crecimiento microbiano acelerado previo a la eliminación y desinfección de los contenedores, ocasionado por la presencia de esporas contaminantes en el aire.

Los resultados obtenidos en el contenedor A (con la pieza), muestran una mayor carga microbiana que los del contenedor B (sin la pieza). En cambio, los medios de cultivo situados en el interior de la vitrina de la sala de reserva, reflejan una menor contaminación, debido a cantidad de humedad relativa que aportan en comparación con las dimensiones de la vitrina.

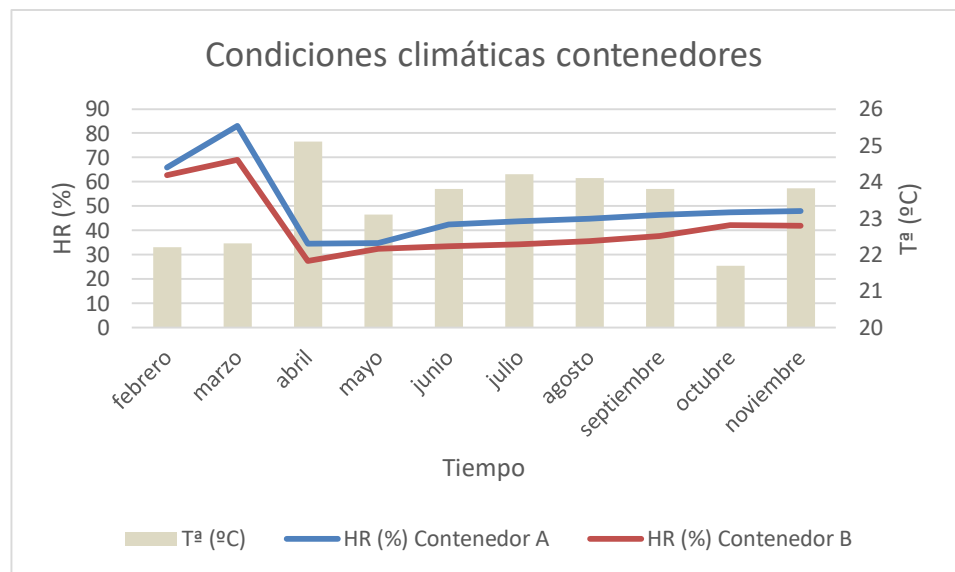


Gráfico 1. Condiciones climáticas contenedores A y B

Los gráficos realizados, muestran las variaciones presenciadas durante un tiempo de exposición determinado. La gráfica 1 indica los valores medios de temperatura y humedad dentro de los contenedores A y B. En cambio, el gráfico 2 recopila las variaciones climáticas dadas en la sala de reserva durante estos meses de estudio.

No se aprecian variaciones de temperatura en ambos contenedores, mientras que observamos como la Humedad relativa es ligeramente superior en el contenedor con la pieza respecto al contenedor sin la pieza.

Tanto en los contenedores como en la sala de reserva el pico más alto de HR se observa en marzo y julio, mientras que el pico más alto de temperatura se observa en abril y agosto. Estos picos se corresponden a su vez, con los periodos de crecimiento biológico debido a ese incremento de humedad dados tanto en el interior de la sala, como en los contenedores.

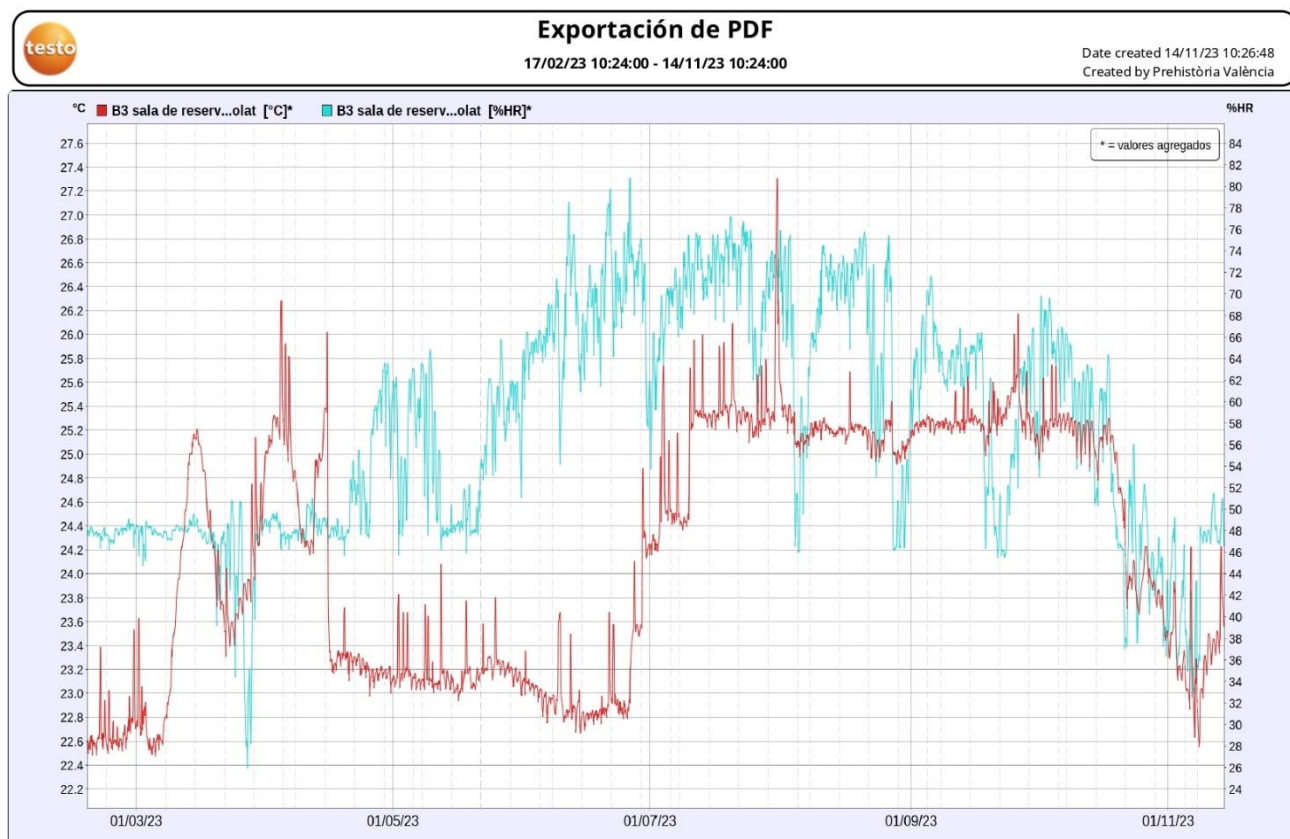


Gráfico 2. Condiciones climáticas de la sala de reserva durante Texp.

## 9. PROPUESTA DE CONSERVACIÓN SOSTENIBLE

La mayoría de los métodos empleados para la conservación-restauración del patrimonio cultural resultan insatisfactorios en términos de eficacia y durabilidad. Además, los inhibidores y agentes comprobantes utilizados a menudo son tóxicos, causando riesgos para la salud humana, así como el evidente deterioro del medio ambiente.

En las últimas décadas, ha surgido el desarrollo de métodos y materiales biológicos como una alternativa significativa para la preservación del patrimonio<sup>53</sup>. En este contexto, se propone un enfoque de conservación sostenible para la pieza de estudio con afectación microbiológica, basado en el posible uso del quitosán, un polisacárido natural con propiedades antimicrobianas y antifúngicas.

<sup>53</sup> Joseph E. y Junier P. *Metabolic processes applied to endangered metal and wood heritage objects: Call a microbial plumber!* New Biotechnology, 2020, pp. 21-26.



Para optimizar el uso del quitosán, se recomienda llevar a cabo pruebas con diferentes concentraciones de esta sustancia y evaluar su efectividad a largo plazo. Este compuesto ha sido empleado en diversos países de Latinoamérica, Asia y Europa en ámbitos de la agricultura, alimentación, medicina e industria, aunque sigue siendo objeto de investigación.

Toda esta información fue aportada y facilitada por el Centro de Coordinación Nacional de Conservación del Patrimonio Cultural del INAH en Coyoacán, México, durante la estancia en prácticas académicas gracias a la participación en la beca de Cooperación al Desarrollo, de la Universidad Politécnica de Valencia.

La institución mexicana se encuentra inmersa en estudios para explorar los diferentes usos potenciales del quitosán, incluyendo su capacidad como fungicida, consolidante, adhesivo, protector, etc., debido a su gran versatilidad y propiedades.

Un estudio reciente, publicado en la editorial de revistas científicas “MDPI” en 2022, bajo el título de *Toward a Green and Sustainable Silver Conservation: Development and Validation of Chitosan-Based Protective Coatings*, examinó la aplicación del quitosán como revestimiento protector en objetos metálicos de plata. Los resultados indicaron que el quitosán es efectivo en la protección contra la corrosión y el crecimiento de hongos en este tipo de objetos.

Asimismo, la utilización del quitosán posee también el objetivo de introducir algunos de los ODS impuestos por las Naciones Unidas como son:

- **ODS 3:** Salud y bienestar, ya que protege la pieza de futuros ataques fúngicos, previniendo posibles enfermedades en las personas que la visitan, así como para el bienestar y salud del restaurador.
- **ODS 9:** Industria, innovación e infraestructura, promoviendo nuevas líneas de investigación e innovación.
- **ODS 11:** Ciudades y comunidades sostenibles, dado que es respetuoso con el medio ambiente, al utilizar un material biodegradable y no tóxico.
- **ODS 12:** Producción y consumo responsable, puesto que se aboga por una gestión sostenible de los recursos y la reducción del desperdicio.
- **ODS 13:** Acción por el clima, al ayudar a reducir la contaminación ambiental mediante el uso de un disolvente biodegradable.

### 9.1. El quitosán y sus propiedades

El quitosán es un polisacárido natural que se obtiene a partir de la quitina desacetilada. Esta sustancia orgánica tiene una estructura rígida, gracias a su contenido en nitrógeno y puentes de hidrogeno que le confieren una estabilidad térmica. Su estructura se encuentra distribuida en grupos de aminos libres con una ligera carga positiva, lo que le permite ser soluble en medios ácidos y neutros.

El quitosán proviene de la modificación química de la quitina, la cual se extrae de los exoesqueletos de crustáceos e insectos, que lo convierten en un material biodegradable y no tóxico, seguro para su uso en diferentes ámbitos como la agricultura, medicina, biotecnología, etc.,

y más recientemente en la conservación y restauración del patrimonio cultural como se ha citado en el apartado anterior.

Entre sus principales aplicaciones incluyen la purificación del agua, mejora en textiles, prevención de roturas en papel, uso farmacéutico como agente cicatrizante, antibacteriano y antioxidante, así como en la industria alimentaria como conservante y agente de recubrimiento.

El quitosán, posee una gran versatilidad y propiedades beneficiosas, que lo presentan como un material prometedor para abordar desafíos ambientales y mejorar la calidad de vida de las personas en el futuro<sup>54</sup>.

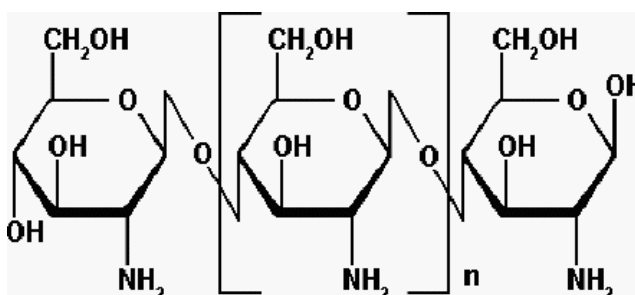


Fig. 9. Estructura química del quitosán, extraído de UGR.

## 10. PROPUESTA DE CONSERVACIÓN PREVENTIVA

Entendemos por conservación preventiva al conjunto de medidas y/o acciones directas o indirectas que se realizan para evitar o ralentizar el proceso de deterioro de una pieza, asegurando su estabilidad y durabilidad a lo largo del tiempo.

La pieza de origen férreo arqueológico estudiada, actualmente se encuentra almacenada en la sala de reserva del museo, por lo que se ha planteado una serie de criterios y cambios que se aconseja seguir, para la prevención de una futura proliferación microbiana.

Como se ha mencionado en apartados anteriores, el hierro es un material muy susceptible a daños causados por variaciones atmosféricas o ambientes no controlados, llegando a provocar alteraciones en su estructura y apariencia estética. Además, la presencia de productos corrosivos, como son los cloruros, puede agravar la problemática.

Otro factor que considerar son las intervenciones anteriores a las que se ha visto sometida la pieza, como es la inmersión de la misma en baños de parafina con grafito. A lo largo de este estudio se ha demostrado que la presencia de

<sup>54</sup> Chancusig Sarzosa, J. E. et al. *Aprovechamiento de la cáscara de camarón para la obtención de quitosano y su potencial aplicación en la remoción de metales pesados, provincia de Cotopaxi en el periodo 2022-2023*. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales. Latacunga- Ecuador : Universidad Técnica de Cotopaxi, 2023, pp. 20-32.

esta sustancia ha servido como fuente de alimentación para microorganismos heterótrofos. Desde el inicio, esta afectación microbiana ha levantado sospechas sobre una posible migración biológica, por ello, se ha llevado a cabo una revisión de las condiciones de almacenamiento en la sala de reserva donde se fue anotando defectos como:

- La vitrina de almacenaje lleva sin mantenimiento regular desde 2012.
- En el interior de la vitrina se observó que en las diferentes baldas y en algunas de las piezas en su cara superior, se dan pequeños ataques por hongos blanquecinos.
- La sala cuenta con humedades por capilaridad, puesto que el edificio se habilitó sin estar pesando para emplearse como museo.
- Se da un sistema irregular de mantenimiento y limpieza de la estancia.

Por todo ello, se proponen medidas de almacenaje preventivo para la correcta preservación y aislamiento de la pieza ante la presencia fúngica, basadas en el control ambiental mediante el uso del gel de sílice y *data logger* para monitorear el microclima generado en el interior del contenedor de almacenaje a lo largo de 8 meses. Este sistema preventivo se plantea a su vez, con la finalidad de plantear una intervención sostenible futura que incluya el uso de biosensores como medio de detección precoz de microorganismos y el uso de productos eco-sostenibles como el quitosán.

Teniendo en cuenta todos los factores de riesgo, se han establecido los siguientes parámetros para la prevención biológica:

- La pieza debe permanecer almacenada en el interior del contenedor traslucido a una Tª entre 20-25 °C y una HR por debajo del 35%.
- Regular los periodos de limpieza, así como desinfectar y limpiar la vitrina, evitando acumulación de polvo, agentes medioambientales, excesiva o reducida exposición de luz y cambios bruscos de Tª y HR.
- Evitar acumulación de suciedad en puntos críticos; sistemas de ventilación.
- La radiación lumínica no deberá sobrepasar de los 300 lux, evitan entradas excesivas de luz en la sala, así como el control de una baja laminación constante.
- Control continuo de sistemas de ventilación y deshumectadores que regulan y controlan la humedad de la sala.
- Manipulación de la pieza bajo el uso obligatorio de guantes de látex. Hasta llevarse a cabo la limpieza de sala, manipular el objeto bajo una campana extractora cerrada.
- Mantenimiento y control del gel de sílice para evitar variaciones bruscas de HR en el interior del contenedor, así como el seguimiento continuo de posible contaminación de los biosensores como signo de actividad microbiana.

Para evitar futuras proliferaciones de microorganismos, el museo ha considerado poner en marcha las medidas aconsejadas, además de llevar a cabo un seguimiento regulado de la propuesta de conservación preventiva, así como posibles modificaciones en caso de que fuera necesario.

## 11. CONCLUSIONES

A lo largo de este trabajo se ha realizado un estudio detallado del estado de conservación de la pieza grecorromana de hierro, lo que ha permitido identificar los riesgos presentes en la obra y elaborar así una propuesta de conservación preventiva enfocada en prácticas sostenibles, mediante el empleo de sistemas de detección temprana y la mínima intervención sobre la obra. Los resultados obtenidos señalan la importancia de las condiciones ambientales y como éstas pueden incrementar o frenar el biodeterioro presente sobre la pieza. Así mismo hemos podido observar la eficacia de los biosensores para identificar microorganismos en etapas iniciales, derivados de condiciones microclimáticas desfavorables. Esta herramienta permite la adaptación oportuna de medidas de conservación, evitando daños irreversibles en las piezas.

Debido a la importancia de la contaminación fúngica presente en la pieza, así como en el aire de la sala de reserva, se tuvo que someter tanto a la pieza como a los contenedores a una desinfección de urgencia. A pesar de someter la pieza a una desinfección, existe el riesgo residual debido a la posible inaccesibilidad de ciertos recovecos, así como a la dificultad de controlar la contaminación fúngica del aire de la sala, especialmente peligroso en combinación con las fluctuaciones de temperatura y humedad relativa existentes en la sala de reserva. Este dato resalta la relevancia de abordar la presencia de la parafina, ya que su persistencia alimenta la proliferación de los hongos hasta llegar al punto de poder eliminar la parafina e iniciar un proceso de degradación sobre el metal.

Asimismo, la elaboración de este trabajo prioriza la inclusión de algunos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible relacionados con la salud del trabajador, la gestión sostenible, promoción de la innovación, respeto con el medio ambiente y la posibilidad de reducción de contaminación ambiental mediante el uso de una sustancia biodegradable.

En conjunto, estas conclusiones respaldan una aproximación integral y sostenible a la conservación del patrimonio cultural.

## 12. BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- Aquilué, X., Castanyer, P., Santos, M., Joaquim. 2006. *El poblament prefeudal de l'alta muntanya dels Pirineus occidentals catalans (Pallars Sobirà i Alta Ribagorça)*. Cultura Arqueològica , Museu D'arqueologia de Catalunya- Empúries. Barcelona : Generalitat de Catalunya, 2006. págs. 206-218.
- Aquilué, X. Y Rodà I. 2022. Historia National Geographic. *Ampurias: la gran colonia griega en iberia*. [En línea] 10 de noviembre de 2022. [https://historia.nationalgeographic.com.es/a/ampurias-gran-colonia-griega-iberia\\_18632](https://historia.nationalgeographic.com.es/a/ampurias-gran-colonia-griega-iberia_18632).
- Baeza, A. *Sensores y Biosensores Electroquímicos*. s.l. : Facultad de Química, Departamento de Química Analítica. págs. 3-8.

- Ballester Tormo, I. 1942. *La labor del Servicio de Investigación Prehistórica y su museo en los años 1935 a 1939*. Valencia : F. Domenech, 1942.
- Barros Jiménez, I. M. 2017. *Uso y experimentación de la parafina para la producción de velas artísticas*. Cuenca – ecuador : UNIVERSIDAD DE CUENCA, 2017. págs. 10-11.
- Bonet Rosado, H., Ferrer García, C., Vives-Ferrándiz Sánchez, J. 2017. *El Museo de Prehistoria de Valencia*. València : Boletín del Museo Arqueológico Nacional, 2017. págs. 2-5. ISSN: 2341-3409.
- Bonet Rosado, H., Vives-Ferrándiz Sánchez, J. 2011. *La Bastida de les Alcusses, 1928-2010*. Valencia : Diputación Provincial de Valencia, 2011. ISBN: 978-84-7795-590-0.
- Canal Roca, R., Doménech-Carbó, M.T., Doménech-Carbó, A., Pasíes Oviedo, T., Montes Estellés, R. M., Vives-Ferrándiz Sánchez, J., Madrid García, J. A., Doménech-Carbó, A. 2018. *Un ataque microbiológico en objetos*. Valencia : Anejos a CuPAUAM 6, 2018. págs. 2-10. ISBN 0211-1608.
- Certis Belchim Growing Together. 2022. Certis Belchim Growing Together. *Beauveria bassiana: Todo lo que necesitas saber*. [En línea] 23 de diciembre de 2022. [Citado el: 06 de noviembre de 2023.] [certisbelchim.es/beauveria-bassiana-todo-lo-que-necesitas-saber/](https://certisbelchim.es/beauveria-bassiana-todo-lo-que-necesitas-saber/).
- Chancusig Sarzosa, J. E., Tipanguano Astudillo, T. S. 2023. *Aprovechamiento de la cáscara de camarón para la obtención de quitosano y su potencial aplicación en la remoción de metales pesados, provincia de cotopaxi en el periodo 2022-2023*. Facultad de ciencias agropecuarias y recursos naturales. Latacunga- Ecuador : Universidad Técnica de Cotopaxi, 2023. págs. 20-32 .
- Crous, A.M., Hyde, J.A., Lewis, K.J., Bridge, P.J., Gow, N.A.R., Gurr, S.J., & van Wyk, M.A.S. 2012. *Fusarium oxysporum secretes a lipolytic enzyme that can degrade paraffin and waxes*. s.l. : Microbiology, 2012. págs. 4-5.
- CTS. CTS. *PARAFINA*. [En línea] CTS España S.L. [Citado el: 23 de octubre de 2022.] <https://shop-espana.ctseurope.com/120-parafina>. CIF B81342628.
- Cusihuamán Noa, S. 2017. *Derivatización del quitosano para la obtención del carboximetilquitosano (o-cmq) y su caracterización vía espectroscopía infrarroja (ftir) y resonancia magnética nuclear (rmn)* . Arequipa - Perú : Universidad Nacional de San Agustín Facultad de Ciencias Naturales y Formales Escuela Profesional de Química, 2017.
- Dávila, C. 2014. *"¿Qué aporta la documentación de las restauraciones antiguas de objetos metálicos a la conservación actual?"*. Escuela superior de conservación y restauración de bienes culturales, Laboratorio de Restauración Museo Arqueológico Nacional. Madrid : METALESPAÑA 08, 2014. págs. 2-18.
- DeConceptos. DeConceptos.com. *Concepto de herrumbre*. [En línea] [Citado el: 2023 de octubre de 20.] <https://deconceptos.com/ciencias-naturales/herrumbre>.

- Droquimar S.R.L. 2020. Droquimar Blog. *Usos y aplicaciones de la parafina 58/60*. [En línea] 04 de marzo de 2020. <https://droquimar.blogspot.com/2020/03/usos-y-aplicaciones-de-la-parafina-5860.html>.
- Fundación Juan March Madrid. 2016. Fundación Juan March Madrid. *De la Renaixença al Noucentisme*. [En línea] 16-30 de enero de 2016. <https://www.march.es/es/madrid/renaixenca-al-noucentisme>.
- Gennaro, G. 2014. *Restauro di superfici cartacee biodeteriorate: batteri pulitori e nuovi metodi enzimatici integrati*. Roma : Sapienza Università di Roma, 2014. págs. 5-7.
- Gómez, C. 2006. Las colecciones de Ibiza y Ampurias. [aut. libro] María Jesús De Pedro Michó, Ángel Sánchez Molina y Carlos Ferrer García Helena Bonet Rosado. *Arqueología en blanco y negro. La labor del SIP: 1927-1950*. València : Diputación de Valencia, 2006, págs. 2-4.
- Gómez López, E. D. 2008. *Caracterización de cepas toxigénicas del género fusarium mediante técnicas de biología molecular*. Valencia : Universitat Politècnica de Valencia, 2008. págs. 11-17.
- González Zuarth, C. A., Vallarino, A., Pérez Jiménez, J. C., Low Pfeng, A. M. 2014. *Bioindicadores: guardianes de nuestro futuro ambiental*. San Cristóbal de Las Casas : D.R. © El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR), 2014. págs. 13-16. ISBN 978-607-8429-05-9.
- Hernández Richards, K. SCRIBD. *Historia Del Hierro*. [En línea] [Citado el: 20 de agosto de 2023.] <https://es.scribd.com/document/262715506/Historia-Del-Hierro#>.
- Hottinger Brüel & Kjæ. Hottinger Brüel & Kjæ. *Los transductores y el internet de las cosas*. [En línea] [Citado el: 28 de octubre de 2023.] <https://www.hbm.com/es/7501/los-transductores-y-el-internet-de-las-cosas/#:~:text=En%20su%20forma%20m%C3%A1s%20b%C3%A1sica,una%20salida%20de%20informaci%C3%B3n%20digital..>
- Instituto Arqueológico Alemán. 2021. AiObjets Rachne. *Guía ilustrada de las ruinas de ampurias y Costa Brava Catalana*. [En línea] Instituto Arqueológico de la Universidad de Colonia, 2021. <https://arachne.uni-koeln.de/Tei-Viewer/cgi-bin/teiviewer.php?manifest=BOOK-ZID1352425>.
- Joseph E., Junier P. 2020. Metabolic processes applied to endangered metal and wood heritage objects: Call a microbial plumber! [aut. libro] Pilar Junier Joseph. *New Biotechnology*,. 2020, págs. 21-26.
- López, D., Galante, M., Ruggieri, G., Lombardi, J., Boeris, V., Spelzini, D. 2018. *Producción de proteasas fúngicas para la hidrólisis de proteínas vegetales*. s.l. : Energeia, Vol. 15, 2018. pág. 2.
- Manualidades Tere. Manualidades Tere Mota. *Plombagina 50gr*. [En línea] [Citado el: 22 de octubre de 2022.] <https://manualidadestere.com/producto/plombagina/#:~:text=La%20plombagina%20son%20unos%20polvos,en%20algunos%20trabajos%20de%20manualidades..>

- Martínez-Hernández, M. C., Morales-Aguilar, J. L., Hernández-Hernández, A., Torres-Reyes, M. J., García-Ruiz, J. C., Hernández-Montecillos, J. C., Pérez-Hernández, J. E., García-Acuña, J. A. 2016. *Biodeterioro de objetos metálicos arqueológicos por hongos y bacterias*. México : Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), 2016. págs. 104-107. ISBN 978-607-842-200-0.
- Márquez Costa, R. 2017. *Aplicación de la técnica FISH en la detección de Pseudomonas stutzeri utilizada para tratamientos de biolimpieza en obras de arte*. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural (Etsiamn), Universitat Politècnica de València. Valencia : s.n., 2017. págs. 1-8.
- Martínez, E. L. 2015. Características morfológicas de Fusarium spp y diversidad de estructuras de reproducción de hongos. *IAP México*. Youtube, México : Youtube, 20 de octubre de 2015.
- Minería en línea. 2021. Minería en línea . *Goethita ( o goetita)*. [En línea] 28 de febrero de 2021. [https://mineriaenlinea.com/rocas\\_y\\_minerales/goethita/](https://mineriaenlinea.com/rocas_y_minerales/goethita/).
- Moriconi, T. 2021. Pearson. *Il restauro è biotech*. [En línea] Pearson Italia ©, 2021. <https://it.pearson.com/aree-disciplinari/scienze-matematica/articoli/restauro-biotech.html#>. IP 07415430011.
- Munilla, G., Gracia, F. 2015. *Ampurias y los orígenes del turismo arqueológico en Cataluña*. Barcelona : Museo Arqueológico Nacional, 2015. págs. 383-404. ISSN: 2341 - 3409.
- Naciones Unidas. 2015. Naciones Unidas. *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. [En línea] Naciones Unidas, 2015. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>.
- Pasíes Oviedo, T. 2017. Piezas metálicas en los fondos del Museo de Prehistoria de Valencia: Problemática asociada a su conservación y restauración. [aut. libro] María Teresa Doménech Carbó y Antonio Doménech Carbó. *Proceedings of the Third European Conference on electrochemical methods applied to the conservation of artworks. New insights into the technical examination and conservation of metallic heritage artefacts*. Valencia : Universitat Politècnica de València, 2017, págs. 4-8.
- Pasíes Oviedo, T. y Peiró Ronda, M. A. 2006. El Laboratorio de Restauración del Museo de Prehistoria de Valencia. [aut. libro] María Jesús De Pedro Michó, Ángel Sánchez Molina Y Carlos Ferrer García Helena Bonet Rosado. *Arqueología en blanco y negro, La labor del SIP: 1927-1950*. VALENCIA : Diputación de Valencia, 2006, págs. 171-177.
- Patrimoni Cultural. Patrimoni Cultural. *Empuries, Los clásicos llegan para quedarse*. [En línea] [Citado el: 23 de octubre de 2022.] <https://patrimoni.gencat.cat/es/coleccion/empuries>.
- Perelló, E. R. 1990. *Orígenes de la ciudad romana de Ampurias*. Madrid : Editorial de la Universidad Complutense de Madrid, 1990, págs. 1-6.

- Pons Pujol, L. 2018. *Manuel Cazorro y Ruiz*. [En línea] ® Real Academia de la Historia, 2018. <https://dbe.rah.es/biografias/11882/manuel-cazorro-y-ruiz>.
- Quesada Sanz, F. 1997. *El armamento ibérico. Estudio tipológico, geográfico, funcional, social y simbólico de las armas en la Cultura ibérica (siglos VI-1 a.C.)*. Millau : Editions Monique Mergoil, 1997. págs. 83-86. ISBN : 2-907303-09-0.
- Quimica.es. Quimica.es. *Celulasa*. [En línea] Lumitos®. [Citado el: 28 de octubre de 2023.] <https://www.quimica.es/enciclopedia/Celulasa.html>.
- Ranalli, G. y Zanardini, E. 2020. *Biocleaning in Cultural Heritage: new frontiers of*. Pesche y Como : sfam, 2020. págs. 1-21. ISSN 1364-5072.
- Rueda, I. M. 2017. *Líquenes como bioindicadores de la calidad del aire*. Madrid : Facultad de Farmacia, Universidad Complutense, 2017. pág. 9.
- Ruta Dels Indiketes. 2022. Ruta Dels Indiketes. *Historia de los indiketeshistoria de los indiketes*. [En línea] 2022. [https://www.rutadelsindiketes.com/es/historia-de-los-indiketetes/#:~:text=Los%20Indiketes%20era%20el%20pueblo,siglos%20VIII%20II%20a.C\)..](https://www.rutadelsindiketes.com/es/historia-de-los-indiketetes/#:~:text=Los%20Indiketes%20era%20el%20pueblo,siglos%20VIII%20II%20a.C)..)
- Salazar-Jiménez, J. A. 2015. *Introducción al fenómeno de corrosión: tipos, factores que influyen y control para la protección de materiales (Nota técnica)*. s.l. : Tecnología en Marcha. Vol. 28, Nº 3, 2015. pág. 132.
- Serrano Mena, F. 2015. *Propuesta y aplicación de tecnologías para la conservación del patrimonio (armamento y objetos metálicos) en el museo "La Ruta del Esclavo" a partir del SIPAYC*. Matanzas : Universidad de Matanzas Sede "Camilo Cienfuegos" Facultad de Ciencias Técnicas Departamento de Química e Ingeniería Química, 2015. 16-37.
- Sinc Ciencia Contada en Español. 2016. Sinc Ciencia Contada en Español. *Demuestran por primera vez la capacidad de un hongo para degradar metano*. [En línea] 12 de febrero de 2016. [Citado el: 03 de noviembre de 2023.] <https://www.agenciasinc.es/Noticias/Dmuestran-por-primera-vez-la-capacidad-de-un-hongo-para-degradar-metano#:~:text=Hongos%20como%20degradadores%20de%20metano&text=Los%20hongos%20producen%20hidrofobinas%2C%20que,para%20el%20transporte%20del%20gas..>
- Tortora, G. J., Funke, B.R., Case, C.L. . 2007. *Books Google*. Buenos Aires, Bogotá, Caracas, Madrid, México, Porto Alegre : Editorial Medica Panamericana S.A., 2007. págs. 100-123.
- TravelHolics - Viaja, Descubre, Explora. TravelHolics - Viaja, Descubre, Explora - Blog de Viajes. *Descubriendo Ampurias: ¿Qué es ahora?* [En línea] <https://www.travelholics.es/descubriendo-ampurias-que-es-ahora/#!>
- Turris, A., Ocando L., Romero M. F. , Fernández M. 2013. *¿Pueden los Microorganismos Impactar los Materiales de Construcción? Una Revisión*. s.l. : GT, 2013. I.S.N.N.Nro. 1856-9560.



- Valentin, N., y García, R. 2004. *El biodeterioro de materiales orgánicos*. s.l. : Jornadas Monográficas Prevención del biodeterioro en archivos y bibliotecas. Instituto del Patrimonio Histórico Español vol. 14, 2004. págs. 15-84.
- Valentín, N. 2015. *Biosensores como sistemas de alarma para detectar riesgos de biodeterioro en restos momificados. Estudios preliminares*. s.l. : Instituto del Patrimonio Cultural de España, 2015. págs. 344-354.
- Valentín, N., Sánchez, B., Durán, D., Muro, C., Herráez, I., Vilanova, O., Montero, J., Manrique, A., Gaztañaga, A. 2017. *Desarrollo de tecnologías para la detección precoz de contaminantes biológicos. Aplicaciones a vitrinas de aire y anoxia*. Editorial Ministerio de Educación, Cultura y Deporte, págs. 101-107.
- Vallve Albiol, I. 2005. *Manuel Cazorro Ruiz, Pioner*. Girona : S.N., 2005.
- Vives de la Cortada. Vives de la Cortada. *Hematite*. [En línea] [Citado el: 24 de agosto de 2023.] <https://vivescortadainport.com/diccionario-minerales/minerales/hematite/index.php>

## 13. ÍNDICE DE IMÁGENES

Todas las imágenes no referenciadas pertenecen al autor del trabajo.

Fig. 4.1. *Mapa divisorio, s. VIII- II a.C.* [Consulta: 02/08/2023] Disponible en: <https://www.rutadelsindiketes.com/es/historia-de-los-indiketetes/#:~:text=Los%20Indiketetes%20era%20el%20pueblo,siglos%20VIII%2DII%20a.C.>

Fig. 4.2. *Vista cenital del conjunto arqueológico de Empúries en el territorio catalán.* [Consulta: 26/07/2023] Disponible en: *El poblament prefeudal de l'alta muntanya dels Pirineus occidentals catalans (Pallars Sobirà i Alta Ribagorça)*.

Fig. 4.3. *Plano correspondiente con la Insula 30 del conjunto arqueológico.* [Consulta: 26/07/2023] Disponible en: *El poblament prefeudal de l'alta muntanya dels Pirineus occidentals catalans (Pallars Sobirà i Alta Ribagorça)*.

Fig. 4.4. *Artículo divulgatorio acerca de la ciudad de Empúries por parte de La Vanguardia, 18 julio 1936.* [Consulta: 21/07/2023] Disponible en: <http://www.man.es/man/dam/jcr:434b680c-5d64-4de4-97a3f82bb63d5575/man-bol-2016-34-munilla.pdf>

Fig. 4.5. *Estatua de Asklepio.* [Consulta: 03/08/2023] Disponible en: <http://xsierrav.blogspot.com/2015/02/esculapio-el-dios-de-empuries.html>

Fig. 4.6. *Vista general del yacimiento de Empúries en la actualidad.* [Consulta: 23/10/2022] Disponible en: <https://patrimoni.gencat.cat/es/coleccion/empuries>

Fig. 4.7. *Manuel Cazorro y Ruíz sobre la muralla meridional de la Neápolis, excavaciones de Ampurias.* [Consulta: 28/10/2022] Disponible en: <http://bancsinofos.blogspot.com/2001/01/349-manuel-cazorro.html>

Fig. 4.8. *Vaso de Cazorro, primera cerámica ibera con representación antropomórfica.* [Consulta: 28/10/2022] Disponible en: <https://sortidesambgracia.com/2021/07/08/exposicio-lenigma-iber/>

Fig. 4.9. *Casa de la Beneficiencia, ubicación del Museu de Prehistòria de València.* [Consulta: 17/08/2023] Disponible en: <https://www.google.com/maps>

Fig. 4.10. *Ubicación actual del laboratorio de restauración dentro del museo.* [Consulta: 17/08/2023] Disponible en: <https://www.google.com/maps>

Fig. 4.11. *Contenedor traslucido de polipropileno, donde se encuentran las piezas.* (Imagen del autor del trabajo)

Fig. 4.12. *Almacenaje piezas con afectación microbiológica.* (Imagen del autor del trabajo)

Fig. 4.13. *Legona de hierro previo a la afectación microbiológica.* [Consulta: 28/10/2022] Disponible en: [https://www.researchgate.net/figure/Selection-of-iron-tools-from-La-Bastida-de-les-Alcusses-Moixent-Valencia-Top-left\\_fig10\\_339943409](https://www.researchgate.net/figure/Selection-of-iron-tools-from-La-Bastida-de-les-Alcusses-Moixent-Valencia-Top-left_fig10_339943409)

Fig. 5.1 (a-b). *Fotografías generales; anverso y reverso de la pieza de estudio con problemática microbiológica.* (Imagen del autor del trabajo)

Fig. 5.2. *Proceso de forjado del hierro.* [Consulta: 20/08/2023] Disponible en: <https://es.scribd.com/document/262715506/Historia-Del-Hierro#>

Fig. 5.3 (a-c). *Visión microscópica de fino velo de colonias fúngicas blanquecinas sobre cara superior.* (Imagen del autor del trabajo)

Fig. 5.4. *Diagrama/Mapa de daños presentes en la pieza.* (Imagen del autor del trabajo)

Fig. 6.1. *Proceso documentación fotográfica.* (Imagen del autor del trabajo)

Fig. 6.2. *Fotografía macro de velo blanquecino correspondiente a un ataque fúngico en activo.* (Imagen del autor del trabajo)

Fig. 6.3 (a-b). *Fotografía macro de productos corrosivos.* (Imagen del autor del trabajo)

Fig. 7.1. *Composición parafina (CH<sub>3</sub>-CH<sub>2</sub>-CH<sub>3</sub>)*. [Consulta: 07/08/2023]  
Disponible en:  
<https://onlinestores.salescheap2023.com/category?name=parafina%20formula>

Fig. 7.2. *Ejemplo pieza férrea con recubrimiento graso, Falcata ibérica*.  
[Consulta: 08/08/2023] Disponible en:  
<https://www.informacion.es/cultura/2019/06/06/marq-saca-tesoros-5411514.html>

Fig. 7.3. *Ejemplo objetos metálicos con recubrimiento graso, Falcata y Soliferreum ibérica*. [Consulta: 08/08/2023] Disponible en:  
[https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Bastida\\_de\\_Les\\_Alcusses\\_Moi\\_xent\\_Falcata\\_y\\_Soliferreum.JPG](https://es.m.wikipedia.org/wiki/Archivo:Bastida_de_Les_Alcusses_Moi_xent_Falcata_y_Soliferreum.JPG)

Fig. 7.4 (a-b). *Biodeterioro presente sobre una de las placas de hongos del modelo experimental; inicio vs estado avanzado*. (Imagen del autor del trabajo)

Fig. 7.5 (a-b). *Fusarium tanahbumbuense y Beauveria pseudobassiana*.  
[Consulta: 08/11/2023] Disponible en:  
[https://www.researchgate.net/publication/331775275\\_New\\_endemic\\_Fusarium\\_species\\_hitch-hiking\\_with\\_pathogenic\\_Fusarium\\_strains\\_causing\\_Panama\\_disease\\_in\\_small-holder\\_banana\\_plots\\_in\\_Indonesia](https://www.researchgate.net/publication/331775275_New_endemic_Fusarium_species_hitch-hiking_with_pathogenic_Fusarium_strains_causing_Panama_disease_in_small-holder_banana_plots_in_Indonesia)  
[https://www.researchgate.net/figure/Beauveria-pseudobassiana-isolate-B3-grown-on-PDA-1-Colony-and-aerial-hyphae-top-view\\_fig2\\_343674979](https://www.researchgate.net/figure/Beauveria-pseudobassiana-isolate-B3-grown-on-PDA-1-Colony-and-aerial-hyphae-top-view_fig2_343674979)

Fig. 7. 6. *Contaminación microbiológica en el interior de la vitrina de almacenaje*. (Imagen del autor del trabajo)

Fig. 7. 7. *Aspecto corrosión bacteriana o corrosión microbiológica*.  
[Consulta: 08/11/2023] Disponible en: <https://grupobeta.es/corrosion-microbiologica/>

Fig. 7. 8. *Sistema de funcionamiento de sensores electroquímicos*.  
[Consulta: 08/11/2023] Disponible en:  
<https://quimicosonador.wordpress.com/tag/sensores-quimicos/>

Fig. 7. 9. *Biosensor empleado durante el diseño experimental, chapa de hierro con medio de cultivo*. (Imagen del autor del trabajo)

Fig. 8. 1. *Primer ensayo: medios de cultivo + datalogger en contenedores con (arriba) y sin (abajo) pieza, junto con medios de cultivo en interior vitrina*. (Imagen del autor del trabajo)

Fig. 8. 2. *Crecimiento biológico en medios de cultivo de hongos, tras cuatro días desde su introducción*. (Imagen del autor del trabajo)

Fig. 8. 3. *Crecimiento microbiano en medios de cultivo de hongos.* (Imagen del autor del trabajo)

Fig. 8. 4. *Aumento del crecimiento microbiano sobre la pieza, causado por la excesiva humedad en el contenedor.* (Imagen del autor del trabajo)

Fig. 8. 5 (a-b). *Instalación y posterior contaminación de los biosensores.* (Imagen del autor del trabajo)

Fig. 8.6. *Eliminación microorganismos mediante baño y cepillado en etanol puro.* (Imagen del autor del trabajo)

Fig. 8. 7. *Microclíma no superior a los 25°C y por debajo del 35% HR.* (Imagen del autor del trabajo)

Fig. 8.8. *Espectro de absorción IR de la muestra M-1 y presencia de cera microcristalina y calcita.* Imagen proporcionada por el IRP.

Fig. 8. 9. *Vista perfil radiográfica de la pieza de estudio.* (Imagen del autor del trabajo)

Fig. 8. 10. *Vista frontal con luz ultravioleta, visualización fluorescencias correspondientes con organismos vivos.* (Imagen del autor del trabajo)

Fig. 8. 11. *Fotografía microscópica de muestra 1C.* (Imagen del autor del trabajo)

Fig. 9. *Estructura química del quitosán.* [Consulta: 08/11/2023]  
Disponible en:  
[https://www.ugr.es/~iquimica/PROYECTO\\_FIN\\_DE\\_CARRERA/lista\\_proyectos/p173.htm](https://www.ugr.es/~iquimica/PROYECTO_FIN_DE_CARRERA/lista_proyectos/p173.htm)

Fig. 15.1. *Sala de reserva, ubicación vitrina.* (Imagen del autor del trabajo)

Fig. 15.2. *Ficha mantenimiento vitrina de almacenaje de la pieza de estudio.* (Imagen del autor del trabajo)

Fig. 15.3. *Condiciones climáticas sala de reserva.* (Imagen del autor del trabajo)

Fig. 15.4. *Contaminación microbiana en el interior de la vitrina.* (Imagen del autor del trabajo)

Fig. 15.5. *Colocación primer ensayo; contenedores con y sin pieza de estudio junto con medios de cultivo + datalogger, además de empleo medios de cultivo en el interior vitrina.* (Imagen del autor del trabajo)

Fig. 15.6. *Detección contaminación ambiental biológica tanto en el interior de los contenedores como en los medios de cultivo de la vitrina.* (Imagen del autor del trabajo)

Fig. 15.7 (a-c). *Contaminación medios de cultivo, tras cuatro días desde su instalación.* (Imagen del autor del trabajo)

Fig. 15.8. *Contaminación medios de cultivo, tras dos días desde una nueva instalación con la misma metodología.* (Imagen del autor del trabajo)

Fig. 15.9. *Realización biosensores.* (Imagen del autor del trabajo)

Fig. 15.10. *Instalación biosensores.* (Imagen del autor del trabajo)

Fig. 15.11. *Contaminación biosensores tras días de su instalación.* (Imagen del autor del trabajo)

Fig. 15.12. *Eliminación microorganismos mediante baño y cepillado en etanol puro.* (Imagen del autor del trabajo)

Fig. 15.13. *Instalación contenedores con sistema de detección precoz, tras eliminación microbiana.* (Imagen del autor del trabajo)

Fig. 15.14. *Control biosensores tras semanas de su instalación.* (Imagen del autor del trabajo)

Fig. 15.15. *Situación actual tras meses desde su instalación.* (Imagen del autor del trabajo)

Fig. 15.16 (a-b). *Control del estado actual del Temperatura constante, aumento de la humedad relativa.* (Imagen del autor del trabajo)

## 14. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ficha técnica pieza de estudio.....	14
Tabla 2. Diferencias entre organismos autótrofos y heterótrofos .....	22
Tabla 3. Factores ambientales que favorecen la proliferación de hongos sobre parafina .....	23
Tabla 4. Ventajas y desventajas del uso de biosensores .....	25

## 15. ÍNDICE DE GRÁFICAS

Grafico 1. Condiciones climáticas contenedores A y B .....	30
gráfico 2. Condiciones climáticas de la sala de reserva durante T <sub>exp.</sub> ....	31

## 16. ANEXOS



Fig. 15.1. Sala de reserva, ubicación vitrina, Archivo SIP.

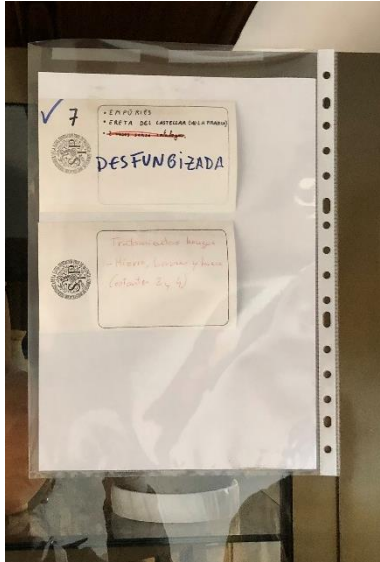


Fig. 15.2. Ficha mantenimiento vitrina de almacenaje de la pieza de estudio, Archivo SIP.



Fig. 15.3. Condiciones climáticas sala de reserva, Archivo SIP.



Fig. 15.4. Contaminación microbiana en el interior de la vitrina, Archivo SIP.

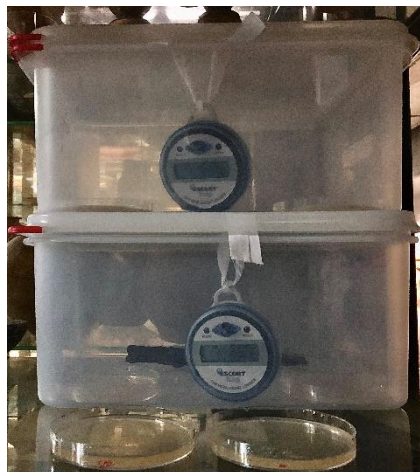


Fig. 15.5. Colocación primer ensayo; contenedores con y sin pieza de estudio junto con medios de cultivo + datalogger, además de empelo medios de cultivo en el interior vitrina, Archivo SIP.

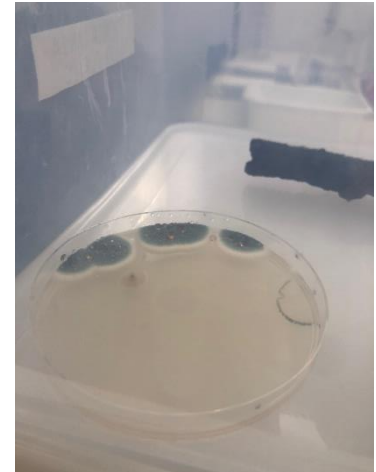
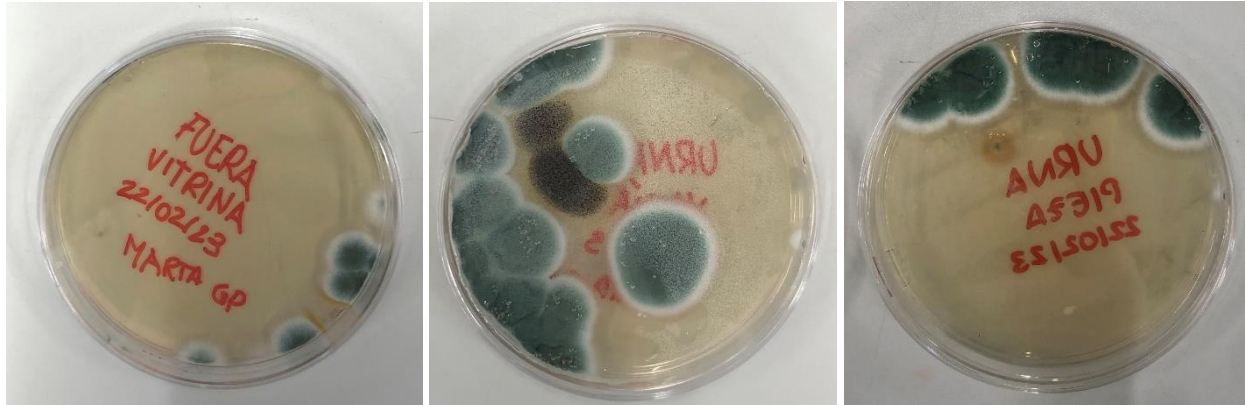


Fig. 15.6. Detección contaminación ambiental biológica tanto en el interior de los contenedores como en los medios de cultivo de la vitrina, Archivo SIP.





c) Resultado medio de cultivo hongo fuera en vitrina.

b) Resultado medio de cultivo hongo contenedor sin pieza.

a) Resultado medio de cultivo hongo contenedor con pieza.

Fig. 15.7 (a-c). Contaminación medios de cultivo, tras cuatro días desde su instalación, Archivo SIP.



Fig. 15.8. Contaminación medios de cultivo, tras dos días desde una nueva instalación con la misma metodología, Archivo SIP.



Fig. 15.9. Realización biosensores, Archivo SIP.

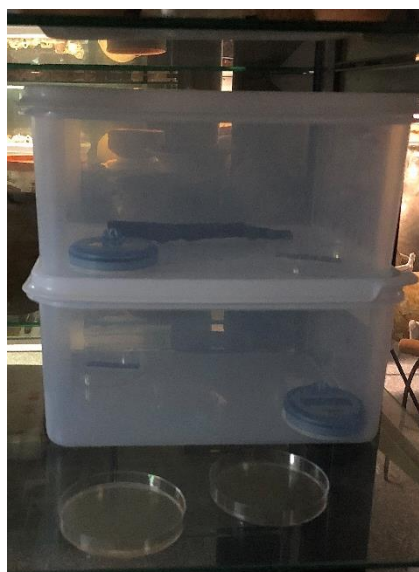


Fig. 15.10. Instalación biosensores, Archivo SIP.



Fig. 15.11. Contaminación biosensores tras días de su instalación, Archivo SIP.





Fig. 15.12. Eliminación microorganismos mediante baño y cepillado en etanol puro, Archivo SIP.

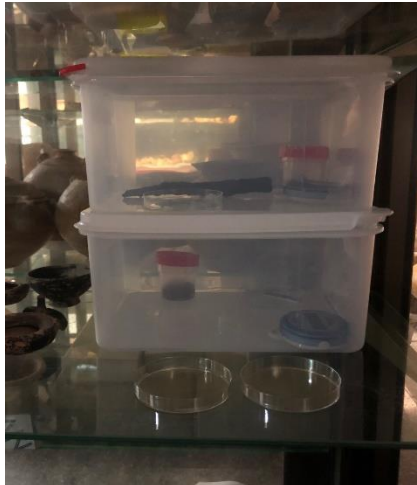


Fig. 15.13. Instalación contenedores con sistema de detección precoz, tras eliminación microbiana, Archivo SIP.



Fig. 15.14. Control biosensores tras semanas de su instalación, Archivo SIP.



Fig. 15.15. Situación actual tras meses desde su instalación, Archivo SIP.



b)



a)

Fig. 15.16 (a-b). Control del estado actual de la temperatura constante, aumento de la humedad relativa, Archivo SIP.



**ANEXO I.**  
**RELACIÓN DEL TRABAJO CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE  
DE LA AGENDA 2030**

Anexo al Trabajo de Fin de Grado y Trabajo de Fin de Máster: Relación del trabajo con los  
Objetivos de Desarrollo Sostenible de la agenda 2030.

Grado de relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Objetivos de Desarrollo Sostenible	Alto	Medio	Bajo	No procede
ODS 1. Fin de la pobreza.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ODS 2. Hambre cero.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ODS 3. Salud y bienestar.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ODS 4. Educación de calidad.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ODS 5. Igualdad de género.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ODS 10. Reducción de las desigualdades.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ODS 12. Producción y consumo responsables.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ODS 13. Acción por el clima.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ODS 14. Vida submarina.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Descripción de la alineación del TFG/TFM con los ODS con un grado de relación más alto.



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



FACULTAT DE BELLES ARTS DE SANT CARLES

**Anexo al Trabajo de Fin de Grado y Trabajo de Fin de Máster:  
Relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la agenda 2030.**

En este trabajo, se ha tenido en cuenta la inclusión de algunos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), adoptados por las Naciones Unidas en 2015. La propuesta de intervención realizada promueve el bienestar y la salud del restaurador, en línea con el ODS 3. También destaca la relevancia de la conservación preventiva, que se relaciona con el ODS 12, que promueve la gestión sostenible de los recursos y la reducción del desperdicio.

La propuesta de utilizar quitosán como posible intervención sostenible se relaciona con el ODS 9, que promueve la innovación. Además, contribuye al ODS 11, que se centra en la protección del patrimonio y el respeto al medio ambiente, al utilizar un material biodegradable y no tóxico. Las propiedades del quitosán, como su biodegradabilidad, se alinean con el ODS 13, que busca reducir la contaminación ambiental mediante el uso de sustancias biodegradables.