

Desafíos en el Desarrollo Sostenible de un mundo en crisis

Jesús Verdú Baeza (Director)

IX Encuentro Internacional Desarrollo Sostenible

Organizado por la Fundación
Campus Tecnológico



4. Educación
de calidad



9. Industria,
innovación
e infraestructura



13. Acción
por el clima



Desafíos en el desarrollo sostenible de un mundo en crisis
Encuentro Internacional de Desarrollo Sostenible
Fundación Campus Tecnológico de Algeciras

Política editorial: <https://publicaciones.uca.es/>

Esta obra ha superado un proceso de evaluación, ciega y por pares

Primera edición: 2025

Edita: Editorial UCA

Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz

C/ Doctor Marañón, 3 - 11002 Cádiz (España)

publicaciones@uca.es

<https://publicaciones.uca.es>

© Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cádiz, 2025

© los autores

Comité Científico:

Prof. Jesús Verdú Baeza (Universidad de Cádiz)

Prof.ª María del Mar Cerbán Jiménez (Universidad de Cádiz)

Prof.ª Inmaculada Santiago Fernández (Universidad de Cádiz)

Prof. Charles Gomez O'Brien (Universidad de Gibraltar)

Prof.ª Małgorzata Węgrzak (Universidad de Gdansk)

Maquetación: Eloísa Oliva

ISBN pdf: 978-84-98288-97-1

«Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra»



Esta editorial es miembro de la UNE, lo que garantiza la difusión y comercialización de sus publicaciones a nivel nacional e internacional.

Para volver al índice hacer clic en el número de página

ÍNDICE

PRÓLOGO	5
<i>JESÚS VERDÚ BAEZA</i>	
1. El tercer pilar en la estructura del régimen jurídico internacional en materia de cambio climático: Pérdidas y daños	9
<i>ENRIQUE DEL ÁLAMO MARCHENA</i>	
2. Protección medioambiental y sostenibilidad: resultados de una investigación sobre hábitos de consumo de cápsulas de extracto de hojas de olivo.....	23
<i>PEÑA SÁNCHEZ, A.R.; RUIZ CHICO, J.; JIMÉNEZ GARCÍA, M. Y MARTÍNEZ FIERRO, S.</i>	
3. Arqueología Prehistórica para un desarrollo sostenible en la comarca de La Janda, Cádiz (Arpredesuca)	43
<i>MARÍA LAZARICH GONZÁLEZ; ANTONIO RAMOS-GIL Y VICENTE CASTAÑEDA FERNÁNDEZ</i>	
4. Hacia la descarbonización de la flota pesquera andaluza	59
<i>FÁTIMA CALDERAY CAYETANO; LUCÍA JIMÉNEZ ÁLVAREZ Y VANESA DURÁN GRADOS</i>	
5. Hacia la descarbonización de la industria marítima en el mediterráneo	69
<i>VANESA DURÁN-GRADOS; CATHERINE CABRERA-ESCOBAR; JUAN MORENO-GUTIÉRREZ; RUBÉN RODRÍGUEZ-MORENO Y EMILIO PÁJARO-VELÁZQUEZ</i>	
6. Modelo de Decisión Multicriterio para la Evaluación y Clasificación de Puertos: un análisis de las Terminales de Contenedores en América Latina y el Caribe utilizando las metodologías PCA-TOPSIS.....	79
<i>ADRIANA DEL SOCORRO PABÓN NOGUERA; MARÍA GEMA CARRASCO-GARCÍA; JUAN JESÚS RUIZ-AGUILAR; MARÍA INMACULADA RODRÍGUEZ-GARCÍA; MARÍA DEL MAR CERBÁN JIMÉNEZ E IGNACIO JOSÉ TURIAS DOMÍNGUEZ</i>	
7. Relevancia de la Computación Gráfica en la Ingeniería. Caso de estudio del Modelado Gráfico de Ortomapas de Contaminantes Atmosféricos	91
<i>RODRÍGUEZ-GARCÍA, M.I.; CARRASCO-GARCÍA, M.G.; GONZÁLEZ-ENRIQUE, J. Y TURIAS, I.J.</i>	
8. El método científico en la formación inicial del profesorado de Educación Primaria: el huerto como recurso didáctico para promover una educación de calidad	103
<i>LOLA NARVÁEZ TORRES Y M^a ISABEL BAENA GONZÁLEZ</i>	

9. “Learning by Doing” en las Ingenierías Industrial y Naval de la Universidad de Cádiz	117
<i>SIERRA CASANOVA, C. CRISTINA; CERVERA PAZ, ÁNGEL Y ODRÍGUEZ CORNEJO, VANESSA M.</i>	
10. La Escuela Inclusiva: Inmigración-integración como tema transversal en geometría y el currículo de didáctica de las matemáticas para maestros en formación.....	125
<i>ÁNGEL ENRIQUE SÁNCHEZ COLÍN</i>	
11. Riesgos Psicosociales en la Era Digital: La Educación entre EL DESAFÍO y LA SOLUCIÓN para un Futuro Sostenible	133
<i>BARRENA-MARTÍNEZ, J.; FONCUBIERTA-RODRÍGUEZ, M.J. Y GILABERT-VILLARD, J.L.</i>	
12. La inversión sostenible: una alternativa responsable a los ahorros.....	141
<i>SEBASTIÁN PÉREZ FERRÓN</i>	

PRÓLOGO

JESÚS VERDÚ BAEZA¹

El concepto de desarrollo sostenible ha tenido un contenido y efecto profundamente transformador sobre los modelos de desarrollo de la comunidad internacional desde que se proyectara como referencia global en 1987. Efectivamente, este concepto se impulsa en el marco de la elaboración para Naciones Unidas del informe “Nuestro Futuro Común”, más conocido como *Informe Brundtland*, por ser el apellido de la antigua primera ministra noruega presidenta de la Comisión encargada de la elaboración del informe encargado con el objetivo de analizar, criticar y replantear las políticas de desarrollo económico globalizador.

En este informe se define desarrollo sostenible como aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer sus propias necesidades. Desde 1987 este concepto se va a situar como eje de gran parte de los modelos teóricos de crecimiento y va a servir de referencia a la planificación económica de un gran número de Estados e instituciones.

En realidad, parece que la autoría pudiera ser discutida puesto que este concepto también figura en la obra *Small is Beautiful* del economista e intelectual británico de origen alemán Ernst Friedrich Schumacher publicada en 1973 en la que aboga por la conciencia ambiental, el desarrollo sostenible, la organización de la economía a escala humana y la tecnología intermedia, como instrumentales a la relación amigable entre las personas y su entorno. En cualquier caso, sea cual sea la autoría de este concepto, Schumacher o Brundtland como es generalmente admitido, lo cierto es que desde su origen sacudió conceptualmente los modelos en los que se basaba hasta la fecha el desarrollo que estaban basados exclusivamente en un crecimiento sin límites y con una utilización masiva de recursos que acercaban al planeta a escenarios de importantes crisis ambientales. A partir del *Informe Brundtland*, al menos en un plano teórico, junto al factor económico, aparecen los factores medioambientales y sociales para proporcionar un marco más amplio sobre el que enfocar el modelo de desarrollo: la sostenibilidad. Adicionalmente, la incorporación de los derechos de las generaciones futuras como elemento clave en la conceptualización del concepto de desarrollo sostenible va a tener efectos profundamente disruptivos sobre los modelos de desarrollo tradicionales que carecían de una proyección futura centrándose exclusivamente en la utilización de recursos en el presente ignorando las consecuencias futuras de la explotación sin límites de recursos.

¹ Coordinador de la Fundación Campus Tecnológico de Algeciras. Profesor Titular de Derecho Internacional Público y Relaciones Internacionales de la Universidad de Cádiz

No obstante, no debemos olvidar que este concepto, basado en un modelo teórico de equilibrio entre los citados factores económico, social y medioambiental dista mucho de aplicarse en la práctica que generalmente ha mantenido hasta la fecha, salvo excepciones, un modelo depredador y consumidor masivo de recursos que ha arrastrado al planeta a una crisis medioambiental sin precedentes además de crear sociedades profundamente desiguales germen de graves crisis sociales y políticas extendidas por casi todo el planeta.

A pesar de ello, es destacable el papel de las Naciones Unidas como eje del sistema internacional para impulsar como referencia el modelo de desarrollo sostenible y así en septiembre de 2015, promovió una nueva agenda de desarrollo sostenible a los Estados miembros con un plan aparentemente factible y realista para alcanzarlo: la Agenda 2030 y sus diecisiete Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), con ambiciosas metas señaladas para 2030 como año de referencia y que abarcan las repetidas tres dimensiones del desarrollo sostenible: la economía, el desarrollo social y el medio ambiente y que suponen básicamente un llamamiento universal para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar que para el 2030 todas las personas disfruten de paz y prosperidad. Estos diecisiete objetivos están integrados e interconectados: reconocen que la acción en un área afectará los resultados en otras áreas y que el desarrollo debe equilibrar la sostenibilidad social, económica y ambiental y están diseñados para acabar con la pobreza, el hambre, el sida y otras enfermedades epidémicas y la discriminación contra mujeres y niñas.

Lo cierto es que en los últimos años hay una importante corriente que pone en cuestión tanto el modelo de desarrollo sostenible como los Objetivos de Desarrollo Sostenible impulsados desde Naciones Unidas que se han convertido en objetivo de las críticas de estos sectores ultraconservadores, especialmente activos desde la victoria de Trump en las elecciones presidenciales de Trump en noviembre de 2024. Por todo ello, en un contexto político complejo y hostil, las aportaciones desde todos los ámbitos científicos adquieren una mayor relevancia y por ello, deben ser difundidas al conjunto de la ciudadanía.

En este contexto, el Encuentro Internacional de Desarrollo Sostenible de la Fundación Campus Tecnológico de Algeciras (FCTA), junto con la Universidad de Cádiz (UCA), nace con el principal objetivo de promover los conceptos de Desarrollo Sostenible y la Economía Circular desde el pensamiento holístico, la innovación y la internacionalización.

De este modo, esta iniciativa que se puso en marcha en 2016 pretende servir de punto de encuentro entre los agentes principales (Personas, Gobernanza, Ciencia y Educación) para avanzar hacia los Objetivos de Desarrollo Sostenible, también conocidos como Objetivos Mundiales, que, como hemos citado anteriormente, tienen por finalidad adoptar medidas que permitan poner fin a la pobreza, proteger el planeta, así como mantener la paz y la prosperidad.

En cada nueva edición se eligen entre tres y seis Objetivos de Desarrollo Sostenible, seleccionados entre los 17 ODS, para ser abordados en un evento que se estructura en sesiones de ponencias, impartidas por expertos e investigadores en la materia, así como comunicaciones, debates, exposiciones, premios y otras actividades. Básicamente se trata de un evento en el que la Fundación Campus Tecnológico de Algeciras asume su responsabilidad de constituirse en un espacio de reflexión, debate e investigación en

el que se abre la oportunidad de proporcionar ideas y herramientas viables orientadas hacia un modelo de desarrollo sostenible.

La IX edición de estos Encuentros de Desarrollos Sostenible de la FCTA se celebró en Algeciras los días 28 y 29 de noviembre de 2024 y se abordaron con carácter preferente tres de los Objetivos de Desarrollo Sostenible: Educación de calidad (ODS 4), Industria, Innovación e Infraestructura (ODS 9), y Acción por el clima (ODS 13) en tres módulos de debate y presentación de ponencias y comunicaciones.

El primer módulo, Industria, Innovación e Infraestructura (ODS 9), fue moderado por la profesora María del Mar Cerbán Jiménez, Profesora Titular de Economía Aplicada de la Universidad de Cádiz y Directora del Máster Interuniversitario Oficial en Logística y Gestión de Operaciones de la Universidad Internacional de Andalucía con varias intervenciones destacables, entre otras, de investigadores del Grupo de Investigación Eficiencia Energética en el Transporte Marítimo de la Universidad de Cádiz, del Grupo de Investigación Modelado Inteligente de Sistemas de la Universidad de Cádiz y del Grupo de Investigación Ingeniería Estructural y Geotécnica de la Universidad de Cádiz así como representantes de la Autoridad Portuaria Bahía de Algeciras.

El segundo módulo, Educación de calidad (ODS 4), fue moderado por la profesora Inmaculada Santiago Fernández, Profesora Titular de Ingeniería Química y Tecnología de Alimentos y Delegada de la Universidad de Cádiz en el Centro adscrito de Magisterio Virgen de Europa con participantes de la Asociación Amigos de la Ciencia, Instituto Europeo de Sostenibilidad en Gestión, del Grupo de Investigación Cátedra de Estudios Jurídicos y Económicos del Campo de Gibraltar y otros investigadores del Centro de Magisterio.

Finalmente, el tercer módulo estuvo dedicado a Acción por el clima (ODS 13) estuvo moderado por Jesús Verdú Baeza, Profesor Titular de Derecho Internacional Público y Relaciones Internacionales y Coordinador de la FCTA. En esta última sesión, intervinieron representantes del Grupo de Investigación Centro de Estudios Internacionales y Europeos del Área del Estrecho de la Universidad de Cádiz, del Grupo de Investigación Economía de la Innovación y el Transporte de la Universidad de Cádiz y el Responsable de Gestión de Emisiones de CO₂ del Área de Estrategia y Sostenibilidad de Moeve. El encuentro finalizó con una conferencia de clausura a cargo de Brenda Chávez, periodista, escritora, conferenciante e investigadora especializada en consumo, sostenibilidad y cultura con el título *Horizontes de cambio: Innovación, sostenibilidad y consumo sostenible*.

Esta publicación recoge doce textos con algunas de las mejores intervenciones presentadas en el Encuentro Internacional de Desarrollo Sostenible de la Fundación Campus Tecnológico de Algeciras en los tres módulos dedicados a los Objetivos de Desarrollo Sostenible 4, 9 y 13 seleccionados por el Comité Científico y que por su interés se ha decidido que queden publicadas en esta obra de la Editorial UCA que pretende que estas contribuciones sirvan como aportación en diferentes ámbitos científicos hacia ese modelo de desarrollo sostenible que hoy, más que nunca, debe ser la referencia necesaria e ineludible en contraste con un tipo de desarrollo depredador de recursos que está conduciendo al planeta hacia una peligrosa crisis global.

En Algeciras, abril de 2025.

EL TERCER PILAR EN LA ESTRUCTURA DEL RÉGIMEN JURÍDICO INTERNACIONAL EN MATERIA DE CAMBIO CLIMÁTICO: PÉRDIDAS Y DAÑOS

Enrique DEL ÁLAMO MARCHENA¹

1. INTRODUCCIÓN – 2. EL RÉGIMEN JURÍDICO INTERNACIONAL EN MATERIA DE CAMBIO CLIMÁTICO – 3. PÉRDIDAS Y DAÑOS – 4. CONCLUSIONES.

Resumen

Cuando la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, en 1992, dio comienzo al régimen jurídico internacional en materia de cambio climático, había dos pilares en la lucha frente a este fenómeno; la mitigación y la adaptación. En los siguientes años, como consecuencia de la falta de concreción de las Partes en ambas materias, los efectos adversos del cambio climático comenzaron a aumentar de manera paulatina, tanto en frecuencia, como en magnitud por su poder de destrucción, siendo los mayores damnificados los países en vías de desarrollo. Este agravio compartido por los países vulnerables sirvió como causa común para lograr, tras una reivindicación histórica, el reconocimiento de un tercer pilar para englobar aquellas manifestaciones, actuales o potenciales, que impactan en los sistemas naturales y humanos de los países en vías de desarrollo, para los que no es posible las medidas de mitigación y adaptación: las pérdidas y daños. El presente trabajo tiene como objetivo hacer una primera aproximación sobre la estructura tridimensional (en concreto, las pérdidas y daños) del régimen jurídico internacional en materia de cambio climático y trasladar su relevancia como escenario de cooperación internacional donde avanzar en el desarrollo y cumplimiento de la acción climática.

Palabras clave: cambio climático; pérdidas y daños; desarrollo sostenible; derecho internacional del medio ambiente; crisis climática.

Abstract

When the United Nations Framework Convention on Climate Change, in 1992, initiated the international legal regime on climate change, there were two pillars in the fight against this phenomenon: mitigation and adaptation. In the following

¹ Investigador UCA-FPI y Doctorando en Derecho Internacional Público y Relaciones Internacionales, Universidad de Cádiz. enrique.delalamo@uca.es. Grupo de investigación «Centro de Estudios Internacionales y Europeos del Área del Estrecho» –SEJ 572– IP, Dr. Alejandro del Valle Gálvez, Catedrático de Derecho Internacional Público y Relaciones Internacionales, Universidad de Cádiz.

years, as a consequence of the Parties' lack of concrete action on both issues, the adverse effects of climate change began to increase gradually, both in frequency and in the magnitude of its destructive power, with developing countries being the main victims. This grievance shared by vulnerable countries served as common cause to achieve, after a historical claim, the recognition of a third pillar to encompass those manifestations, actual or potential, that impact on the natural and human systems of developing countries, for which mitigation and adaptation measures are not possible: loss and damage. The aim of this paper is to take a first look at the three-dimensional structure (specifically, loss and damage) of the international legal regime on climate change and to convey its relevance as a scenario for international cooperation in which to advance the development and implementation of climate action.

Keywords: climate change; loss and damage; sustainable development; international environmental law; climate crisis.

1. INTRODUCCIÓN

El 25 de septiembre de 2015, la Asamblea General de Naciones Unidas, en su septuagésimo período de sesiones, aprobó la Resolución 70/1, Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. A través de la denominada “nueva Agenda universal”, la Asamblea General encomendó el Objetivo 13, “Acción por el Clima” a la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), identificándola como el foro y espacio de negociación y cooperación internacional en materia de cambio climático, siendo la única mención expresa a un organismo en todo el documento, reconociéndola como el régimen jurídico sectorial a aplicar en dicha materia².

La importancia que revistió el momento de la adopción de la Agenda 2030 se explica, tal y como señala Ángel J. Rodrigo, porque fue el resultado de dos procedimientos que confluyeron desde posiciones de salida diferentes³. Así, por un lado, el primer procedimiento se refiere al resultado del progreso de las grandes cumbres relativas a la protección del medio ambiente y de desarrollo sostenible, cuyo punto de confluencia fue la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible (Río+20) de 2012⁴. Por otro lado, el segundo procedimiento fue la consecuencia de la evaluación de los éxitos alcanzados respecto a los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM)⁵ elabo-

2 Véase: Doc. A/RES/70/1, de 25 de septiembre de 2015.

3 Rodrigo, A.J. (2022) «El valor normativo de la Agenda 2030», en Fernández Liesa, C., López-Jacoiste Díaz, E., Oliva Martínez, J. (Dir.), Díaz Galán, E. (Coord.) *El derecho internacional, los ODS y la comunidad internacional*, Dykinson, Madrid, págs. 58-59.

4 En dicha Conferencia, se adoptó el documento final *El futuro que queremos*, en el cual se enuncia de forma sistematizada la política pública global de la comunidad en los diversos ámbitos materiales que forman parte del desarrollo sostenible, y, además, se integra la tarea de formular unos Objetivos de Desarrollo Sostenible que sería el germen de la incorporación de tales objetivos en el centro de la agenda internacional. Véase: Doc. A/RES/66/288, de la Asamblea General, de 27 de julio de 2012.

5 Véase: Doc. A/RES/55/2, de 13 de septiembre de 2000.

rada durante la primera década de los 2000, concretamente a partir del año 2013, y de la puesta en marcha de una nueva agenda de desarrollo en el seno de Naciones Unidas para el periodo posterior a 2015 en la que el desarrollo sostenible iba a ocupar un espacio central⁶.

Lo anterior, siguiendo el análisis de Ángel J. Rodrigo, ha sido determinante ya que ambos procesos convergieron en una única agenda de desarrollo en el seno de Naciones Unidas para el actual período 2015-2030, cuyo núcleo es el desarrollo sostenible y en la que tienen un rol esencial los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). De este modo, la Agenda 2030 se construye, por un lado, sobre los ODM, buscando reforzar aquéllos que no se lograron, y, por otro lado, se cimenta en los resultados y compromisos asumidos en las grandes conferencias y cumbres de las Naciones Unidas relativas a la protección del medio ambiente⁷.

Como resultado de lo anterior, no hay duda de que el desarrollo sostenible⁸ y el derecho internacional del medio ambiente tienen un carácter bidireccional que se manifiesta por medio de aportaciones mutuas que pueden calificarse como interacciones sistémicas⁹. Esta confluencia entre el contenido del desarrollo sostenible y los principios y caracteres propios del derecho internacional del medio ambiente, siendo este último un régimen internacional general autónomo en la protección ambiental, ha sido objeto de recelo en la doctrina por el riesgo de que el derecho internacional del medio ambiente caiga en la irrelevancia y sufra una atenuación de su autoridad normativa a causa del desarrollo sostenible¹⁰.

La idea anterior sobre la pérdida de prescriptividad normativa del régimen internacional general sobre protección del medio ambiente, concretamente, el que se refiere al cambio climático, puede ser una de las causas del origen del concepto que va a ser analizado sucintamente en el presente trabajo, como son *las pérdidas y daños*. No obstante, como aspecto previo, conviene que nos detengamos en el estudio pormenorizado del régimen jurídico internacional en materia de cambio climático en aras de una mayor comprensión de conjunto.

6 Véase: Resolución, *Cumplir la promesa: unidos para lograr los Objetivos de Desarrollo del Milenio*, doc. A/RES/65/1, de 22 de septiembre de 2010.

7 Rodrigo, A.J., (2022) «Las relaciones sistémicas entre el desarrollo sostenible y el derecho internacional del medio ambiente: Entre la disolución y la reformulación», *Revista Catalana de Dret Ambiental*, 13(2), págs. 9-10.

8 La expresión y la noción de desarrollo sostenible fueron acuñadas y definidas por la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, organizada por la Asamblea General de Naciones Unidas a finales de 1983, por medio de la Resolución 38/16. En su informe publicado en 1987 con el título *Nuestro futuro común*, conocido como *Informe Brundtland*, se define el desarrollo sostenible como: «el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades». Para un mayor estudio sobre el concepto de desarrollo sostenible en derecho internacional, véase: Rodrigo, A.J., (2015) *El desafío del desarrollo sostenible: Los principios de Derecho internacional relativos al desarrollo sostenible*, Marcial Pons, Madrid.

9 Vid. Rodrigo, A.J., (2022) «Las relaciones sistémicas entre el desarrollo...» *op cit*, págs. 27-35.

10 Véase: Juste Ruiz, J. (2022) «50 años del Derecho internacional ambiental: la participación de la sociedad civil», *Revista Catalana De Dret Ambiental*, 13(2), págs. 12-17, véase: Sands, P., Peel, J. (2018) *Principles of International Environmental Law*, Cambridge University Press, Cambridge (4ª Edición), pág. 48.

2. EL RÉGIMEN JURÍDICO INTERNACIONAL EN MATERIA DE CAMBIO CLIMÁTICO

El régimen normativo internacional que regula el fenómeno del cambio climático está compuesto por una serie de tratados denominados *tratados de protección de intereses generales*, cuya definición tomamos la elaborada por Rodrigo y Abegón (2017) que se refieren como:

«Los tratados multilaterales que tienen por objeto la regulación y protección de intereses generales de la comunidad internacional mediante la creación de algunas normas de interés público de las que se derivan obligaciones de estructura integral que tienen una vocación universal» (pág. 170).

La Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC¹¹) inició, en 1992, el régimen jurídico internacional en dicha materia, como respuesta al desafío ambiental. Dicha Convención fue consecuencia de la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, celebrada en Río de Janeiro, Brasil, del 3 al 14 de junio de 1992¹² y, a su vez, del esfuerzo y la iniciativa de organizaciones internacionales, como el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC¹³, por sus siglas en inglés), la Organización Meteorológica Mundial (OMM), y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).

A pesar de que el régimen jurídico internacional en materia de cambio climático comenzó su andadura en 1992, es preciso que retrocedamos veinte años atrás, concretamente en junio de 1972, fecha en la que se celebró la Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente Humano, también conocida como Conferencia de Estocolmo¹⁴. Dicho acontecimiento supuso un hito pues tuvo como resultado el nacimiento del derecho internacional del medio ambiente como un régimen general autónomo¹⁵. En el éxito de la celebración de la Conferencia de Estocolmo y de sus logros, principalmente el nacimiento de un régimen internacional general de protección ambiental, tuvieron

11 Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático, hecha en Nueva York (Estados Unidos) el 9 de mayo de 1992, y con entrada en vigor el 21 de marzo de 1994. Naciones Unidas, *Treaty Series*, vol. 1771, p. 107.

12 Resolución A/44/228 de la Asamblea General «Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo», A/RES/44/228 (22 de diciembre 1989), pp. 161-164.

13 El IPCC publicó su Primer Informe de Evaluación en 1990, que constaba de tres partes (Grupo de trabajo I — *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*; Grupo de trabajo II — *Climate Change: The IPCC Impacts Assessment*; Grupo de trabajo III — *Climate Change: The IPCC Response Strategies*). El IPCC, órgano de referencia en relación al cambio climático, fue creado por la Organización Meteorológica Mundial, y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente en 1988. Se configura como un grupo de expertos abierto a todos los miembros de las Naciones Unidas y de la OMM. Su labor consiste en analizar, de manera exhaustiva, objetiva, transparente y abierta la información científica, técnica, y socioeconómica relevante para comprender los elementos científicos del riesgo que supone el cambio climático provocado por las actividades humanas, sus posibles consecuencias y las posibilidades de adaptación y mitigación del mismo. Véase: IPCC, www.ipcc.ch.

14 Informe de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano. Estocolmo, 5 a 16 de junio de 1972, A/CONF.48/14/Rev.1.

15 Véase: Fajardo del Castillo, T. (2024). *La protección del medio ambiente y el desafío climático: 50 años después de la Declaración de Estocolmo*, Dykinson, Madrid.

un papel primordial la movilización de la sociedad civil¹⁶, y el avance y conocimiento científico, siendo este último un elemento esencial en el progresivo desarrollo del régimen jurídico internacional en materia de cambio climático¹⁷.

Así, el régimen jurídico internacional en materia de cambio climático es fruto de la evolución del derecho internacional del medio ambiente, iniciado con la Declaración de Estocolmo en 1972 y sus 26 Principios.

El fenómeno del cambio climático, como una realidad que inquietaba a la comunidad internacional, quedaba constatada en el preámbulo de la CMNUCC, en la que se reconocían a los cambios, de origen antropogénico, en el clima de la Tierra como «una preocupación común de toda la humanidad», que requería de un esfuerzo a nivel global para atenuar sus efectos. Así, la CMNUCC se constituyó como el primer instrumento jurídico internacional en materia de cambio climático, que sentaría las bases y principios sobre el que se desarrollaría la manera de proceder frente a este fenómeno.

El objetivo de la CMNUCC está recogido en el artículo 2, que establece como fin último de la Convención, «la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera a un nivel que impida interferencias antropógenas peligrosas en el sistema climático». De este modo, conviene puntualizar que el objetivo no se refiere a la reducción de las concentraciones de gases de efecto invernadero, sino a la estabilización del nivel de inmisión de dichos gases, permitiendo una estabilidad climática acorde con los estándares de salud para la población. Para su consecución, la Convención recoge, en el artículo 3, una serie de principios jurídicos junto a guías de actuación, entre las que destacamos el principio de responsabilidades comunes pero diferenciadas, el principio de equidad, el principio de precaución, y el derecho al desarrollo sostenible¹⁸.

A través de la Convención, se va a conformar el sistema institucional del régimen jurídico internacional sobre el cambio climático. De este modo, en dicho texto normativo se van a establecer los siguientes órganos y van a quedar recogidas cada una de sus funciones: en primer lugar, la Conferencia de las Partes, como órgano supremo de la presente Convención, cuyas funciones vienen previstas en el artículo 7, siguiendo, en segundo lugar, con la Secretaría y las atribuciones que se les asigna en el artículo 8. En tercer lugar, se nos presenta el Órgano Subsidiario de Asesoramiento Científico y Tecnológico, cuyas funciones están recogidas en el artículo 8 y, finalmente, en cuarto lugar, el Órgano Subsidiario de Ejecución, con las tareas previstas en el artículo 10.

16 Tal y como señala De Faramiñán Gilbert, el éxito de la celebración, en 1970, de marchas multitudinarias con motivo del Día de la Tierra, a la que se sumaron numerosas ONGs, tuvo un impacto importante en la celebración en 1972 de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano, en Estocolmo. Véase: De Faramiñán Gilbert, J.M. (2022) «El derecho ante los desastres naturales y el cambio climático». *Revista Estudios Jurídicos*. Segunda Época, 22, págs. 23-27.

17 Véase: Giles Carnero, R. (2022) «La Conferencia de Estocolmo y el impulso a la protección jurídica internacional de la atmósfera: De lo transfronterizo a lo global». *Revista Catalana De Dret Ambiental* 13(2).

18 Para una visión general sobre el contenido de estos principios, véase: Giles Carnero, R. (2021) *El régimen jurídico internacional en materia de cambio climático: Dinámica de avances y limitaciones*, Thomson Reuters Aranzadi, Pamplona, págs. 45-46.

La CMNUCC, por su naturaleza, se constituye como un tratado de gestión del riesgo climático planetario. Es decir, se trata de un texto normativo internacional que sienta los principios y marcos de actuación para hacer frente a los efectos del cambio climático, que requerirán de un desarrollo a través de sucesivos instrumentos. Esto atiende a un rasgo característico de los convenios en materia ambiental, que consiste en dividir sus disposiciones en dos bloques o cuerpos separados (núcleo normativo y disposiciones de carácter técnico), con el fin de hacer posible su adaptación a las variaciones que puedan acontecer en el estado de los conocimientos¹⁹.

El Protocolo²⁰ de la CMNUCC se adoptó formalmente durante el curso del tercer periodo de sesiones de la COP, celebrada en Kioto, Japón, en diciembre de 1997. No obstante, dicho instrumento no entró en vigor hasta febrero de 2005, una vez fueron satisfechas las condiciones previstas en su artículo 25. Así, el Protocolo de Kioto se constituyó como el primer tratado de desarrollo de la Convención Marco, cuyas dos grandes aportaciones fueron, en primer lugar, la inclusión de obligaciones específicas de limitación y reducción de gases de efecto invernadero, destinadas a las Partes incluidas en el Anexo I, es decir, los países desarrollados, y, en segundo lugar, el establecimiento de un mecanismo de desarrollo limpio en su artículo 12²¹.

Un aspecto relevante es que la metodología en materia de mitigación del Protocolo de Kioto, que se nutre de la CMNUCC, atiende, como señala Campins Eritja, a un enfoque *top-down*, es decir, prescriptivo, común a la mayor parte de los instrumentos de Derecho internacional del medio ambiente²². A pesar de la fijación de obligaciones cuantificadas de mitigación, conviene aclarar que el Protocolo no ha obtenido los objetivos esperados, evidenciándose que no se trataba del mecanismo de control de emisiones adecuado²³.

19 Tal y como señalan Juste Ruiz y Castillo Daudí; «por una parte se reúnen las disposiciones substantivas que definen las obligaciones de las Partes que constituyen el núcleo normativo del convenio (...) Por otra parte, se agrupan las disposiciones, generalmente de carácter técnico, que responden al estado de los conocimientos en el momento de su celebración, pero que deben ser susceptibles de ser modificadas más fácilmente al compás de la evolución de los conocimientos científicos y técnicos». Véase: Juste Ruiz, J. y Castillo Daudí, M. (2014) *La protección del medio ambiente en el ámbito internacional y en la Unión Europea*, Tirant lo Blanch, Valencia, pág. 68.

20 Protocolo de Kioto a la CMNUCC, adoptado en Kioto (Japón) el 11 de diciembre de 1997, y con entrada en vigor el 16 de febrero de 2005, Naciones Unidas, *Treaty Series*, vol. 2303, pág. 162.

21 Según señala Giles Carnero; «(...) la finalidad de esta figura es triple, de forma que con su puesta en marcha se pretende contribuir al objetivo general del régimen en materia de cambio climático establecido en la Convención Marco al tiempo que facilitar a las Partes del Anexo I el cumplimiento de sus obligaciones de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, y ayudar a los Estados en vía de desarrollo a lograr un desarrollo sostenible». Véase: Giles Carnero, R. (2021) *El régimen jurídico internacional en materia de cambio...*, *op. cit.*, pág. 126.

22 Según Campins Eritja, el enfoque «top down» es; «una planificación centralizada y descendiente de los objetivos y las acciones a realizar, con la fijación de un objetivo cuantificado global de mitigación que se distribuye entre las Partes, que lo asumen de manera obligatoria». Véase: Campins Eritja, M. (2015) «De Kioto a París: ¿evolución o involución de las negociaciones internacionales sobre Cambio Climático?», *Instituto Español de Estudios Estratégicos*, 15, pág. 6.

23 Sobre esto, Viñuales señala que; «el Protocolo de Kioto comporta un problema esencial, a saber, que aún si los compromisos impuestos fueran respetados escrupulosamente éstos serían insuficientes para alcanzar el objetivo de la Convención. La razón principal de esta insuficiencia es la radical diferencia en la situación de diversos países (...) La diferenciación hecha en 1992 se basa en criterios simplistas, ya que distingue sólo dos regímenes jurídicos (con algunas salvedades, por ejemplo, en fa-

Las dificultades para la adopción de un segundo período de compromisos del Protocolo de Kioto marcaron un punto de inflexión en el régimen jurídico internacional en materia de cambio climático²⁴, que se superó con la adopción de un nuevo instrumento legal con un enfoque normativo diferente. Si bien el Acuerdo de París fue adoptado en la COP 21, celebrada en París, en 2015, conviene destacar la importante labor desarrollada por el Grupo de Trabajo Especial sobre la Plataforma de Durban para una acción reforzada, que hizo posible que en la COP 20, celebrada en Lima en 2014, se contara con un primer borrador de acuerdo que permitiría avanzar en las discusiones y adoptar un acuerdo en la COP 21²⁵.

El Acuerdo de París²⁶ se constituye como el primer acuerdo vinculante universal en materia de cambio climático, suponiendo un acuerdo histórico en tanto que aglutina de manera íntegra a la comunidad internacional, frente al objetivo ambicioso de combatir el fenómeno del cambio climático, ajustándose a sus efectos y mediante la dotación de ayudas a los países en vía de desarrollo para su consecución²⁷. Su objetivo central reposa en el mantenimiento del aumento de la temperatura por debajo de los 2°C sobre los niveles preindustriales, limitando el aumento a 1.5°C para minimizar el impacto del cambio climático, reposando su esquema jurídico en la figura de las contribuciones determinadas a nivel nacional (respeto a la capacidad de los Estados en la toma de decisiones), y en los compromisos en un sistema *bottom-up*²⁸.

El presente Acuerdo supone un cambio sustancial de estrategia para hacer frente a los efectos adversos del cambio climático. Se ha optado, en dicho Acuerdo, por una táctica basada en limitar el aumento de la temperatura de la atmósfera, en la cual se aglutinan todos los esfuerzos a desarrollar. Así, atendiendo al análisis de Juste Ruiz, la anterior estrategia, establecida en la Convención, de actuar sobre las causas genera-

vor de países en transición) aplicables a una gama diversa de situaciones nacionales. Aun suponiendo que dicha distinción haya sido pertinente en la época en que fue introducida, el mundo ha cambiado mucho desde entonces». Véase: Viñuales, J. (2009) «El régimen jurídico internacional relativo al cambio climático: Perspectivas y prospectivas», *XXXVI edición del Curso de Derecho Internacional de la Organización de los Estados Americanos (O.E.A.) y del Comité Jurídico Interamericano*, págs. 285-286.

- 24 En la COP 17, celebrada en Doha en 2011, se decidió «iniciar un proceso para elaborar un protocolo, otro instrumento jurídico o una conclusión acordada con fuerza legal en el marco de la Convención que sea aplicable a todas las Partes, por conducto de un órgano subsidiario (...) que se denominará “Grupo de Trabajo Especial sobre la Plataforma de Durban para una acción reforzada”». Véase: Decisión 1/CP.17, *Establecimiento de un Grupo de Trabajo Especial sobre la Plataforma de Durban para una acción reforzada*, FCCC/CP/2011/9/Add.1, pág. 2.
- 25 Decisión 1/CP.20, *Llamado de Lima para la Acción Climática*, FCC/CP/2014/10/Add.1, pág. 1.
- 26 El documento que incorpora el Acuerdo de París se trata de un extenso texto de 139 párrafos en la que se incluyeron aclaraciones y concesiones relativas al mismo. Véase: Decisión 1/CP.21, *Aprobación del Acuerdo de París*, FCCC/CP/2015/10/Add.1.
- 27 Tal y como señala Verdú Baeza, «El Acuerdo reconoce la importancia de evitar, reducir al mínimo y atender a los daños y perjuicios debidos a los efectos adversos del cambio climático y admite la necesidad de cooperar y mejorar la comprensión, actuación y apoyo en diferentes campos, tales como los sistemas de alerta temprana, preparación para emergencias y seguro contra los riesgos». Véase: Verdú Baeza, J. (2017) «A propósito de la cumbre climática de Marrakech: cuando la solución empieza a ser parte del problema», *Revista electrónica de estudios internacionales (REEI)*, pág. 11.
- 28 El enfoque *bottom-up*, «mucho más descentralizado y de carácter ascendente, en el que resultan esenciales los compromisos de mitigación que unilateralmente asumen las Partes, conforme a sus circunstancias y prioridades nacionales». Véase: Campins Eritja, M. «De Kioto a París: ¿evolución o involución de las negociaciones...», *op. cit.*, pág. 6.

doras de las emisiones de gases de efecto invernadero, es renovada por una estrategia basada en la actuación sobre los efectos de las emisiones, recogida en el Acuerdo²⁹.

Otra novedad que incorpora el Acuerdo de París es un cambio de enfoque normativo, estableciendo un modelo flexible y dinámico, aplicable a todas las Partes, combinando elementos obligatorios con elementos voluntarios en un escenario progresivo dirigido a fomentar una acción amplificada global³⁰. Juste Ruiz lo ha denominado «cambio de paradigma normativo», distinguiendo tres rasgos innovadores del régimen introducido por el Acuerdo de París; en primer lugar, la vocación de globalidad, siendo de aplicación a todas las Partes, ampliándose a todas las esferas y no únicamente a la mitigación. El segundo rasgo es la flexibilidad jurídica que combina un marco jurídico de obligado cumplimiento, con disposiciones determinadas cuyo valor jurídico va desde la obligatoriedad formal a la mera proposición de comportamiento. El último rasgo es la progresividad, basado en el principio de no regresión, que incorpora el Acuerdo de París para todo su contenido³¹.

Por consiguiente, el régimen jurídico internacional en materia de cambio climático presenta un nuevo sistema institucional que se ha ido desarrollando a través de tres fases graduales, los instrumentos jurídicos, brevemente analizados anteriormente: la CMNUCC de 1992, el Protocolo de Kioto de 1997, y el Acuerdo de París de 2015. Si bien el Acuerdo de París mantiene una relación de dependencia con la CMNUCC, dicho Acuerdo cuenta con algunos rasgos de autonomía, y hay indicios para creer que será el instrumento principal y de referencia para el desarrollo del sistema global para hacer frente al cambio climático³².

3. PÉRDIDAS Y DAÑOS

El inicio del régimen jurídico internacional en materia de cambio climático, a través de la CMNUCC, adoptada en 1992, y en vigor desde 1994, cuenta desde su origen con dos instrumentos o *pilares* en la lucha frente al cambio climático: la mitigación³³ y la adaptación³⁴. No obstante, como resultado de la falta de concreción de las Partes en ambas materias, los efectos adversos del cambio climático comenzaron a aumentar de manera

29 Véase: Juste Ruiz, J. (2018) «El tercer pilar del régimen internacional para responder al cambio climático: El Acuerdo de París de 2015», en Borrás Pentinat, S. y Villavicencio Calzadilla, P. (Eds.). *El Acuerdo de París sobre el cambio climático: ¿Un acuerdo histórico o una oportunidad perdida? Análisis jurídico y perspectivas futuras*, Thomson Reuters Aranzadi, Pamplona 2018, págs. 33-34.

30 Para una visión general sobre este un nuevo paradigma, véase: Bodansky, D. (2016) «The Paris Climate Change Agreement: A New Hope?». *AJIL-American Journal of International Law*, vol. 110.

31 Véase: Juste Ruiz, J. (2018) «El tercer pilar del régimen internacional para...», *op. cit.*, págs. 36-38.

32 Véase: Fajardo del Castillo, T. (2018) «El Acuerdo de París sobre el cambio climático: sus aportaciones al desarrollo progresivo del Derecho internacional y las consecuencias de la retirada de los Estados Unidos», *Revista Española de Derecho Internacional*, vol. 70/1.

33 Artículos 3.3 (Principios), y 4.1 letra b y f (Compromisos) de la CMNUCC.

34 Artículo 4.1 letra b y e (Compromisos) de la CMNUCC. Si bien es importante hacer mención a que, desde la COP 16, que se celebró en Cancún, México, del 29 de noviembre al 10 de diciembre del 2010, se aprobaron los llamados Acuerdos de Cancún, que supuso un impulso en el ámbito de la adaptación por medio de la creación de un Marco de Adaptación y de un Fondo Verde para la Adaptación. Véase: Decisión 1/CP. 16, *Acuerdos de Cancún: resultado de la labor del Grupo de Trabajo Especial sobre la cooperación a largo plazo en el marco de la Convención*, FCCC/CP/2010/7/Add.1.

paulatina, tanto en frecuencia, como en magnitud por su poder de destrucción, siendo los mayores damnificados los países en vías de desarrollo. Este agravio compartido por los países vulnerables sirvió como causa común para lograr, tras una reivindicación histórica, el reconocimiento de un tercer pilar para englobar aquellas manifestaciones, actuales o potenciales, que impactan en los sistemas naturales y humanos de los países en vías de desarrollo, para los que no es posible las medidas de mitigación y adaptación: las pérdidas y daños.

Reconociendo la importancia que suponen la mitigación y adaptación en la lucha frente al cambio climático, nos centraremos, por motivos del objetivo del presente trabajo, en arrojar luz sobre el contenido y la proyección del concepto de daños y pérdidas dentro del régimen jurídico internacional en materia de cambio climático.

Conviene comenzar con la idea de que el elemento de pérdidas y daños no estaba previsto ni en la CMNUCC ni en el Protocolo de Kioto, siendo este fruto de las labores de la Conferencia de las Partes (COP)³⁵, que culminaron con su reconocimiento expreso en el Acuerdo de París, por medio del Mecanismo Internacional de Varsovia (WIM, por sus siglas en inglés).

La COP se constituye como el órgano rector y garante de la aplicación de la CMNUCC³⁶, y, a su vez, como supervisor, lo que le otorga un protagonismo sustancial y decisivo en la interpretación de la Convención. Si bien, como hemos dicho, las pérdidas y daños no estaban recogidas en la CMNUCC, dicha posibilidad surge como consecuencia de las funciones y facultades que le son atribuidas a la COP, destacando la de establecer los órganos subsidiarios necesarios para la aplicación eficaz de la Convención³⁷, y el desempeño de las funciones que sean necesarias para la aplicación del Acuerdo³⁸. De este modo, en el seno de la COP se lleva a cabo un análisis de la buena marcha, aplicación e implementación de los instrumentos internacionales a los que se encuentran sujetos. Es decir, dicho órgano ejerce, asimismo, una función de desarrollo de los tratados primarios. Además, los compromisos adquiridos por las Partes en dichos instrumentos legales primarios requieren de una serie de previsiones para su efectiva implementación que serán decididas durante la COP, valiéndose éste de una función, o fase extendida, de negociación de los tratados.

Con la celebración de la COP 19, que tuvo lugar en Varsovia, Polonia, del 11 al 23 de noviembre de 2013, se estableció, tal y como quedó recogido en la COP 18 de Doha³⁹, un mecanismo específico con relación al instrumento de pérdidas y daños, que se de-

35 A efectos del presente estudio, cuando nos referimos a la COP hay que tener presente, desde el Acuerdo de París, la existencia de tres órganos de aplicación diferentes en la composición del sistema institucional del régimen jurídico internacional del cambio climático. Dichos órganos se reúnen conjuntamente y actúan en unidad de acto. De este modo, la COP de la CMNUCC opera también como Reunión de las Partes en el Protocolo de Kioto (MOP), y como Reunión de las Partes en el Acuerdo de París (CAP).

36 Art. 2 del CMNUCC, y Art. 16.1 del Acuerdo de París.

37 Art. 7.2, letra «i» de la CMNUCC, y Art. 16.4, letra «a» del Acuerdo de París.

38 Art. 16.4, letra «b» del Acuerdo de París.

39 Véase: Decisión 3/CP.18, *Enfoques para hacer frente a las pérdidas y los daños asociados a las repercusiones del cambio climático en los países en desarrollo que son particularmente vulnerables a sus efectos adversos con el fin de mejorar la capacidad de adaptación*, FCCC/CP/2012/8/Add.1.

nominó Mecanismo Internacional de Varsovia para Pérdidas y Daños asociados con los Impactos del Cambio Climático⁴⁰. La COP 21, celebrada en París, Francia, del 30 de noviembre al 12 de diciembre de 2015, supuso un cambio cualitativo para las pérdidas y daños, ya que, por primera vez en la historia del régimen jurídico internacional en materia de cambio climático, el tratamiento de pérdidas y daños fue incluido en la parte dispositiva de un tratado internacional, en este caso, del Acuerdo de París. Concretamente, en el artículo 8, las partes reconocen la importancia de evitar, minimizar y hacer frente a las pérdidas y daños asociados a los efectos del cambio climático, incluidos aquellos fenómenos extremos y de evolución lenta⁴¹.

Seguidamente, en el apartado 2 del artículo 8, se reconoce al Mecanismo Internacional para las Pérdidas y Daños como el instrumento a quien se le encomienda la realización de dichas funciones, pudiéndose mejorar y fortalecer, según determine la COP. Esta alusión es relevante, puesto que, como indica Borràs Pentinat, el Acuerdo de París reconoce las pérdidas y daños como el «tercer pilar de la CMNUCC», junto con la mitigación y la adaptación⁴². Es decir, las pérdidas y daños, institucionalizadas por medio del Mecanismo Internacional de Varsovia van a constituirse como el tercer medio para hacer frente a los efectos adversos del cambio climático.

En cuanto al concepto de pérdidas y daños, centrándonos en el régimen jurídico internacional en materia de cambio climático, dicho término se acuñó, por vez primera, en el Plan de Acción de Bali, en el marco de la COP 13, celebrada en la ciudad de la que acuñó su nombre, en el que se pidió la adopción de «estrategias de reducción de desastres y medios para abordar las pérdidas y los daños asociados con los impactos del cambio climático en los países en vías de desarrollo que son particularmente vulnerables a los efectos adversos del cambio climático»⁴³. En este punto, el conjunto de países vulnerables encontró en dicho concepto una causa común, liderada por el G77, en adelante, como un nuevo elemento para hacer frente a aquellos impactos que no podían ser tratados únicamente por acciones de mitigación y adaptación⁴⁴. Esta iniciativa vino precedida del Cuarto Informe de evaluación, publicado por el IPCC a mediados de 2007, instando a la «necesidad de adaptarse a los impactos futuros del calentamiento

40 El concepto de daños y pérdidas se institucionalizó por medio de la Decisión 2/CP.19, en la que se estableció el Mecanismo Internacional de Varsovia para Pérdidas y Daños, como el principal instrumento en el marco de la Convención para abordarlas, promoviendo la implementación de enfoques desde un punto de vista integral, de manera integrada y coherente. Véase: Decisión 2/CP.19, *Mecanismo internacional de Varsovia para las pérdidas y los daños relacionados con las repercusiones del cambio climático*, FCCC/CP/2013/10/Add.1, págs. 7-9.

41 Artículo 8.1 del Acuerdo de París.

42 Véase: Borràs Pentinat, S. (2018) «El mecanismo de pérdidas y daños: el tercer pilar del Acuerdo de París», en Borràs Pentinat, S. y Villavicencio Calzadilla, P. (Eds.), *El Acuerdo de París sobre el cambio climático: ¿Un acuerdo histórico o una oportunidad perdida? Análisis jurídico y perspectivas futuras*, Thomson Reuters Aranzadi, Pamplona, pág. 183.

43 Decisión 1/CP.13, *Plan de Acción de Bali*, FCCC/CP/2007/6/Add.1, pág. 4.

44 Véase: Statements on behalf of the Group of 77 and China by h. e. Ambassador dr. Ibrahim Mirghani Ibrahim, Head of Delegation of the Republic of the Sudan, at the opening and closing plenaries of the ad hoc working group on long-term cooperative action under the Convention (AWGLCA), 2009, pág. 2.

global y aquellos ya en marcha»⁴⁵, siendo determinante en su reconocimiento por todas las partes de la Convención.

El período comprendido entre el Plan de Acción de Bali (COP 13) hasta la adopción del Marco de Adaptación de Cancún (COP 16), estuvo marcado por una etapa de fricción entre los países desarrollados y los países en vías de desarrollo en torno a la concreción del contenido de pérdidas y daños, apreciándose pocos avances al respecto. Ni siquiera en la esperada COP 15, que tuvo lugar en Copenhague, Dinamarca, entre los días 7 al 18 de diciembre de 2009, quedó reflejado ningún avance significativo al respecto, evidenciándose los problemas que habían surgido en las negociaciones entre las partes, siendo la muestra más gráfica el abundante contenido de generalidades en el Acuerdo de Copenhague⁴⁶. En las reuniones climáticas previas a la COP 16, que se celebraron en Bonn, en 2010, Borràs Pentinat señala la disidencia de la Unión Europea y Canadá frente a la posibilidad de la creación de nuevas instituciones en el marco de la CMNUCC, con respecto a pérdidas y daños⁴⁷.

Si bien en la COP 16, que tuvo lugar en Cancún, se aprobó un programa de trabajo de dos años, con la finalidad de avanzar en la comprensión de las pérdidas y daños⁴⁸, debemos de dirigirnos al Órgano Subsidiario de Implementación de la CMNUCC, para encontrar una definición de pérdidas y daños, que lo define como la manifestación real y/o potencial de los impactos asociados al cambio climático en los países en vías de desarrollo que afectan de manera negativa a los sistemas naturales y humanos⁴⁹. A pesar de la brevedad de la definición, podemos identificar una serie de elementos que nos permite dilucidar un contenido mínimo sobre la misma, y que podemos completar con las diferentes lecturas que se han ido dado por parte de la doctrina.

De las referencias que se han ido produciendo a lo largo de las sucesivas reuniones de las partes en el marco de las COP, cuyo elemento identificador encontramos en la COP 19, celebrada en Varsovia, podemos afirmar que las pérdidas y daños engloba aquello que va más allá de la adaptación, sugiriendo que no hay instrumentos disponibles para la adopción de medidas de prevención. No obstante, debe haber un criterio que nos permita evaluar o dirimir qué impactos ocasionados por el cambio climático sobrepasan la línea roja de los límites físicos de la adaptación⁵⁰. Asimismo, autores como Huq, hacen

45 IPCC, 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R. K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.

46 Decisión 2/CP.15, *Acuerdo de Copenhague*. FCCC/CP/2009/11/Add.1.

47 Véase: Borràs Pentinat, S. (2018) «El mecanismo de pérdidas y daños: el tercer pilar...», *op. cit.*, pág. 177.

48 Decisión 1/CP.16, *Acuerdos de Cancún: resultado de la labor del Grupo de Trabajo Especial sobre la cooperación a largo plazo en el marco de la Convención*. FCCC/CP/2010/7/Add.1, pág. 7.

49 Véase: UNFCCC (2012) *A literature review on the topics in the context of thematic area 2 of the work programme on loss and damage: a range of approaches to address loss and damage associated with the adverse effects of climate change*. FCCC/SBI/2012/INF.14, pág. 4.

50 Para una visión general sobre la distinción entre impactos evitables e inevitables del cambio climático, véase: Mechler, R., Schinko, T. (2016) «Identifying the policy space for climate loss and damage», *Science*, 354(6310), y Roberts, E., Pelling, M. (2016) «Climate change-related loss and damage: translating the global policy agenda for national policy processes», *Climate and Development*.

una distinción entre el concepto de pérdida y daño, siendo el primero aquel impacto cuyos costos de adaptación no se pueden resarcir, y el segundo como aquel cuyo esfuerzo de adaptación es inviable a largo plazo, o directamente imposible⁵¹.

En definitiva, a pesar de las nociones que se dan desde las COP, y las aclaraciones de contenido desarrolladas por parte de la doctrina, Borràs Pentinat plantea, desde un enfoque de justicia distributiva, tres cuestiones conflictivas en relación con las pérdidas y daños; la atribución de fenómenos al cambio climático, la atribución que dirija hacia la responsabilidad, y la atribución que guíe a la compensación⁵². Dicho esto, pese a que existe un desarrollo pendiente sobre esta cuestión, dicha realidad no ha impedido que, paralelamente, a través del Mecanismo Internacional de Varsovia para Pérdidas y Daños, y las COP, se haya ido desarrollando un instrumento para abordar las pérdidas y daños⁵³.

4. CONCLUSIONES

Tras más de cincuenta años desde la Declaración de Estocolmo de 1972, acontecimiento que supuso el nacimiento del derecho internacional del medio ambiente, y casi treinta y cinco años después de la adopción de la CMNUCC en 1992 con la que se daría comienzo al régimen jurídico internacional en materia de cambio climático, los problemas medioambientales siguen ocupando un espacio central dentro de la agenda global, reconociéndose las exigencias de la protección del medio ambiente como una preocupación común de la humanidad. No obstante, tal y como ha sido reconocido por Naciones Unidas, nos encontramos ante un escenario desolador en cuanto a la salud planetaria, constatándose la existencia de tres grandes crisis planetarias que afectan a la totalidad de la comunidad internacional: la crisis climática, la contaminación, y la pérdida de biodiversidad.

En lo que concierne a la evolución y desarrollo del régimen jurídico internacional del cambio climático, hemos podido comprobar que, ante la falta de concreción de las Partes para obligarse y comprometerse en materia de mitigación y adaptación, ha surgido un nuevo elemento —pérdidas y daños— para hacer frente a los impactos asociados al cambio climático en los países en vías de desarrollo que afectan de manera negativa a los sistemas naturales y humanos sobre los que no es posible la adopción de medidas de adaptación, si bien su contenido y ámbito no ha logrado todavía ser desarrollado por las Partes, obstáculo que no ha impedido que, en el marco de las COP, se haya seguido avanzando en los objetivos encomendados al Mecanismo Internacional de Varsovia sobre Pérdidas y Daños.

El agravamiento de las causas que originan el fenómeno del cambio climático (mayoritariamente las de origen antropogénico, como las emisiones de GEI), no debería

51 Véase: Huq, S. (2014) «Loss and damage: a guide for the confused». Responding to climate change, 20 octubre 2014.

52 Véase: Borràs Pentinat, S. (2018) «El mecanismo de pérdidas y daños: el tercer pilar...», *op. cit.*, pág. 172.

53 Sobre la evolución del Mecanismo Internacional de Varsovia en las sucesivas COP, véase Del Álamo Marchena, E. (2023) «La comunidad internacional ante el reto de la movilidad humana en el contexto del cambio climático: Las cumbres del clima», en Fernández Arribas, G. (Dir.) *Cambio climático y desplazamientos: El Sahel como caso de estudio*, Thomson Reuters Aranzadi, Pamplona, págs. 37-65.

hacernos perder la esperanza sobre el régimen jurídico internacional en materia de cambio climático, siendo sus máximos exponentes la CMNUCC y el Acuerdo de París. Tal y como ha quedado patente, en lo que respecta a pérdidas y daños, la alusión expresa a los fenómenos meteorológicos extremos y de evolución lenta, identifica el hecho sobre el que la Partes deberían diseñar las respuestas para combatir sus efectos.

No obstante, cometeríamos un tremendo error si concentráramos los esfuerzos únicamente en los elementos de reacción o defensa frente a los efectos devastadores del cambio climático. Es esencial que las Partes continúen con el cumplimiento y progresivo reforzamiento de sus compromisos en materia de mitigación y adaptación, desarrollando y velando por los principios plenamente vigentes que fueron consensuados por la comunidad internacional hace más de cincuenta años con la Declaración de Estocolmo de 1972.

A pesar del agotamiento y fragilidad de la prescriptividad normativa del derecho internacional del medio ambiente que parece haberse instaurado en el actual orden internacional, debemos apostar en dicho régimen normativo, y, en este caso, en el régimen jurídico internacional en materia de cambio climático, ya que interrelaciona cumplimiento con evolución, creando un marco de confianza y colaboración entre las Partes que favorece el consenso y el incremento de los esfuerzos agregados.

PROTECCIÓN MEDIOAMBIENTAL Y SOSTENIBILIDAD: RESULTADOS DE UNA INVESTIGACIÓN SOBRE HÁBITOS DE CONSUMO DE CÁPSULAS DE EXTRACTO DE HOJAS DE OLIVO

PEÑA SÁNCHEZ, A.R.; RUIZ CHICO, J.; JIMÉNEZ GARCÍA, M. Y MARTÍNEZ FIERRO, S.¹

1. INTRODUCCIÓN – 2. MARCO TEÓRICO – 3. METODOLOGÍA – 4. RESULTADOS –
5. CONCLUSIONES – 6. BIBLIOGRAFÍA

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, los trabajos científicos en el área de las ciencias sociales vienen experimentando enormes cambios. Aspectos como la sostenibilidad están originando un cambio de paradigma en las investigaciones contemporáneas. Los estudios de ámbito económico y social con la sola pretensión de la búsqueda de la optimización económica y utilitarista van quedando en desuso, si no es con la complementariedad del desarrollo sustentable. Recientemente se considera, cada vez con mayor importancia, el carácter sostenible de la actividad productiva, en un contexto más centrado en las razones medioambientales y sociales que en las propias razones economicistas, tratando de equilibrar entre la actividad humana, la actividad productiva y el entorno en el que éstas se desarrollan.

En el año 2015, la Organización de Naciones Unidas (ONU) aprobó la Agenda 2030 sobre el Desarrollo Sostenible. En este sentido, se creó una nueva senda con la intención de mejorar la vida de las sociedades y los países. Esta Agenda incluye una serie de objetivos globales entre los que encontramos, entre otros, producción y consumo responsables, acción por el clima, proteger el planeta, asegurar la prosperidad de la humanidad o erradicar la pobreza (Pastran, 2021; Hall, 2019; Puig-Cabrera y Foronda-Robles, 2018; Girón, 2016). Cada uno de estos objetivos tiene unas metas específicas cuya intención es que se alcancen en los próximos 6 años. Este conjunto de objetivos se ha agrupado en

1 Departamento de Economía General de la Universidad de Cádiz; (2) Departamento de Organización de Empresas de la Universidad de Cádiz.

Este trabajo ha sido financiado con el Proyecto «TED2021-131822B-I00» del MCIN/AEI/10.13039/501100011033 y la Unión Europea NextGenerationEU/PRTR. Los resultados obtenidos también se enmarcan dentro del proyecto europeo IM-PACK. Este proyecto forma parte del programa PRIMA apoyado por la Unión Europea.

los denominados 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), con el propósito de establecer un mundo con mejoras y comodidades necesarias no sólo para las generaciones actuales, sino también para las futuras generaciones (Naciones Unidas, 2019). Y en este camino, la Unión Europea está poniendo todos sus esfuerzos para conseguir un mundo mejor, no sólo para los habitantes actuales sino también para los habitantes del futuro.

Objetivos como el 2, poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria y la mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible, el 3, garantizar una vida sana y promover el bienestar para todos en todas las edades, el 12, garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles, y el 13, adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos, son, entre otros, grandes pretensiones que se desean lograr para mejorar la salud y bienestar del mundo y reducir la contaminación y la consiguiente externalidad negativa que ello genera. En efecto, el consumo no sostenible produce contaminación y degrada el medioambiente, por lo que resulta necesario actuar desde la raíz, y apostar por sistemas de producción que sean sostenibles y que respeten el entorno. Es más, se entiende que todas las personas deben elegir modos de vida sostenibles con la finalidad de contribuir a proteger la naturaleza y detener el cambio climático.

Atendiendo a lo anteriormente establecido, el objetivo de este trabajo es poner de manifiesto la percepción que tienen los potenciales consumidores a la oferta de extractos de hojas de olivo, producto natural que evita la contaminación del medio ambiente. Se pretende, por ende, establecer la posición de los consumidores como demandantes de cápsulas de extracto de olivo, con las propiedades que posee este producto.

Para abordar el objetivo anterior, el trabajo que se presenta cuenta con los siguientes apartados. En la segunda sección se establece el marco teórico o estado de la cuestión del tema a abordar. En la tercera sección se presenta la metodología seguida por los investigadores para tratar de establecer los resultados. En la cuarta sección se exponen los resultados obtenidos en las encuestas realizadas. Y en la quinta sección se presentan las conclusiones obtenidas por el estudio realizado.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Economía Circular en el sector del olivar

El término “economía circular” apareció por vez primera en el libro de Pearce y Turner (1990), en el que distinguen a los sistemas naturales de los económicos por la capacidad de reciclaje de residuos de los primeros (Ugalde, 2021). El concepto de economía circular ha ido tomando forma desde entonces a través de la Cumbre de la Tierra de Río (1992), pasando por el Simposio de Oslo (1994) y la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas (2002) -mediante el Plan de Implementación de Johannesburgo- (Reis Amaro da Luz, 2021). En la actualidad, se puede definir como una economía “restaurativa y regenerativa por diseño, y busca mantener los productos, componentes y materiales en su utilidad y valor máximos todo el tiempo, distinguiendo entre los ciclos técnicos y los biológicos” (FEM, 02 de diciembre, 2015, op. cit. en Ugalde, 2021), y es considerada como un nuevo modelo alternativo de desarrollo (Ugalde, 2021), hasta tal punto que se pueden mencionar medidas europeas como el Plan de Acción de

Economía Circular o, a nivel nacional, el Plan España Circular 2030 (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2022).

Siendo tanto la producción como el consumo de recursos uno de los principales desafíos a los que se enfrentan los gobiernos (Huysman et al., 2015), la economía circular ofrece una respuesta, encontrándose recogida en los ODS 2030, fundamentalmente en el objetivo 12 (producción y consumo responsables), en el que se hace alusión de forma expresa a que los gobiernos deben fomentar las prácticas de economía circular. De hecho, la meta 5 de este objetivo como “de aquí a 2030, reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización” (Naciones Unidas, s.f.). Pero también podemos encontrar referencias al modelo de economía circular en los ODS7, ODS9, ODS6, ODS11 y ODS8 (Panchal et al., 2021).

La economía circular representa un cambio en el modelo de gestión de residuos de la economía lineal ya que implica la reducción al mínimo de estos, creando un valor añadido a través de la reutilización, reparación, renovación o reciclaje de materiales, entre otros (PE, 2023). Tal como indican Barreiro-Gen y Lozano (2020), en la economía circular los residuos se utilizan como recurso cerrando ciclos de materiales a través de diferentes tipos y niveles de recuperación. Hoy día, se utiliza bastante en economía circular el modelo de las 4R's (reducción, reparación, remanufactura y reciclaje), dado que se considera que la economía circular se puede representar por la media de estos cuatro bucles de recuperación (King et al., 2006). Este modelo se completa analizando si la organización reduce, repara, refabrica/reacondiciona y recicla internamente (dentro de la organización) y externamente (fuera de la organización, es decir, en colaboración con otras organizaciones) (Barreiro-Gen y Lozano, 2020).

En la actualidad, la economía circular se está aplicando en ámbitos tan diversos como el turismo (Kiaušienė et al., 2024), las ciudades (Crippa et al., 2023), la inteligencia artificial (Yu y Junjun, 2023) o la industria de la alimentación (Gralak et al., 2022), entre otros. Además de los beneficios propios de la protección medio ambiental y el desarrollo territorial sostenible (González et al., 2022), la implementación del modelo de economía circular conlleva otro tipo de beneficios tales como el incremento de la competitividad, el crecimiento económico, la innovación o la creación de empleo (Parlamento Europeo, 2023), contribuyendo a la paliación del desempleo en el caso de personas con riesgo de exclusión social, ya que algunos de estos puestos de trabajo no requieren un alto grado de capacitación (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2022). Según las previsiones de la Unión Europea, invertir en economía circular podría crear unos 700.000 puestos de trabajo, sólo a nivel UE, de aquí a 2030, suponiendo un crecimiento económico de un 0.5% más en el PIB (Parlamento Europeo, 2023). En el caso español, en 2018 se cifraban unos cuatro millones de puestos de trabajo ligados a la economía circular, representando una participación en el empleo superior a la media de la UE27 (2,04% español frente al 1,72% UE para el año 2017) (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2022).

A nivel sectorial, la economía circular supone una cuestión muy importante, sobre todo, en el sector agroalimentario, que se ha vuelto especialmente consciente del problema de la eliminación y/o reutilización de residuos, que se define mejor como “materias primas secundarias” (SRM, según sus siglas en inglés “secondary raw materials”) (Scarano

et al., 2022). En el caso de las frutas y hortalizas, las pérdidas y los residuos representan el 45% en toda la cadena de suministro, siendo la etapa de procesamiento responsable de hasta el 18% de las pérdidas (Facchini et al., 2023). En 1994, Lyle postuló que cualquier sistema procedente de la agricultura, puede organizarse de forma regenerativa, creando el concepto “Diseño Regenerativo” (citado en Balboa y Somonte, 2014). En este sector, es más adecuado hablar, no obstante, de bioeconomía circular, concepto surgido de la sinergia de economía circular y bioeconomía, que se centra en el uso eficiente de los recursos y se alinea con los principios de la economía circular para reducir la generación de residuos y optimizar la utilización de los recursos (Mesa et al., 2024), pero centrado en un enfoque de recursos renovables de base biológica, es decir, de reemplazo del carbono fósil por biomasa renovable procedente de la agricultura, la silvicultura y el medio marino (Mak et al., 2020). Mediante este enfoque, se reduce la cantidad de residuos y subproductos naturales mediante su conversión en nuevos productos con valor añadido (Dutta et al., 2021; Donner et al., 2020). En este sentido, por ejemplo, ha surgido el concepto de biorrefinería, como una solución para valorizar y reutilizar residuos orgánicos, transformándolos en un producto comercial de mayor valor añadido (Brandão et al., 2021; Mohan et al., 2016). No obstante, para este cambio de modelo en el sector de la agroalimentación es necesaria la oferta de nuevos productos de base biológica que respondan a un modelo de negocio circular y que atiendan a las necesidades de los consumidores (Donner and de Vries, 2021). Es en este marco preciso en el que se desarrolla la presente investigación.

En el caso que nos ocupa, el sector agroalimentario presenta un alto consumo de un recurso bastante escaso en España, el agua. Concretamente, según datos oficiales, en España el 80,9% del agua se usa en la agricultura (Ministerio de Transición Ecológica y el Reto Demográfico, 2024). Centrándonos en las cifras del regadío, el olivar es el segundo grupo de cultivo con mayor superficie de regadío tras los cereales (875.531 ha, un 22,7%) (Ministerio de agricultura, pesca y alimentación, 2021). Además, en los últimos años, el aumento de la superficie de olivar ha sido fundamentalmente en regadío a través de sistemas localizados de riego. En definitiva, el sector del aceite de oliva es un pilar fundamental en el sistema agroalimentario español, siendo España líder mundial en superficie, producción, y comercio exterior. El olivar abarca 2,75 millones de hectáreas y su producción de aceite de oliva supone el 70% de la producción de la UE y el 45% de la mundial, siendo el primer exportador mundial de este producto. Este sector es de vital importancia para la economía, de forma tanto directa, empleando a más de 350.000 personas, con 15.000 empleos en la industria y más de 32 millones de jornales por campaña, como indirecta, a través del tratamiento y distribución de sus subproductos (Ministerio de agricultura, pesca y alimentación, s.f.).

No obstante, también se deben mencionar externalidades negativas como el alto impacto medioambiental no sólo derivado de la contaminación del suelo, del agua o la emisión de CO₂... (Donner et al., 2022), sino también por la gran cantidad de residuos y subproductos generados (Manzanares et al., 2020). En el caso del olivo, se estima a nivel de la UE 11,8 millones de toneladas anuales procedentes únicamente de la poda del olivo (Berbel y Posadillo, 2018), siendo su eliminación difícil y costosa (Galanakis, 2017). Estos residuos (entre los que se encuentran los procedentes de la poda del olivo, a saber, hojas y biomasa) y subproductos del aceite de oliva, se suelen dejar esparcidos en el suelo para fertilización, son quemados, o usados como abono, alimento para animales o

fuentes de calor (Dermeche et al., 2013; Roselló-Soto et al., 2015); sin embargo, también pueden suponer una oportunidad para el sector del aceite de oliva (Gullón et al., 2020), convirtiéndose en productos nuevos de mayor valor añadido, como cemento (Lila et al., 2020), biofertilizantes, aditivos para alimentos, piensos (Donner et al., 2022), o aplicaciones en el sector farmacéutico, la biomedicina y como parte de cosméticos (Otero et al., 2021; Lamas-Muñoz et al., 2019), entre otros usos.

Estos datos dejan patente la necesidad de realizar un uso más eficiente y sostenible de los recursos agrícolas, con el fin no sólo de reducir las externalidades negativas procedentes de su impacto medioambiental sino de crear nuevas externalidades positivas, fruto del aumento de la rentabilidad en la industria del aceite de oliva y del alivio de la carga económica que genera para los productores la gestión de los residuos que generan en su actividad (Donner et al., 2022; Tamasi et al., 2019).

Uno de los principales residuos del cultivo olivarero son las hojas de olivo, especialmente cuando la recogida del cultivo se realiza mecánicamente, casi el 50% de los SRM están representados por hojas, que no tienen valor comercial, pero que tienen un enorme potencial desde el punto de vista de los compuestos funcionales que se pueden obtener (Gullón et al., 2020). Por hojas de olivo se entiende la mezcla de ramas y hojas acumuladas durante los trabajos de poda y cosecha en el olivar, así como en las industrias olivareras después de la limpieza de las aceitunas y antes de su procesamiento (Abaza et al., 2015). Las hojas de olivo son ricas en compuestos bioactivos, que pueden ser extraídos para la obtención de nuevos productos funcionales (Flammini et al., 2019). Así, por ejemplo, en la actualidad, a partir de ellas es posible obtener compuestos con acción nutracéutica como la oleuropeína, un componente antioxidante más presente que en el fruto (Soler-Rivas et al., 2000; De la Ossa et al., 2019 y Romero et al., 2018). A este subproducto se le ha dado, tradicionalmente, usos tanto en el plano de la salud, por los beneficios que aporta (antioxidantes, antiinflamatorios, hipoglucemiantes, antihipertensivos, antimicrobianos, anticancerígenos, gastroprotectores y anticolesterolémico -Ozcan y Matthaus, 2017-), como en el plano alimenticio para enriquecer algún producto (como la mayonesa, por ejemplo) (Coderoni y Perito, 2021) o ha sido utilizado en calidad de conservante (Roselló-Soto et al., 2015). Estos usos van en la línea de los resultados obtenidos por Scarano et al. (2022) que revelaron que los principales sectores en los que se utilizan los SMR son el químico, farmacéutico, alimentario y nutracéutico.

2.2. Comportamiento de la demanda de extractos naturales

En esta investigación se trata de estudiar, como se ha mencionado anteriormente, el aprovechamiento de las hojas del olivo, *Olea europea* (OLE). Las plantas han sido utilizadas por la humanidad durante siglos y han tenido diversas aplicaciones (Veiga et al., 2020). Desde la aparición de las primeras sociedades el hombre ha utilizado las plantas como base de su alimentación e incorporado a su vida cotidiana todos los beneficios que ha obtenido de las mismas. En 1960, se da a conocer el auge de lo natural, inspirado en un movimiento hippie que consistía en motivar a las personas a consumir o utilizar productos naturales (Navarro et al., 2012).

El estudio sobre las propiedades de las plantas se remonta a cientos de años y ha permitido explorarlas no sólo como alimento, sino también para obtener productos no

alimentarios (Veiga et al., 2020). Existen muchas investigaciones sobre la actividad biológica de algunos productos naturales, especialmente sobre su efecto antimicrobiano o antioxidante. Este descubrimiento supone la posible incorporación de esos productos naturales como ingredientes para que otros productos mantengan su capacidad antibacteriana y/o antioxidante (Tayupanta et al., 2020).

Sin embargo, los compuestos biológicos activos presentes en las plantas normalmente no son fácilmente accesibles. Por ello, las plantas han sido objeto de numerosos estudios centrados en la extracción de estos compuestos naturales, así como en la eliminación de las fracciones con menor relevancia biológica, originando extractos que pueden tener diversas aplicaciones (Veiga et al., 2020). En este sentido, se conoce bastante sobre la incorporación de productos o extractos naturales al ámbito de la agricultura (Zulfiqar et al., 2020), alimentación (Munekata et al., 2020; Pardo et al., 2022), cosmética (Hoang et al., 2021), biomedicina (Rahman et al., 2020), industria textil (Yıldırım et al., 2020), salud (Veiga et al., 2020), etc.

Durante las últimas décadas, los estudios epidemiológicos han correlacionado el consumo de productos naturales con efectos beneficiosos para la salud humana (Cavalcanti et al., 2022). Así, desde la pandemia de la COVID-19, la población ha incrementado el consumo de extractos de plantas con diversos beneficios funcionales y efectos inmunoestimulantes, según la Asociación de Extractos de Plantas de Shaanxi. Los extractos naturales se pueden tomar a través de un alimento o bien como complemento alimenticio. En el caso de los extractos de hojas de olivo, se ha comprobado que, entre otras propiedades, son adecuados para controlar la obesidad (Therios, 2008) o mejorar enfermedades cardiovasculares y cáncer (Schwingshackl et al., 2014; Psaltopoulou et al., 2011). En este sentido, se ha demostrado que el consumo regular de extracto de hojas de olivo puede ser útil en el tratamiento y prevención de enfermedades crónicas relacionadas con el estrés oxidativo, infecciones bacterianas o cáncer. De hecho, incluso después de una digestión simulada, el extracto de hoja de olivo mostró actividades antioxidantes, antimicrobianas y antitumorales *in vitro* (Martín-Vertedor et al., 2016).

Si bien hemos puesto de manifiesto que existen investigaciones sobre los beneficios del consumo de los extractos naturales, muy pocos trabajos han analizado la aceptación del consumidor sobre los mismos. Las investigaciones previas han demostrado los beneficios que tiene el consumo directo de dichos extractos ya sea en formato cápsulas, gotas, jarabe... Llegados a este punto, nuestro interés es descubrir si los consumidores estarían dispuestos a adquirir los extractos de hojas de olivo para su consumo. Es decir, si existe interés económico por parte de los productores e intención de compra por parte de los consumidores en este tipo de productos. En este sentido, Ahmed y otros (2022) reconocen que existe una brecha entre la investigación en envases activos y su comercialización.

Aunque existe abundante investigación sobre opciones de tratamiento químico o biotecnológico de residuos y subproductos del aceite de oliva (Galanakis, 2017), los estudios sociales y económicos, incluidas prácticas de gestión empíricas para la valorización de residuos y subproductos, son escasos y casi inexistentes (Donner et al., 2022). Así, sólo unos pocos estudios consideran los aspectos de mercado, requiriéndose más investigación explícita sobre cuestiones económicas, de coordinación y gobernanza. Sólo algunos trabajos han analizado aspectos como las condiciones del marco político-legal

(Inglezakis et al., 2012; Doula et al., 2017), modelos de negocio circulares (Donner y Radić, 2021) y el papel de las prácticas de sostenibilidad en las empresas oliveras familiares percibidos por los consumidores (D’Adamo et al., 2019). El trabajo de Perito y otros (2020) ha analizado la aceptación por parte de los consumidores de los alimentos obtenidos a partir de subproductos del olivo; sin embargo, como indican Donner y otros (2022) no existe ningún estudio socioeconómico sobre la bioeconomía circular en el sector del aceite de oliva que incluya estrategias y condiciones de múltiples actores. Estos autores, presentan una comprensión más detallada de los actores clave en la cadena de valor, sus principales estrategias para la valorización de residuos y subproductos del aceite de oliva y las condiciones socioeconómicas relacionadas más influyentes. Además, proponen políticas y recomendaciones de gestión apropiadas para fortalecer las prácticas de la bioeconomía circular en el sector del olivar a través del análisis de las estrategias y percepciones de las empresas, los agricultores y los consumidores.

3. METODOLOGÍA

La información primaria empleada para realizar esta investigación se obtuvo a través de una entrevista online asistida por ordenador (CAWI), compuesta por un conjunto de preguntas cerradas (dicotómicas, de escala Likert o de elección múltiple), destinadas a conocer la opinión del consumidor sobre la reutilización de residuos de poda en el sector del olivar en forma de extractos naturales con propiedades para la salud. La ficha técnica del estudio aparece recogida en la Tabla 1.

Tabla 1. *Ficha técnica del estudio.*

UNIVERSO	POBLACIÓN ESPAÑOLA DE AMBOS SEXOS DE ENTRE 18 Y 65 AÑOS.
MÉTODO RECOGIDA DATOS	MEDIANTE ENTREVISTA ONLINE ASISTIDA POR ORDENADOR (CAWI). SOBRE PANEL CERTIFICADO. SE HAN INTRODUCIDO PREGUNTAS FILTRO PARA VERIFICAR COHERENCIA EN LAS RESPUESTAS. ENCUESTA CIEGA, SIN DATOS PERSONALES.
TAMAÑO MUESTRAL	800.
PROCEDIMIENTO MUESTREO	SE HA DISTRIBUIDO DE MANERA ALEATORIA ENTRE LOS PANELISTAS Y ATENDIENDO A LAS CUOTAS ASIGNADAS. CUOTAS: GÉNERO, EDAD, COMUNIDAD AUTÓNOMA Y TAMAÑO DE MUNICIPIO, NO CRUZADAS Y PROPORCIONALES A LA POBLACIÓN.
ERROR MUESTRAL	3,5% (95% CONFIANZA; $p = q = 0,5$).
TRABAJO DE CAMPO	1 DE ABRIL – 30 DE MAYO 2024.
DURACIÓN MEDIA ENCUESTA	INFERIOR A 12 MINUTOS.

FUENTE: Elaboración propia.

Como se muestra en la tabla 1, la muestra del estudio está compuesta por consumidores de ambos sexos de entre 18 y 65 años a nivel nacional (se han obtenido respuestas procedentes de las 17 Comunidades Autónomas españolas), un total de 800 personas, lo que permite alcanzar un nivel de confianza del 95% ($p = q = 0,5$) y un error del $\pm 3,5\%$. Se ha empleado un procedimiento de muestreo probabilístico, concretamente un muestreo estratificado sobre un panel certificado, distribuyendo el cuestionario de manera aleatoria entre los panelistas y atendiendo a cuotas asignadas relativas al género, edad, comunidad autónoma y tamaño del municipio, no cruzadas y proporcionales a

la población. Los datos se recopilaban entre abril y mayo de 2024. La distribución de la muestra aparece recogida en las Tablas 2 y 3.

Tabla 2. Distribución de la muestra (I)

GÉNERO	N	%	EDAD	N	%	HÁBITAT	N	%
HOMBRE	400	50,00	18-29	248	31,00	MENOS DE 10.000	165	20,63
MUJER	400	50,00	30-44	200	25,00	10.001-20.000	81	10,13
			45-65	352	44,00	20.001-50.000	135	16,88
						50.001-100.000	98	12,25
						100.001-500.000	190	23,75
						MÁS DE 500.000	131	16,38
TOTAL	800	100,00	TOTAL	800	100,00	TOTAL	800	100,00

FUENTE: Elaboración propia.

Como muestra la Tabla 2, las encuestas por género se han establecido de forma equitativa: mitad de mujeres y mitad de hombres. En cuanto a las edades contempladas, se ha considerado un 31% de personas entre 18 y 29 años, un 25% entre 30 y 44 años, y un 44% entre 45 y 65 años. Según el hábitat, algo más del 20% de los encuestados reside en municipios pequeños de menos de 10.000 habitantes, un 27% en municipios con entre 10.001 y 50.000 habitantes, un 36% en municipios con entre 50.001 y 500.000 habitantes, y algo más del 16% reside en grandes municipios de más de 500.000 habitantes.

Tabla 3. Distribución de la muestra (II)

NIVEL DE ESTUDIOS	N	%	SITUACIÓN LABORAL	N	%	INGRESOS NETOS*	N	%
SIN ESTUDIOS	1	0,13	TRABAJADOR POR CUENTA PROPIA	70	8,75	MENOS O IGUAL DE 900 €	45	5,63
PRIMARIOS	27	3,38	TRABAJADOR POR CUENTA AJENA	487	60,88	ENTRE 901 € Y 1.200 €	58	7,25
SECUNDARIOS	135	16,88	FUNCIONARIO PÚBLICO	51	6,38	ENTRE 1.201€ Y 1.800 €	136	17,00
FORMACIÓN PROFESIONAL	208	26,00	RETIRADO/JUBILADO	33	4,13	ENTRE 1.801€ Y 2.400€	130	16,25
UNIVERSITARIOS	429	53,63	ESTUDIANTE	41	5,13	ENTRE 2.400€ Y 3.000€	132	16,50
			LABORES DEL HOGAR	27	3,38	MÁS DE 3.000€	133	16,63
			EN DESEMPLEO	77	9,63	NS/NC	166	20,75
			OTRA	14	1,75			
TOTAL	800	100,00	TOTAL	800	100,00	TOTAL	800	100,00

* Mensuales de todas las personas que componen el hogar y por todos los conceptos.

FUENTE: Elaboración propia.

La Tabla 3 describe la muestra conforme a otros factores. Según el nivel de estudios, el 3,5% de los encuestados no tiene estudios o cuenta con solo estudios primarios; aproximadamente el 17% cuenta con estudios secundarios, el 26% presenta estudios de formación profesional y más del 50% muestra estudios universitarios. Según la situación laboral, se observa que la gran mayoría de encuestados (61%) trabaja en empresas privadas por cuenta ajena, cerca del 10% está en desempleo y cerca del 9% trabaja por cuenta propia. El nivel de ingresos con el que cuenta la mayoría de los encuestados se encuentra a partir de los 1.200 euros, y dentro de estos, todos los rangos considerados presentan un porcentaje superior al 16%.

Para la elaboración de la encuesta que permita conocer la aceptación, intención de compra, predisposición a pagar, etc., del consumidor, se ha consultado diversa literatura académica, aunque no se ha podido seguir ningún trabajo en concreto dada la especificidad del tema tratado. En este sentido, se han tenido en cuenta trabajos previos como los de Laukkanen (2016), Teng & Lu (2016) y Escobar-López et al. (2017). Además, el cuestionario recoge datos del perfil de la muestra (género, edad, nivel de estudios, situación laboral y nivel de ingresos de la unidad familiar). El cuestionario final se compone de preguntas cerradas dicotómicas y politómicas, en este caso tanto de respuesta única como de respuesta única. También consta de preguntas de escalas de tipo Likert, de 5 puntos, donde 1 significa totalmente en desacuerdo y 5 totalmente de acuerdo.

La validación del cuestionario se realizó con un pequeño grupo de control. Esto permitió redefinir algunos detalles de comprensión y probar el correcto funcionamiento de las preguntas filtro, para verificar la coherencia en las respuestas y el tiempo de respuesta, que fue inferior a doce minutos.

4. RESULTADOS

En primer lugar, la Tabla 4 muestra la frecuencia de consumo de productos y extractos naturales. En ella se aprecia que la mayoría de los encuestados consumen productos naturales ocasionalmente (36,50%) y varias veces por semana (30,25%). No obstante, es necesario resaltar que el 22,38% declara hacerlo diariamente.

Tabla 4. Frecuencia de consumo de productos y extractos naturales.

	PRODUCTOS		EXTRACTOS	
	N	%	N	%
NUNCA	36	4,50	146	18,25
OCASIONALMENTE	292	36,50	459	57,38
UNA VEZ POR SEMANA	51	6,38	40	5,00
VARÍA VECES POR SEMANA	242	30,25	94	11,75
DIARIAMENTE	179	22,38	61	7,63
TOTAL	800	100,00	800	100,00

FUENTE: Elaboración propia.

Con respecto al consumo de extractos naturales, de la Tabla 4 se deduce también que más del 80% de la muestra afirma consumir extractos naturales, de los cuales un 7% lo hace diariamente, un 12% varias veces por semana, un 5% una vez por semana y cerca de un 60 % ocasionalmente.

Tabla 5. *Preferencia de formato de extractos naturales (Respuesta múltiple)*

	N	%
CÁPSULAS, COMPRIMIDOS O PASTILLAS	537	67,13
LÍQUIDO (JARABE O GOTAS)	304	38,00
POLVOS	100	12,50
CARAMELOS	272	34,00
OTROS	67	8,38

FUENTE: Elaboración propia.

Con respecto a la preferencia de la forma de consumo de estos extractos naturales, la tabla 5 recoge que el 67% de los encuestados muestra preferencia por el consumo en cápsulas, comprimidos o pastillas; el 38% lo haría en forma de líquido, ya sea en jarabe o en gotas; el 34% lo haría en caramelos; el 12,5% lo haría en polvos; y una parte residual del 8% lo haría en otro tipo de producto.

La tabla 6 ofrece el grado de acuerdo con algunos enunciados referentes a la familiaridad del encuestado con el extracto de hoja de olivo. Con respecto al conocimiento que tiene la población sobre los productos naturales extraídos del olivo, la mayoría de las personas lo desconoce, estando además muy poco familiarizadas con ellos. Esto hace que el consumo habitual de este tipo de producto esté valorado de manera baja. Aunque, en general, hay una leve tendencia a pensar que es una opción viable para complementar la dieta diaria.

Tabla 6. *Nivel de conocimiento con el extracto de hoja de olivo.*

	MEDIA	DESV
HE ESCUCHADO O LEÍDO ACERCA DEL EXTRACTO DE HOJA DE OLIVO.	1,8788	1,2516
ESTOY FAMILIARIZADO CON EL EXTRACTO DE HOJA DE OLIVO.	1,5325	0,9468
CONSIDERO QUE EL EXTRACTO DE HOJA DE OLIVO ES UNA OPCIÓN VIABLE PARA COMPLEMENTAR MI DIETA.	2,8563	1,2044
CONSUMO DE MANERA HABITUAL EL EXTRACTO DE HOJA DE OLIVO.	1,2875	0,7889

FUENTE: Elaboración propia.

La Tabla 7 presenta los motivos de los consumidores para comprar este tipo de extracto. Los aspectos que más incentivarían la compra de extractos de hojas de olivo serían su uso como producto natural antioxidante (cerca del 54%), antiinflamatorio (más del 60%) y producto contra la hipertensión (el 35%).

Tabla 7. Motivación para comprar extractos naturales de hoja de olivo (Respuesta múltiple).

	N	%
ANTIOXIDANTE	431	53,88
ANTIINFLAMATORIO	511	63,88
CONTRA LA HIPERTENSIÓN	283	35,38
OTROS	44	5,50
NINGUNO, NO LO COMPRARÍA	71	8,88
NS/NC	76	9,50

FUENTE: Elaboración propia

La Tabla 8 ofrece la opinión de los encuestados sobre con qué frecuencia consumirían extracto de hoja de olivo y qué factores consideran importantes para comprarlo. Con respecto a la intención de consumo de extracto de hoja de olivo, se observa que cerca del 90% lo consumiría por las propiedades que pueda tener. De ellos, el 33% de los encuestados afirma que lo consumiría ocasionalmente, el 6% una vez al mes, el 37% una vez o varias veces por semana y cerca del 13% lo haría diariamente. Sin embargo, un 11% reconoce que no lo consumiría en ninguna circunstancia.

Tabla 8. Posible frecuencia de consumo de extracto de hoja de olivo y factores relevantes para ello.

FRECUENCIA DE POSIBLE CONSUMO	N	%	FACTORES RELEVANTES PARA SU POSIBLE CONSUMO (RESPUESTA MÚLTIPLE)	N	%
NUNCA	90	11,25	PRECIO	500	62,50
OCASIONALMENTE	266	33,25	CALIDAD DEL PRODUCTO	415	51,88
UNA VEZ AL MES	48	6,00	RECOMENDACIONES MÉDICAS O PROFESIONALES	516	64,50
UNA VEZ POR SEMANA	147	18,38	OPINIONES DE OTROS CONSUMIDORES	52	6,50
VARIA VECES POR SEMANA	147	18,38	ORIGEN Y MÉTODO DE PRODUCCIÓN	104	13,00
DIARIAMENTE	102	12,75	EFFECTOS SECUNDARIOS CONOCIDOS	177	22,13
			CERTIFICACIONES O SELLOS DE CALIDAD	99	12,38
			BENEFICIOS PARA LA SALUD	520	65,00
			OTROS	4	0,50
TOTAL	800	100,00			

FUENTE: Elaboración propia.

Además, los factores más relevantes para su consumo son los beneficios para la salud, las recomendaciones médicas o profesionales, el precio y la calidad del producto.

La Tabla 9 muestra el nivel de acuerdo de los encuestados con los ítems relativos a la inclusión del extracto de hoja de olivo en su dieta.

Tabla 9. Motivos para comprar y consumir extracto de hoja de olivo.

	MEDIA	DESV
ESTARÍA DISPUESTO/A A CAMBIAR MIS HÁBITOS DE CONSUMO PARA INCLUIR EXTRACTO DE HOJA DE OLIVO EN MI DIETA.	2,9888	1,1624
ME SENTIRÍA MÁS INCLINADO/A A COMPRAR EXTRACTO DE HOJA DE OLIVO SI TUVIERA INFORMACIÓN SOBRE LOS POSIBLES BENEFICIOS PARA LA SALUD.	4,0650	1,0432
ME SENTIRÍA MÁS INCLINADO/A A COMPRAR EXTRACTO DE HOJA DE OLIVO SI ESTUVIERAN RESPALDADAS POR LOS COMENTARIOS POSITIVOS DE OTROS CONSUMIDORES.	3,2475	1,1763
ME SENTIRÍA MÁS INCLINADO/A A COMPRAR EXTRACTO DE HOJA DE OLIVO SI ESTUVIERAN RESPALDADAS POR ESTUDIOS CIENTÍFICOS.	4,1863	1,0193
ME SENTIRÍA MÁS INCLINADO/A A COMPRAR EXTRACTO DE HOJA DE OLIVO SI ESTUVIERAN RESPALDADAS POR LA RECOMENDACIÓN DE UN PROFESIONAL DE LA SALUD.	4,1488	1,0145

FUENTE: Elaboración propia.

Los resultados indican que, en promedio, la población está indecisa en cuanto a cambiar los hábitos de consumo para incluir extracto de hoja de olivo en su dieta. Sin embargo, se muestra inclinada a comprar extracto de hoja de olivo si existiera información sobre determinados aspectos. En este sentido, la intención de compra estaría motivada, en primer lugar, por la recomendación de su consumo por parte de profesionales de la salud y de estudios científicos, seguida por información sobre los beneficios para la salud y los comentarios positivos de otros consumidores.

La Tabla 10 cuantifica el precio que el encuestado consideraría justo para un envase de 30 cápsulas de extracto de hoja de olivo de alta calidad, para el consumo de una persona.

Tabla 10. Precio para un envase de 30 cápsulas de extracto.

	N	%
MENOS DE 10 €	405	50,63
ENTRE 10 Y 20 €	338	42,25
ENTRE 20 Y 30 €	46	5,75
MÁS DE 30 €	11	1,38
TOTAL	800	100,00

FUENTE: Elaboración propia.

Con respecto al precio que estarían dispuestos a pagar por un envase de 30 cápsulas de extracto, más de la mitad de los encuestados reconoce que pagarían menos de 10 euros, y el 42% estaría dispuesto a pagar entre 10 y 20 euros. Tan solo el 7% pagaría más de 20 euros por un envase de 30 cápsulas.

5. CONCLUSIONES

El objetivo de este proyecto de investigación ha sido analizar la percepción que tienen los potenciales consumidores a la oferta de extractos de hojas de olivo. Es decir, se trata de estudiar el estatus de los consumidores como demandantes de cápsulas de extracto de olivo, con las propiedades que este producto posee. El trabajo de investigación abordado y el tratamiento de los datos obtenidos por las encuestas con la metodología utilizada nos proporcionan las siguientes conclusiones:

- 1) La ONU, a partir de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la Agenda 2030, establece el camino a seguir para la consecución de un mundo más sostenible para las generaciones actuales y venideras. A partir de los 17 ODS y de las medidas planteadas, se pretende mejorar la calidad de los habitantes del mundo y evitar la degradación medioambiental.
- 2) De los resultados obtenidos en las encuestas realizadas se desprende la siguiente información:
 - a) La mayoría de los encuestados declaran consumir productos naturales. En efecto, más del 80 % afirman consumir extractos naturales.
 - b) La mayoría de los consumidores de la muestra obtenida en la encuesta muestran su preferencia por el consumo de los extractos naturales en forma de cápsulas, comprimidos o pastillas.
 - c) Los encuestados reconocen su desconocimiento sobre los productos naturales extraídos del olivo. No obstante, la predisposición de consumo de este tipo de productos crece a medida que aumenta la edad del encuestado.
 - d) Los aspectos que más incentivan la compra de extractos de hoja de olivo serían su uso como antiinflamatorio, antioxidante y producto contra la hipertensión arterial.
 - e) Sobre la posible frecuencia de consumo de extracto de hoja de olivo, cerca del 90% de los encuestados reconocen que lo consumirían por las propiedades que pueda tener, como el beneficio para la salud, las recomendaciones médicas o profesionales, el precio y la calidad del producto. Pero para ello es necesario que esa información se dé a conocer, pues el conocimiento de dichas propiedades influye de forma significativa en la decisión de consumo.
 - f) La mayoría de los encuestados da mucha importancia a los beneficios para la salud, las recomendaciones médicas o profesionales, el precio y la calidad del extracto de hoja de olivo. En efecto, con respecto al precio, por un envase de 30 cápsulas, la mayoría de los encuestados no estarían dispuestos a pagar más de 10 euros.

Sobre esta investigación quedan aún muchos aspectos que serían necesario analizar. Por tanto, no concluye en este momento. El estudio más profundo de los datos obtenidos en las encuestas, y el uso de nuevas metodologías de estudio, permitirían llegar a nuevas conclusiones y discusiones sobre el tema tratado. Y los investigadores seguimos tratando estos datos, de una forma más detallada y a través de diversos enfoques, que seguro permitirá obtener nuevos resultados en un futuro próximo.

6. BIBLIOGRAFÍA

- ABAZA, L.; TAAMALLI, A.; NSIR, H.; ZARROUK, M. (2015): "Olive tree (*Olea europae* L.) leaves: Importance and advances in the analysis of phenolic compounds". *Antioxidants*, 4(4), 682–698.
- AHMED, M. W.; HAQUE, M. A.; MOHIBULLAH, M.; KHAN, M. S. I.; ISLAM, M. A.; MONDAL, M. H. T.; AHMED, R. (2022): "A review on active packaging for quality and safety of foods: Current trends, applications, prospects and challenges". *Food Packaging and Shelf Life*, 33, 100913.
- BALBOA, C.H.; SOMONTE, M.D. (2014): "Economía circular como marco para el ecodiseño: el modelo ECO-3". *Informador Técnico*, 78, 82 e90.
- BARREIRO-GEN, M.; LOZANO, R. (2020): "How circular is the circular economy? Analysing the implementation of circular economy in organisations". *Business Strategy and the Environment*, 29(8), 3484-3494.
- BERBEL, J.; POSADILLO, A. (2018): "Review and analysis of alternatives for the valorisation of agro-industrial olive oil by-products". *Sustainability*, 10(237). (<https://doi.org/10.3390/su10010237>).
- BRANDÃO, A.S.; GONÇALVES, A.; SANTOS, J.M.R.C.A. (2021): "Circular bioeconomy strategies: From scientific research to commercially viable products". *Journal of Cleaner Production*, Vol. 295, 126407 (<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126407>).
- CAVALCANTI, R. N.; KOSHIMA, C. C.; FORSTER-CARNEIRO, T.; GOMES, M. T. M. S.; ROSTAGNO, M. A.; PRADO, J. M.; MEIRELES, M. A. A., IN *NATURAL PRODUCT EXTRACTION: PRINCIPLES AND APPLICATIONS*, ED. J. PRADO AND M. ROSTAGNO, THE ROYAL SOCIETY OF CHEMISTRY, 2ND EDN, 2022, CH. 1, PP. 1-65.
- CODERONI, S.; PERITO, M.A. (2021): "Approaches for reducing wastes in the agricultural sector. An analysis of Millennials' willingness to buy food with upcycled ingredients". *Waste Management*, Vol. 126, pp. 283-290. (<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.03.018>).
- CRIPPA, J.; SILVA, M.G.; RIBEIRO, N.D.; RUSCHEL, R. (2023): "Urban branding and circular economy: a bibliometric analysis". *Environment, Development and Sustainability*, 25, 2173–2200 (<https://doi.org/10.1007/s10668-022-02173-1>).
- D'ADAMO, I.; FALCONE, P.M.; GASTALDI, M.; MORONE, P. (2019): "A social analysis of the olive oil sector: the role of family business". *Resources*, 8 (3), 151 (<https://doi.org/10.3390/resources8030151>).
- DE LA OSSA, F.; AZIMI, S.; DIGIACOMO, M. (2019): "Waste Autochthonous Tuscan olive leaves (*Olea europaea* var. *Olivastra seggianese*) as antioxidant source for biomedicine". *International Journal of Molecular Sciences*, 20(23), 5918 (<https://doi.org/10.3390/ijms20235918>).
- DERMECHE, S.; NADOUR, M.; LARROCHE, C.; MOULTI-MATI, F.; MICHAUD, P. (2013): "Olive mill wastes: Biochemical characterizations and valorization strategies". *Process Biochemistry*, 48(10), 1532–1552.

- DONNER, M.; DE VRIES, H. (2021): "How to innovate business models for a circular bio-economy? Bus. Strat". *Environ*, 30 (4), 1932–1947 (<https://doi.org/10.1002/bse.2725>).
- DONNER, M.; ERRAACH, Y.; LÓPEZ-I-GELATS, F.; MANUEL-I-MARTIN, J.; YATRIBI, T.; RADIC, I.; EL HADAD-GAUTHIER, F. (2022): "Circular bioeconomy for olive oil waste and by-product valorisation: Actors' strategies and conditions in the Mediterranean área". *Journal of Environmental Management*, 321, 115836. (<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.115836>).
- DONNER, M.; GOHIER, R.; DE VRIES, H. (2020): "A new circular business model typology for creating value from agro-waste. Sci. Total". *Environ*. 716, 137065 (<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137065>).
- DONNER, M.; RADÍ' C, I. (2021): "Innovative circular business models in the olive oil sector for sustainable Mediterranean agrifood systems". *Sustainability*, 13 (5), 2588 (<https://doi.org/10.3390/su13052588>).
- DOULA, M.K.; MORENO-ORTEGO, J.L.; TINIVELLA, F.; INGLEZAKIS, V.J.; SARRIS, A.; KOMNITSAS, K. (2017): "Olive mill waste: recent advances for the sustainable development of olive oil industry". In: Galanakis, C.M. (Ed.), *Olive Mill Waste: Recent Advances for Sustainable Management*. Academic Press, Elsevier, London, UK, pp. 29–56.
- DUTTA, S.; HE, M.; XIONG, X.; TSANG, D. C. (2021): "Sustainable management and recycling of food waste anaerobic digestate: a review". *Bioresource technology*, 341, 125915.
- ESCOBAR-LÓPEZ, S. Y.; ESPINOZA-ORTEGA, A.; VIZCARRA-BORDI, I.; THOMÉ-ORTIZ, H. (2017): "The consumer of food products in organic markets of central Mexico". *British Food Journal*, 119(3), 558-574.
- FACCHINI, F.; SILVESTRI, B.; DIGIESI, S.; LUCCHESI, A. (2023): "Agri-food loss and waste management: Win-win strategies for edible discarded fruits and vegetables sustainable reuse". *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, Vol. 83, 103235 (<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2022.103235>).
- FLAMMINII, F.; DI MATTIA, C.D.; DIFONZO, G.; NERI, L.; FAIETA, M.; CAPONIO, F.; PITTIA, P. (2019): "From by-product to food ingredient: evaluation of compositional and technological properties of olive-leaf phenolic extracts". *J. Sci. Food Agr*, 99 (14), 6620–6627 (<https://doi.org/10.1002/jsfa.9949>).
- GALANAKIS, C.M. (2017): *Olive Mill Waste: Recent Advances for Sustainable Management*. Academic Press, Elsevier, London, UK.
- GIRÓN, A. (2016): "Objetivos del Desarrollo Sostenible y la Agenda 2030: Frente a las políticas públicas y los cambios de gobierno en América Latina". *Problemas del Desarrollo*, Vol. 47-186, pp. 3-8 (DOI: [10.1016/j.rpd.2016.08.001](https://doi.org/10.1016/j.rpd.2016.08.001)).
- GONZÁLEZ, F.E.W.; LLANES, P.A.G.; FERRER, H.O. (2022): "The chemical industry in a territory following the circular economy approach". *Revista universidad y sociedad*, Vol. 14 (4), 691-698.
- GRALAK, A.; GROCHOWSKA, R.; SZCZEPANIAK, I. (2022): "Determinants of Implementation of the Circular Economy in the Food Processing Sector on the Example of the Dairy Industry". *Problems of Agricultural Economics*, 372(3), 84–64. (<https://doi.org/10.30858/zer/152535>).

- GULLÓN, P.; GULLÓN, B.; ASTRAY, G.; CARPENA, M.; FRAGA-CORRAL, M.; PRIETO, M.A.; SIMAL-GANDARA, J. (2020): "Valorization of by-products from olive oil industry and added-value applications for innovative functional foods". *Food Research International*, 137, 109683 (<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109683>).
- HALL, C.M. (2019): "Constructing sustainable tourism development: The 2030 agenda and the managerial ecology of sustainable tourism". *Journal of Sustainable Tourism*, Vol. 27-7, pp. 1044-1060 (DOI: 10.1080 / 09669582.2018.1560456).
- HOANG, H. T.; MOON, J. Y.; LEE, Y. C. (2021): "Natural antioxidants from plant extracts in skincare cosmetics: Recent applications, challenges and perspectives". *Cosmetics*, 8(4), 106.
- HUYSMAN, S.; SALA, S.; MANCINI, L.; ARDENTE, F.; ALVARENGA, R.; DE MEESTER, S.; MATHIEUX, F.; DEWULF, J. (2015): "Toward a systematized framework for resource efficiency indicators". *Resourc. Conserv. Recycl.*, 95(C), 68e76. (<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2014.10.014>).
- INGLEZAKIS, V.J.; MORENO, J.L.; DOULA, M. (2012): "Olive oil waste management EU legislation: current situation and policy recommendations". *Int. J. Chem. Environ. Eng. Sys.*, 3 (2), 65–77.
- KIAUŠIENĖ, I.; HLADKOVA, V.; MAKŪNAITĖ, G. (2024): "Application of circular economy principles in the tourism sector". *Management Theory and Studies for Rural Business and Infrastructure Development*, 46(1), 31–44 (<https://doi.org/10.15544/mts.2024.04>).
- KING, A. M.; BURGESS, S. C.; IJOMAH, W.; MCMAHON, C. A. (2006): "Design for end-of-life: Repair, recondition, remanufacture or recycle?". *Sustainable Development*, 14, 257–267 (<https://doi.org/10.1115/DETC2004-57759>).
- LAMA-MUÑOZ, A.; RUBIO-SENENT, F.; BERMÚDEZ-ORIA, A.; FERNÁNDEZ-BOLAÑOS, J.; PRIOR, A. F.; RODRÍGUEZ-GUTIÉRREZ, G. (2019): "The use of industrial thermal techniques to improve the bioactive compounds extraction and the olive oil solid waste utilization". *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 55, 11–17.
- LAUKKANEN, T. (2016): "Consumer adoption versus rejection decisions in seemingly similar service innovations: The case of the Internet and mobile banking". *Journal of Business Research*, 69(7), 2432-2439.
- LILA, K.; BELAADI, S.; SOLIMANDO, R.; ZIROUR, F.R. (2020): "Valorisation of organic waste: use of olive kernels and pomace for cement manufacture". *J. Clean. Prod.*, 277, 123703 (<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123703>).
- MAK, T.M.; XIONG, X.; TSANG, D.C.; IRIS, K.M.; POON, C.S. (2020): "Sustainable food waste management towards circular bioeconomy: policy review, limitations and opportunities". *Bioresour. Technol.*, 297, 122497. (<https://doi.org/10.1016/j.bior-tech.2019.122497>).
- MANZANARES, P.; BALLESTEROS, I.; NEGRO, M. J.; GONZÁLEZ, A.; OLIVA, J. M.; BALLESTEROS, M. (2020): "Processing of extracted olive oil pomace residue by hydrothermal or dilute acid pretreatment and enzymatic hydrolysis in a biorefinery context". *Renewable Energy*, 145, 1235–1245.

- MARTÍN-VERTEDOR, D.; GARRIDO, M.; PARIENTE, J. A.; ESPINO, J.; DELGADO-ADÁMEZ, J. (2016): "Bioavailability of bioactive molecules from olive leaf extracts and its functional value". *Phytotherapy Research*, 30(7), 1172-1179.
- MESA, J.A.; SIERRA-FONTALVO, L.; ORTEGON, K.; GONZALEZ-QUIROGA, A. (2024): "Advancing circular bioeconomy: a critical review and assessment of indicators". *Sustainable Production and Consumption*, Vol. 46, pp. 324-342 (<https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.03.006>).
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN (2021): *Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos (ESYRCE)* (https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/gestion-sostenible-regadios/regadio-espanya/default_1.1.1.aspx).
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, PESCA Y ALIMENTACIÓN (s.f.). (<https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/aceite-oliva-y-aceituna-mesa/aceite.aspx>).
- MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO (2022): *Plan de recuperación, transformación y resiliencia (PERTE) en Economía Circular*. Marzo 2022 (https://www.prtr.miteco.gob.es/content/dam/prtr/es/perte/perteenec_alta_tcm30-537896.pdf).
- MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO (2024): *Usos del agua en España 2021/22*. Dirección General del Agua. (<https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/seguridad-de-presas-y-embalses/informe-de-los-usos-del-agua.html>).
- MOHAN, S.V.; NIKHIL, G.N.; CHIRANJEEVI, P.; REDDY, C.N.; ROHIT, M.V.; KUMAR, A.N.; SARKAR, O. (2016): "Waste biorefinery models towards sustainable circular bioeconomy: critical review and future perspectives". *Bioresource Technology*, Vol. 215, pp. 2-12 (<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.130>).
- MUNEKATA, P. E. S.; ROCCHETTI, G.; PATEIRO, M.; LUCINI, L.; DOMÍNGUEZ, R.; LORENZO, J. M. (2020): "Addition of plant extracts to meat and meat products to extend shelf-life and health-promoting attributes: An overview". *Current Opinion in Food Science*, 31, 81-87.
- NACIONES UNIDAS (2019): *Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2019*. Publicación de las Naciones Unidas, Departamento de Asuntos Económicos y Sociales (DESA), New York (https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2019_Spanish.pdf).
- NACIONES UNIDAS (s.f.). *Objetivos de Desarrollo Sostenible. Objetivo 12. Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles*. (<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-consumption-production/>).
- NAVARRO, C.; NÚÑEZ, M.; CEBRIÁN, J. (2012): *El libro de la cosmética natural*. Natur.
- OTERO, P.; GARCIA-OLIVEIRA, P.; CARPENA, M.; BARRAL-MARTINEZ, M.; CHAMORRO, F.; ECHAVE, J.; GARCIA-PEREZ, P.; CAO, H.; XIAO, J.; SIMAL-GANDARA, J.; PRIETO, M.A. (2021): "Applications of by-products from the olive oil processing: revalorization strategies based on target molecules and green extraction technologies". *Trends Food Sci. Technol.*, 116, 1084–1104 (<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.09.007>).

- OZCAN, M. M.; MATTHAUS, B. (2017): "A review: Benefit and bioactive properties of olive (*Olea europaea* L.) leaves". *European Food Research and Technology*, 243(1), 89–99.
- PANCHAL, R.; SINGH, A.; DIWAN, H. (2021): "Does circular economy performance lead to sustainable development? A systematic literature review". *Journal of Environmental Management*, Vol. 293, 1 September 2021, 112811. (<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.112811>).
- PARDO, L.; ARIAS, J.; MOLLEDA, P. (2022): "Elaboración de nanopartículas de plata sintetizadas a partir de extracto de hojas de romero (*Rosmarinus officinalis* L.) y su uso como conservante". *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 35(1), 45–58.
- PARLAMENTO EUROPEO (PE) (2023): *Economía circular: definición, importancia y beneficios*. 24.05.2023. (<https://www.europarl.europa.eu/topics/es/article-/2015120IS-TO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios>).
- PASTRAN, A.L. (2021): "Acción por el Clima: Emprendedores Sostenibles (ODS 12 Producción y Consumo Responsable)". *Centro de Estudios en Diseño y Comunicación*, Vol. 128, pp. 221–233.
- PEARCE, D.; TURNER, R. (1990): *Economics of Natural Resources and the Environment*. John Hopkins. University Press.
- PERITO, M.A.; CODERONI, S.; RUSSO, C. (2020): "Consumer attitudes towards local and organic food with upcycled ingredients: an Italian case study for olive leaves". *Foods*, 9 (9), 1325 (<https://doi.org/10.3390/foods9091325>).
- PSALTOPOULOU, T.; KOSTI, R.I.; HAIDPOULOS, D.; DIMOPOULOS, M.; & PANAGIOTAKOS, D.B. (2011): "Olive oil intake is inversely related to cancer prevalence: A systematic review and a meta-analysis of 13,800 patients and 23,340 controls in 19 observational studies". *Lipids Health Dis.*, 10, 127.
- PUIG-CABRERA, M.; FORONDA-ROBLES, C. (2018): "El turismo y el Alivio de la pobreza: un enfoque desde el prisma de los destinos emergentes en el marco de la Agenda 2030". *Revista Investigaciones Turísticas*, n.º 16, pp. 1–22 (DOI: 10.14198/INTURI2018.16.01).
- RAHMAN, H. S.; OTHMAN, H. H.; HAMMADI, N. I.; YEAP, S. K.; AMIN, K. M.; ABDUL SAMAD, N.; ALITHEEN, N. B. (2020): "Novel drug delivery systems for loading of natural plant extracts and their biomedical applications". *International journal of nanomedicine*, 2439–2483.
- REIS AMARO DA LUZ, H. (2021): "Boosting welfare sustainability by solidarity: opportunities resulting from circular social economy in Portugal". *Revista Nacional de Administração*, Vol. 12, n.º 2 (<http://dx.doi.org/10.22458/rna.v12i2.3983>).
- ROMERO, C.; MEDINA, E.; MATEO, M. A.; BRENES, M. (2018): "New by-products rich in bioactive substances from the olive oil mill processing". *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(1), 225–230 (<https://doi.org/10.1002/jsfa.8460>).
- ROSELLÓ-SOTO, E.; KOUBAA, M.; MOUBARIK, A.; LOPES, R.P.; SARAIVA, J.A.; BOUSSETTA, N.; GRIMI, N.; BARBA, F.J. (2015): "Emerging opportunities for the effective valorisation of wastes and by-products generated during olive oil production process: non-conventional methods for the recovery of high-added value compounds". *Trends Food Sci. Technol.*, 45, 296–310 (<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.07.003>).

- SCARANO, P.; SCIARILLO, R.; TARTAGLIA, M.; ZUZOLO, D.; GUARINO, C. (2022): “Circular economy and secondary raw materials from fruits as sustainable source for recovery and reuse. A review”. *Trends in Food Science & Technology*, Vol. 122, 157-170 (<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.02.003>).
- SCHWINGSHACKL, L.; HOFFMANN, G. (2014): “Monounsaturated fatty acids, olive oil and health status: A systematic review and meta-analysis of cohort studies”. *Lipids Health Dis.*, 13, 154.
- SOLER-RIVAS, C.; EPSIN, J. C.; WICHERS, H. J. (2000): “Oleuropein and related compounds”. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80, 1013–1023.
- TAMASI, G.; BARATTO, M. C.; BONECHI, C.; BYELYAKOVA, A.; PARDINI, A.; DONATI, A.; ROSSI, C. (2019): “Chemical characterization and antioxidant properties of products and by-products from *Olea europaea* L”. *Food Science and Nutrition*, 7(9), 2907–2920.
- TAYUPANTA, T. M.; JARA, A. M.; MALDONADO, M. E. (2020): “Natural extracts a preservative alternative in the cosmetics industry”. *Revista Ibérica De Sistemas e Tecnologias De Informação*, 139-149.
- TENG, C. C.; LU, C. H. (2016): “Organic food consumption in Taiwan: Motives, involvement, and purchase intention under the moderating role of uncertainty”. *Appetite*, 105, 95-105.
- THERIOS, I. (2008): “Oleuropein, olive leaf extract, olive oil and the benefits of the Mediterranean diet to human health”. In *Olives, Chapter 26, Olive Mill Products and Environmental Impact of Olive Oil Production*; Therios, I., Ed.; CABI: Wallingford, UK, pp. 303–317.
- UGALDE HERNÁNDEZ, O. (2021): “Evolución histórica-epistemológica de la economía circular: ¿hacia un nuevo paradigma de desarrollo?”. *Revista Economía y sociedad*, Vol. 26 (59) (<https://doi.org/10.15359/ey.s.26-59.5>).
- VEIGA, M.; COSTA, E. M.; SILVA, S.; PINTADO, M. (2020): “Impact of plant extracts upon human health: A review”. *Critical reviews in food science and nutrition*, 60(5), 873-886.
- YILDIRIM, F. F.; AVINC, O.; YAVAS, A.; SEVGISUNAR, G. (2020): “Sustainable antifungal and antibacterial textiles using natural resources”. *Sustainability in the textile and apparel industries: sourcing natural raw materials*, 111-179.
- YU, M.; JUNJUN, Z. (2023): Introducing Artificial/Computational Intelligence-Derived Non-Parametric Transfer Functions for the Implementation of Dynamic Circular Economy Decision-Making Systems. *Electronics*, 12 (4), 1050 (<https://doi.org/10.3390/electronics12041050>).
- ZULFIQAR, F.; CASADESÚS, A.; BROCKMAN, H.; MUNNÉ-BOSCH, S. (2020): “An overview of plant-based natural biostimulants for sustainable horticulture with a particular focus on moringa leaf extracts”. *Plant Science*, 295, 110194.

ARQUEOLOGÍA PREHISTÓRICA PARA UN DESARROLLO SOSTENIBLE EN LA COMARCA DE LA JANDA, CÁDIZ (ARPREDESUCA)

MARÍA LAZARICH GONZÁLEZ¹; ANTONIO RAMOS-GIL² Y VICENTE CASTAÑEDA FERNÁNDEZ³

1. INTRODUCCIÓN – 2. ANTECEDENTES DE NUESTRAS INVESTIGACIONES EN LA COMARCA DE LA JANDA– 3. BASES QUE APOYAN LA CONSECUCIÓN DEL PROYECTO – 4. OBJETIVOS DEL PROYECTO – 5. TRANSFERENCIA DE LOS RESULTADOS – 6. MEJORA DEL DESARROLLO SOCIOECONÓMICO DE LA COMARCA DE LA JANDA – 7. BIBLIOGRAFÍA

1. INTRODUCCIÓN

La idea subyacente de este proyecto reside en entender a la Arqueología Prehistórica como un elemento integrador entre el pasado, el presente y el futuro de una región o comarca, al mismo tiempo que considera la protección y valoración del paisaje y los sitios culturales como ejes fundamentales para el desarrollo social y económico del medio rural.

El marco geográfico de actuación presenta, en principio, su punto de ejecución en el Área del embalse del Celemín, donde se localiza el Conjunto arqueológico del Tajo de las Figuras, ubicado en el municipio de Benalup-Casas Viejas (Cádiz), (Fig. 1), aunque su ámbito de acción puede ser más amplio porque llevamos veinte años de investigaciones en toda la Comarca de la Janda y parte del Parque natural del Estrecho, fundamentalmente, en el término municipal de Tarifa.

La riqueza patrimonial existente en el entorno del Tajo de las Figuras es inmensa, pues, no sólo integra numerosas cuevas o abrigos con pinturas rupestres prehistóricas (Cabré y Hernández-Pacheco, 1914; Breuil y Burkitt, 1929; Mas, 2005; Lazarich et al. 2012) sino innumerables asentamientos y necrópolis correspondientes a muy diversas culturas y épocas. A este rico patrimonio arqueológico hay que unir la riqueza del medio natural y su belleza paisajística. Sin embargo, este valioso patrimonio natural y ar-

1 Área de Prehistoria. Universidad de Cádiz. Responsable Grupo PAIDI HUM-812. Email: maria.lazarich@uca.es

2 Miembro Grupo PAIDI HUM-812 Universidad de Cádiz

3 Área de Prehistoria. Universidad de Cádiz. Responsable Grupo PAIDI HUM-831. Email: vicente.castaneda@uca.es

queológico es un bien excesivamente vulnerable que hay que proteger. De esta forma, si acometemos una política de desarrollo económico de la comarca sin considerar como elementos prioritarios la protección de su patrimonio arqueológico y cultural, estaremos “destruyendo la fuente de riqueza” que permitirá el verdadero desarrollo sostenible de la zona.

Por otra parte, hay que hacer comprender que la defensa del Medio Natural y del Patrimonio Arqueológico no es una dicotomía contrapuesta al desarrollo económico de una zona, sobre todo en el ámbito rural, ya que en ella no se ha producido la ruptura entre el campo y la ciudad, y, por tanto, estamos a tiempo de paliar este mal que conlleva a la destrucción del medio rural.



Figura 1. Mapa de localización del marco espacial donde se sitúa el foco principal del proyecto dentro de la Janda interior. Cierre del programa de conferencias de la mano de D. Francisco J. García León y D. Tristán Pertíñez de la Fundación Pública Andaluza Centro de Estudios Andaluces

2. ANTECEDENTES DE NUESTRAS INVESTIGACIONES EN LA COMARCA DE LA JANDA

Los trabajos arqueológicos en la zona comienzan en 2005 con los proyectos de excavación de la necrópolis de Paraje de Monte Bajo (Lazarich, 2007) y de la Prospección Arqueológica Superficial del Embalse del Barbate (Alcalá de los Gazules, Cádiz) (Lazarich 2008). El objetivo general de nuestros trabajos arqueológicos fue el documentar las ocupaciones humanas en sus diferentes medios físicos del entorno del Embalse del Barbate, dentro de un amplio proceso histórico, que va desde el periodo Paleolítico hasta la época contemporánea.

La necrópolis de cuevas artificiales de Paraje de Monte Bajo (Alcalá de los Gazules) excavadas en la roca arenisca ubicada en la orilla derecha del río Barbate, hoy embalse, deparó cuatro tumbas colectivas con diferente morfología y correspondientes a varios periodos prehistóricos desde el Neolítico final a inicios de la Edad del Bronce (fines del IV milenio a inicios del II milenio a.C.). Desde los primeros momentos de su excavación, intentamos ponerla en valor para su visita, pero la erosión en esa zona, como consecuencia de la acción del viento de levante y de la subida de las aguas del embalse en periodos de lluvia, provocó que no esté visible gran parte del año. Las tumbas E-II, E-III y E-IV, depararon tras su excavación una interesante información sobre los rituales practicados a los difuntos antes de su deposición en las tumbas, así como sobre las ofrendas alimenticias y ajuares que contenían (Lazarich, 2007). Gran parte de los ajuares más destacados: cuentas de ámbar y de piedras verdes (talco y variscita), herramientas de cristal de roca, puntas de flecha de sílex (magníficamente talladas), numerosas hojas-cuchillos de sílex, entre las que destaca una de 34,8 cm (ejemplar excepcional por su longitud y dificultad de talla) que la hace un ejemplar único en la península ibérica.

A ello hay que añadir la presencia de pigmento de cinabrio espolvoreado a los difuntos. Todos ellos, al ser fabricados con materias primas alóctonas, señalan la existencia de intercambios con otros grupos, algunos situados a gran distancia. Igualmente abundan las vasijas cerámicas colocadas como ofrendas o como producto de rituales de comensalidad. Gran parte de estos hallazgos pueden verse hoy en una de las vitrinas del Museo de Cádiz. Para que dicha necrópolis tuviera una mayor difusión en 2008, solicitamos a la Delegación de Medio Ambiente en el Centro del Aljibe (Alcalá de los Gazules), un espacio expositivo, para recrear una de las tumbas a tamaño natural (E-II) con reproducciones de todos los objetos hallados en ella; además de un video y cartelería explicativa sobre este yacimiento.

En el año 2009 fuimos requeridos por la Delegación de Cultura para recabar la documentación para la incoación del expediente BIC del Conjunto Arqueológico Tajo de las Figuras. Esta declaración implicaba la defensa, no solo de uno de los abrigos rupestres con pinturas postpaleolíticas más importantes de toda la península ibérica (Fig. 2), sino de otras cavidades cercanas, de dos aldeas prehistóricas coetáneas a algunas de las pinturas representadas en los abrigos y de una necrópolis megalítica bajo túmulos ubicada en sus inmediaciones (Fig. 3), en una de las terrazas de la orilla derecha del río Celemín, dentro del Parque Natural Los Alcornocales (Lazarich *et al.* 2012 y 2018). Esta necrópolis megalítica fue descubierta por los insignes investigadores: el prehistoriador francés H. Breuil y el ornitólogo escosés W. Verner en 1916 (Breuil y Verner, 1917) y, posteriormente, publicada por C. de Mergelina (1926), siendo casi olvidada por parte de la comunidad científica, hasta que la redescubrimos en 2009 (Lazarich *et al.* 2011; 2013 y 2018). A las diez tumbas megalíticas halladas con anterioridad se añadieron nuevos descubrimientos, tales como tres estructuras tumulares más cercanas, otras tres tumbas en la misma orilla derecha del Celemín (hoy embalse) y un gran *tholos* o tumba megalítica de mampostería con largo corredor y con una cámara circular cubierta en parte de falsa bóveda y con una gran laja de piedra (Fig. 4). En las primeras realizamos un trabajo de limpieza de la espesa vegetación que las cubría para que pudieran ser visibles al público. Sin embargo, estos trabajos no sirvieron de mu-

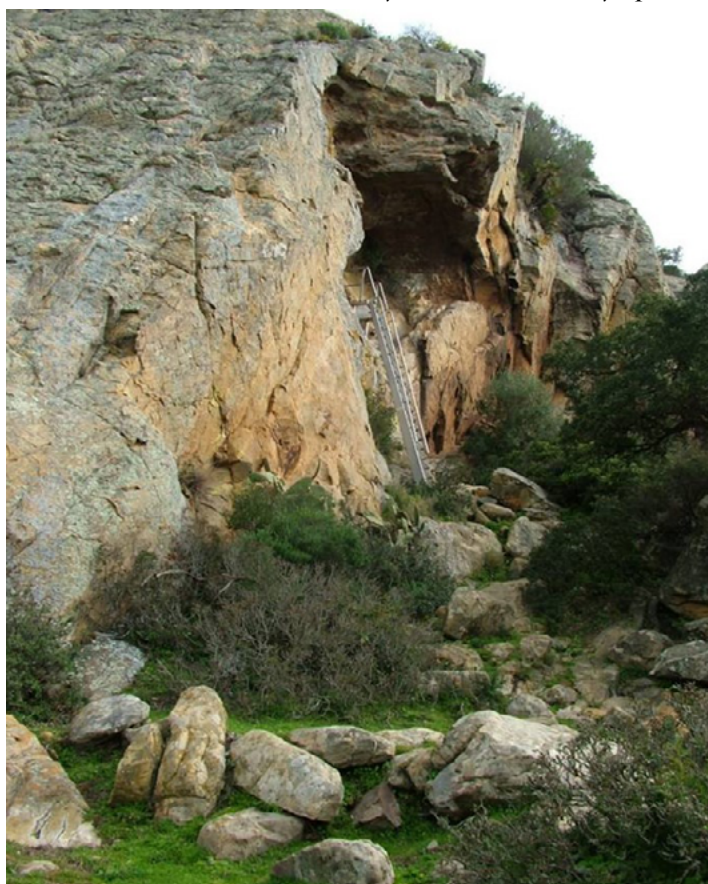


Figura 2. Vista desde el exterior de La Cueva del Tajo de las Figuras (Benalup-Casas Viejas, Cádiz). Cierre del programa de conferencias de la mano de D. Francisco J. García León y D. Tristán Pertíñez de la Fundación Pública Andaluza Centro de Estudios Andaluces

cho, desde el punto de vista de su valorización y disfrute por parte de la sociedad, dado además que junto a ella pasa la vía del Corredor Verde dos Bahías, pero por desidia de los organismos públicos en conservarla y en dotarla de unas mínimas infraestructuras, la necrópolis hallada por Breuil ha vuelto a caer en el olvido.



Figura 3. Dolmen VI de la Necrópolis de la terraza de la margen derecha del río Celemín, hoy embalse, que fue descubierta por H. Breuil y W. Verner en 1916 (1917), tras las tareas de limpieza que realizamos en 2010-2011.



Figura 4. Tholos de Peñarroyo I. A). Vista desde la entrada al corredor hasta el final de la cámara principal donde se observa al final la puerta de acceso a la pequeña cámara secundaria B) Vista desde la cámara principal hasta el final del corredor del monumento megalítico una vez quitadas las lajas de piedra de la cubierta que habían cedido por la erosión del agua e impedían su excavación por el interior.

Por el contrario, los trabajos en foros internacionales que dieron a conocer la riqueza patrimonial del Tajo de las Figuras (Lazarich y Ramos, 2020; Lazarich *et al.* 2019). En esta cavidad pueden observarse hasta 208 aves de las que podemos identificar el orden, incluso la especie a la que pertenecen (Figs. 5 y 6). La razón de su identificación es debida a un estilo pictórico muy particular, seminaturalista, que es algo singular, ya que no existe una cavidad con tantas pinturas de aves en el mundo. Ello no es algo extraño en la Janda para el periodo cronocultural al que corresponden las pinturas, como es la Prehistoria reciente, pero que continuó siéndolo durante todas las etapas históricas posteriores, hasta que a mediados del siglo XX se produjo la desecación del gran humedal que fue la laguna de La Janda. Esta riqueza ornitológica plasmada en la pequeña cavidad del Tajo de las Figuras constituye un elemento atrayente hoy, no sólo por un turismo ornitológico en alza en los últimos años, sino por un turismo cultural y de los amantes del medio ambiente en general.



Figura 5. Avutardas pintadas en la Cueva del Tajo de las Figuras y fotografías actuales de esta especie para su comparativa.

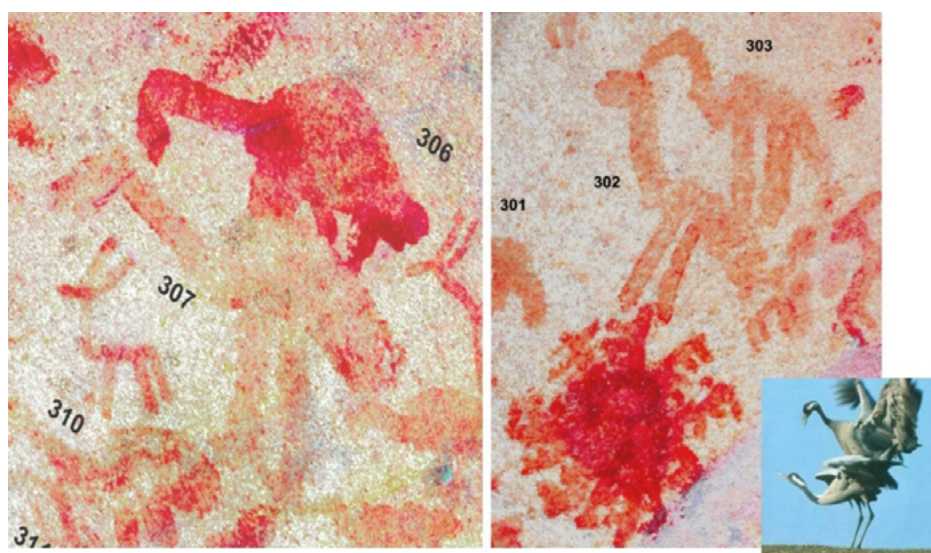


Figura 6. Dos escenas de un mismo acto de copulación de dos avutardas pintadas en la bóveda de la Cueva del Tajo de las Figuras. En ella queda patente el gran conocimiento que tenían sobre la etología de las aves los artistas que pintaron este pequeño abrigo rupestre.

A comienzos del presente siglo, la Diputación de Cádiz tenía previsto la creación de varios centros de interpretación dedicados al patrimonio histórico y arqueológico a través del proyecto CULTURCAD, gestionado por el IEDT, dentro del Programa Operativo Integrado

de Andalucía 2000–2006, financiado por los Fondos Europeos de Desarrollo Regional. Así en el año 2005 los miembros del Grupo HUM-812 fuimos convocados por la Diputación de Cádiz para la dotación de contenidos del Centro de Interpretación “Cádiz Prehistórico” (Fig. 7). Dicho centro es uno de los pocos que sigue en funcionamiento desde 2007 hasta la actualidad, de todos los proyectados por esta institución. A pesar de que este centro no ha tenido la difusión que cabría de esperar, incluso del propio organismo que lo creó, recibe un buen número de visitantes al cabo del año, procedentes bien de colegios e institutos de educación secundaria de las poblaciones cercanas, así como de familias que se desplazan a esta población los fines de semana. En él se recoge de una manera didáctica, aunque científica, los modos de vida de las poblaciones prehistóricas desde su presencia en lo que es hoy el espacio geográfico de nuestra provincia hasta la Edad del Bronce. Está integrada por diez salas: I. La ciencia prehistórica II. Un paseo por la Prehistoria. III. Nuestros antepasados IV. La alimentación V. Útiles y herramientas. VI. Del campamento al poblado. VII. Ritos y costumbres funerarias. VIII. El vestido y los adornos. IX. Las representaciones rupestres y X. La música. En ellas se recogen todos los yacimientos y vestigios prehistóricos hallados en la provincia de Cádiz hasta la fecha de su inauguración. Igualmente, se diseñaron varias rutas para conocer de una manera fácil y cómoda los yacimientos y museos dedicados a esta etapa. En la actualidad queremos poner al día los nuevos descubrimientos que se han producido, así como, instalar en él, en la sala dedicada al Arte rupestre, los medios para visualizar las pinturas del abrigo del Tajo de las Figuras mediante gafas de realidad virtual, evitando así el deterioro que podría causar las visitas masivas a una cueva que no tiene más de 7 m2.

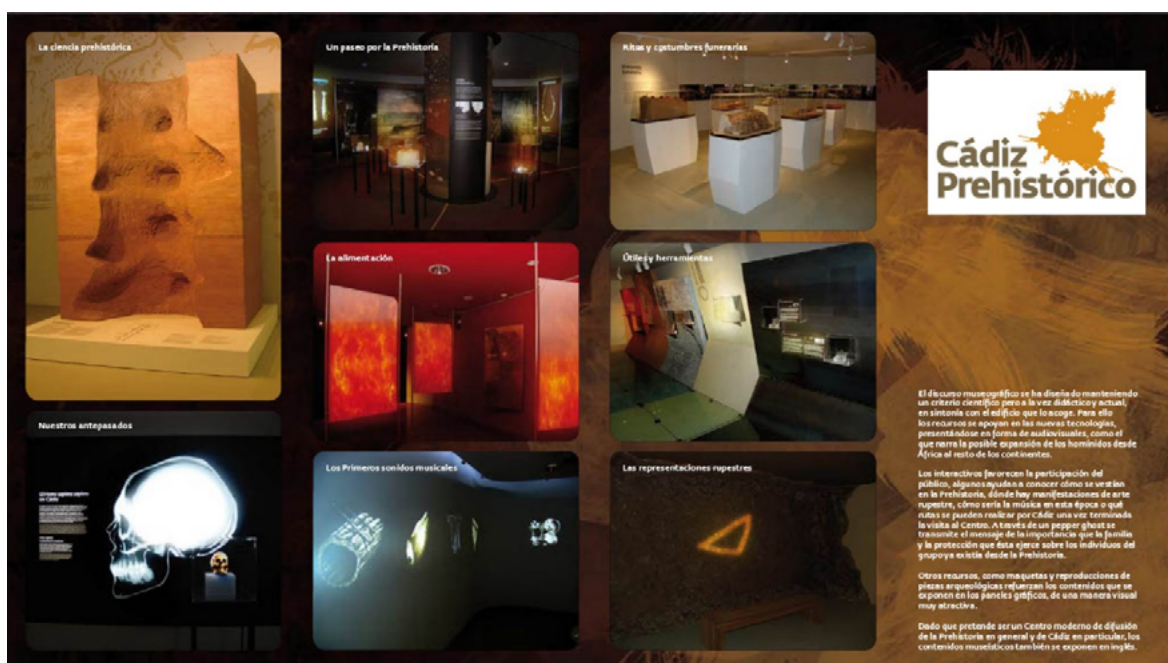


Figura 7. Centro de interpretación “Cádiz Prehistórico” en Benalup-Casas Viejas, Cádiz.
<https://www.centroprehistoricobenalup.com/informacion.html>

Otra de las actividades que hemos acometido en estos últimos años ha sido la excavación de una tumba megalítica en la orilla izquierda del río Celemin, el *tholos* de Peñarroyo I (Fig. 4). Se trata del primer monumento hallado en nuestra provincia en el que el corredor y la cámara están realizados con mampostería de piedras planas me-

diante la técnica “a piedra seca”. La cámara principal fue cubierta con falsa bóveda, realizada mediante la aproximación de las hiladas de piedra para finalmente cerrarse con una gran laja de piedra, al igual que todo el corredor (Fig. 4). Esta tumba tenemos previsto extraerla del embalse y trasladarla a un lugar cercano de dominio público y así, además, de preservarla de la erosión de las aguas, para que pueda ser visitada. Algunos de los miembros del equipo de excavación con la información y documentación generada, han realizado un video donde se relata todo el proceso de excavación, además de un análisis de los ajuares y de los restos de los allí sepultados, que nos ayudan a comprender sus formas de vida (alimentación, enfermedades, las actividades que realizaban, etc.), la estructuración social, además de sus creencias y su mundo simbólico.

Estos trabajos previos nos han permitido recabar toda la documentación arqueológica y conocer de primera mano el estado de conservación tanto de las estructuras funerarias como de las manifestaciones gráficas rupestres que se conocían, permitiéndonos la redacción de un documento preparatorio y el planteamiento de nuestras primeras hipótesis de trabajo, que dotará de contenido y estructurará en fases el presente proyecto.

Así, en los últimos 20 años en el seno de los grupos de investigación *Estudios de Prehistoria, Arqueología, Etnoarqueología, Antropología y Paisaje cultural* (PAIDI-HUM-812) y *Patrimonio Histórico Arqueológico en el ámbito del Estrecho de Gibraltar. De la Prehistoria al fin de la Antigüedad Clásica* (PAIDI-HUM-831) hemos podido desarrollar diferentes proyectos de investigación como hemos señalado.

3. BASES QUE APOYAN LA CONSECUCIÓN DEL PROYECTO

Además de la riqueza patrimonial que hemos descrito existen documentos que apoyan y establecen las bases para un desarrollo turístico sostenible en la comarca, como *Renovación Carta Europea de Turismo Sostenible Los Alcornocales Estrategia de Turismo Sostenible y Plan de Acción 2010-2014* expresaba lo siguiente:

Turismo Cultural: El patrimonio histórico-artístico es muy amplio y se encuentra repartido a lo largo de todo el territorio. Existe una gran variedad de Bienes de Interés Cultural, y es posible visitar yacimientos arqueológicos prehistóricos, (...).

La intensidad de uso de este segmento aún es moderada, si bien se prevé que aumente dado el gran potencial y el numeroso y valioso patrimonio que atesora.

Por otra parte, hay que considerar una serie de protecciones de ámbito nacional e internacional que implican la zona de actuación de este proyecto. Ellas son:

- Red Natura 2000
- Zona de Especial Protección para las Aves (ZEPA)
- Lugar de Interés Comunitario (LIC).

Todas ellas quedan recogidas en la Ley 42/2007 de 13 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (BOE» núm. 299, de 14/12/2007).

Igualmente, a nivel europeo, también queda recogida en:

- Carta Europea de Turismo Sostenible (CETS)

- Diploma Acreditativo del distintivo europeo “Caminos de Arte Rupestre Prehistórico” (2005-2010). [VV.AA.](#) (2010) (Figura 8).
- Declaración Conjunto BIC Tajo de las Figuras.
- Declaración de BIC de todas las tumbas megalíticas.



Figura 8. Diploma Acreditativo del distintivo europeo “Caminos de Arte Rupestre Prehistórico” (2005-2008). En Andalucía, son nueve los destinos arqueológicos que integran la ruta cultural y en la provincia de Cádiz es el Tajo de las Figuras en Benalup-Casas Viejas (Cádiz).

Todas ellas sirven de respaldo a nuestro proyecto, ya que hay plena conciencia de la riqueza patrimonial de la zona y un conocimiento previo de los mecanismos de protección.

Si nos detenemos en los dos últimos documentos que están plenamente enlazados con nuestro proyecto y con el área donde se localiza, debemos considerar la importancia que tiene el Arte Rupestre Prehistórico en el contenido de un Turismo Cultural, ya que es el arte de los primeros europeos. Apareció en este continente hace 42.000 años y en algunas regiones perduró hasta principios de la Edad de Hierro. Desde el reconocimiento científico de la Cueva de Altamira en 1902, el arte prehistórico ha sido un recurso cultural y turístico entendido como la primera expresión cultural, social y simbólica más importante de la humanidad. Desde el punto de vista del Patrimonio, cada año, casi 3,1 millones de visitantes acuden a visitar las cuevas o los pequeños abrigos rupestres. Son una manifestación artística llena de simbolismo que recoge las creencias religiosas con una fuerte referencia a la naturaleza. Pero estas manifestaciones, por el soporte donde se encuentran (al aire libre, bajo las incidencias climáticas, biológicas y antrópicas), están en serio peligro por lo que su preservación supone una prioridad de la sociedad actual. Todo el mundo tiene derecho a conocerlas no sólo en el presente sino en el futuro. Por ello su preservación requiere una prioridad absoluta. Al estar totalmente asociado al medio natural donde se localizan, estas manifestaciones pictóricas constituyen un ejemplo de los primeros paisajes culturales de la historia. Hay pues que conservar las condiciones medioambientales de los entornos donde se localizan.

Para crear las bases de un desarrollo sostenible en la zona queremos acercar la Universidad al medio rural y utilizar su espacio para la preparación de expertos en desarrollo rural a partir del conocimiento del Patrimonio Arqueológico y del Medio Natural. Aquí la Universidad de Cádiz jugará un papel fundamental, pero también contamos con investigadores de la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Sevilla y de la Universidad de Barcelona.

Se trata pues de aunar esfuerzos para la defensa del patrimonio natural y arqueológico, en pro de un desarrollo sostenible de la Comarca de la Janda interior.

4. OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo del proyecto, como hemos ido indicando, busca la valorización de la necrópolis megalítica del Celemín y el abrigo del Tajo de las Figuras (Benalup-Casas Viejas, Cádiz), con el propósito de transferir la investigación desarrollada por distintos grupos de investigación (PAIDI HUM-812 y HUM-831) de la Universidad de Cádiz en estos últimos años, para promover la conservación y divulgación de estos enclaves arqueológicos con la finalidad de conseguir un desarrollo sostenible del turismo rural en la comarca de la Janda.

4.1. Objetivos específicos

- Realizar trabajos arqueológicos preventivos y de puesta en valor, en el ámbito geográfico del Embalse del Celemín, para la salvaguarda de su patrimonio arqueológico y natural. Entre estos trabajos estarían la revaloración de la necrópolis de Breuil y otras tumbas cercanas, el traslado del tholos de Peñarroyo, entre otras acciones.
- Socializar y divulgar los conocimientos de la Prehistoria de esta comarca.
- Concienciar de la fragilidad de los yacimientos prehistóricos, con especial incidencia en el arte rupestre frente a la destrucción por parte de nuestra sociedad actual.
- Poner en valor lugares y enclaves de interés prehistórico y creación de rutas turísticas para un desarrollo sostenible de la Comarca de la Janda interior.
- Creación de una App para que los que visiten la comarca de la Janda conozcan los lugares donde pueden admirar el patrimonio arqueológico y medioambiental, y aportar una información a los viajeros sobre los hitos que van encontrando en su camino.
- Potenciar el empleo de Licenciados/Graduados en Historia o Humanidades, residentes en las localidades del entorno, para que puedan desarrollar sus labores profesionales en la zona sin necesidad de emigrar a otras áreas.
- Fomentar la creación de cooperativas o sociedades laborales que se encarguen de la gestión y explotación de los lugares arqueológicos a través de parques temáticos, centros de interpretación o de visitantes.
- Creación de puestos de trabajo a corto y largo plazo, y que serán generados por la puesta en funcionamiento del proyecto, durante la realización de las actividades arqueológicas, en las tareas de funcionamiento y mantenimiento del Parque Arqueológico, así como, por el aprovechamiento turístico de la zona directa

(guías, empresas de transporte, etc.) o indirectamente (empleados de hostelería, industrias y comercios de *merchandising* y de productos de la zona, etc.).

- Formar profesionalmente a colectivos tradicionalmente más desfavorecidos, como es el caso de los jóvenes y/o de las mujeres y, en segundo lugar y a modo complementario, la de poder integrarse en el mundo laboral de las empresas de Arqueología como mano de obra cualificada.

En definitiva, hacer un uso sostenible de todo ello, para que, al mismo tiempo que pueda ser una fuente de recursos económicos para los actuales habitantes de la Zona de la Janda, puedan dejarlo en herencia para las sociedades futuras.

Consideramos que un proyecto de estas características debe ser necesariamente interdisciplinar, con el objeto de ser capaz de aunar el conocimiento complementario de los diversos campos científicos para generar un avance significativo y de calidad en la investigación, y que ésta llegue a la sociedad (varias EPOs han mostrado su interés por los resultados del proyecto). Igualmente queremos aplicar las nuevas técnicas de estudio a las pinturas rupestres, así como a los grabados y pinturas que existen en las tumbas megalíticas (digitales, DStretch, microscopía no destructiva, datación y conservación, etc.). Trabajamos con el Patrimonio Histórico, por lo que toda la información generada no sólo servirá para difundir sus resultados en forma de alto impacto científico (tanto en el ámbito nacional como internacional) a través de las publicaciones en revistas especializadas o la participación en congresos; sino también, tras una fase de restauración y conservación tanto del continente como del contenido de estas necrópolis, generar la información necesaria para su musealización, contribuyendo con ello al desarrollo socioeconómico sostenible de una zona deprimida como es la provincia de Cádiz y, en concreto, la comarca de La Janda.

Los trabajos arqueológicos que hemos realizado y los previstos en la comarca de la antigua laguna de La Janda serán básicos para comprender la relación entre el mundo funerario y las manifestaciones gráficas rupestres, todo ello cargado de un gran contenido simbólico, y sacralidad, durante la Prehistoria reciente. Los trabajos presentes y futuros constituyen un proyecto clave para explicar la evolución y organización del territorio por parte de estas sociedades, ya que estas evidencias arqueológicas fueron concebidas con voluntad de presencia, visibilidad y permanencia como lugar sagrado de culto y enterramiento. Así, partimos de la hipótesis según la cual, aunque cada sociedad presenta en tan dilatado espacio temporal (Prehistoria reciente) una ideología en relación a la muerte y las representaciones gráficas rupestres, no se desvinculan por completo de su pasado, donde estas manifestaciones seguirán formando parte del mismo paisaje simbólico, de la memoria y de la identidad cultural de las distintas comunidades.

Somos conscientes de que la labor que desempeñamos, como investigadores y como profesionales de la materia no pueden estar alejados de los problemas que afectan a nuestra disciplina y, en especial, a la sociedad que nos rodea. Así, no sólo por la clara vocación científica del Proyecto sino precisamente por ella, hemos de establecer un esquema, que desarrolle todo el proceso de trabajo centrado, tanto en aspectos propios de la investigación histórica como en los restantes ámbitos de la puesta en valor del Patrimonio. Todo ello con la finalidad última de transferir nuestros resultados a la sociedad

en un ámbito regional, que ayude a la mejora de los graves problemas sociales y económicos que presenta una zona deprimida como la de Cádiz, y en concreto de los entornos de la antigua laguna de La Janda. Ayudando a solventar, en parte, mediante la puesta en valor de algunas de estas estructuras funerarias y el acondicionamiento para su visita de algunos de los abrigos, convirtiéndolos en atractivos turísticos culturales, hoy fundamentales, y alternativos e incluso complementarios al turismo de “sol y playa”.

5. TRANSFERENCIA DE LOS RESULTADOS

Partimos de la base de que toda investigación científica que se precie debe contar con un plan de difusión y divulgación que permita dar a conocer, tanto a la comunidad científica como a la sociedad, los resultados obtenidos. Es por ello, que hemos desarrollado un ambicioso plan de difusión estructurado en distintas actuaciones que pasamos a detallar:

En primer lugar, desarrollaremos una página web que dé acceso gratuito a los contenidos que publicaremos de forma periódica y disponible en varios idiomas, entre ellos el castellano, el inglés y el portugués, con la intención de que tenga una amplia repercusión internacional. Para ello utilizaremos un CMS de código abierto como es Wordpress para la creación del sitio web. Asimismo, Wordpress nos permite la creación de un blog donde publicar de forma periódica noticias relacionadas con los trabajos desarrollados, y donde los usuarios de internet pueden dejar sus comentarios.

Igualmente, interesante es la divulgación de contenidos y noticias a través de las redes sociales, ya que éstas se han convertido en un medio imprescindible para dar a conocer cualquier aspecto de la sociedad, ya sea a nivel público o privado. Es por ello que hemos decidido crear perfiles en diferentes redes sociales, donde podremos difundir las actividades realizadas y los resultados obtenidos, también en diferentes idiomas. Estas redes sociales nos permitirán, además, interactuar con los usuarios de internet y mantener el contacto directo con la sociedad y comunidad científica.

Generación de conocimiento científico para su publicación en revistas de alto impacto y participación en congresos (encuentros, jornadas, seminarios) nacionales e internacionales. La comunidad científica debe ser partícipe de los resultados que vayamos obteniendo a lo largo de nuestro proyecto de investigación. Consideramos, por tanto, que toda investigación científica debe de generar contenido científico de alto nivel competitivo que nos permita situarnos a la cabeza de las principales universidades e institutos de investigación, gracias a la participación en publicaciones nacionales e internacionales de alto impacto científico.

De igual forma, este conocimiento científico generado debe ser aprovechado para las celebraciones de reuniones de carácter internacional (congreso, encuentro, seminario, jornadas) cuya temática sea la específica de nuestro proyecto de investigación con todas sus especialidades (arqueología, historia, antropología, arqueometría, geografía, ornitología, medio ambiente, etc.). Será de vital importancia el desarrollo de esta actividad por parte de todo el equipo científico que forma parte de este proyecto de investigación para dar a conocer nuestros trabajos y la importancia de nuestros estudios y similares en la zona. La celebración de este tipo de encuentro sirve para el intercambio de conocimiento, generación de nuevas ideas, mejorar nuestras habilidades científicas e interpretativas, conocer a otros investigadores, y generar un reconocimiento hacia nuestra labor y hacia nuestra disciplina científica. Hay que señalar que en el pasado año de 2024 tuvimos el privilegio de organizar

el XIII Encuentro de Arqueología del Suroeste Peninsular, del 25 al 27 de octubre (Cádiz/Benalup-Casas Viejas) <https://encuentroarqueologiasuroeste24.com>, cuyos resultados fueron excelentes, ya que se presentaron 67 comunicaciones y 18 pósteres. Trabajos que serán publicados en una monografía en el próximo año de 2026.

Por último, pero no menos importante, el conocimiento científico generado por este proyecto de investigación debe servir también para su divulgación a la sociedad, la cual tiene derecho a ser partícipe de los resultados científicos, en especial, cuando éstos están relacionados con los recursos patrimoniales de nuestro entorno, ya que consideramos que tan solo se respeta aquello que se conoce. En este sentido, estamos llevando a cabo un amplio programa de difusión patrimonial con el título de *Vida y Muerte en la Janda Prehistórica* para dar a conocer los resultados obtenidos en nuestras investigaciones. Hemos realizado ya nueve exposiciones temporales en los municipios próximos de Benalup-Casas Viejas, Facinas, Tarifa, Barbate, Alcalá de los Gazules, Medina Sidonia y Zahara de los Atunes, y también en los más alejados como Cádiz y Villamartín, donde la población local ha podido acceder de forma visual, y acompañadas de conferencias, mesas redondas, talleres para escolares, grupos, etc., el mundo funerario de estas sociedades de la Prehistoria reciente (Fig. 9).



Figura 9. Dos pósteres de los dieciséis que conforman la exposición itinerante de “Vida y Muerte en la Janda Prehistórica”.

6. MEJORA DEL DESARROLLO SOCIOECONÓMICO DE LA COMARCA DE LA JANDA

Toda la información generada por el equipo de investigación podrá ser aprovechada por otros sectores de actividad próximos, como el turismo. Así, consideramos que para una correcta valoración y adecuación para la exposición pública de los centros de interpretación y visita a yacimientos es necesaria una adecuada información del sitio. De esta forma, gracias a los resultados de una investigación de calidad, se contribuirá al desarrollo socioeconómico de la comarca a través del impulso del turismo cultural y natural. Este tipo de turismo cultural revierte a su vez positivamente en los yacimientos y en los paisajes naturales, en la medida en que contribuye al mantenimiento y protección de aquellos, ya que por las razones de los beneficios económicos y socioculturales, terminan por implicar la participación de las poblaciones de la comarca.

Partimos de la base de que la interdisciplinariedad es el principio que permite el desarrollo de una tarea en común por parte de agentes que proceden de distintas disciplinas superando las fronteras existentes. Por tanto, para nosotros es primordial la integración de las distintas perspectivas, la combinación de enfoques, capacidades y habilidades de distintas áreas de conocimiento, que resultan fundamentales para el correcto desarrollo de cualquier proyecto científico de estas características.

El estudio de las representaciones gráficas rupestres de los abrigo de la zona, cuyos resultados serán expuestos mediante realidad virtual en el Centro de Interpretación “Cádiz Prehistórico” (Benalup-Casas Viejas), junto con la excavación arqueológica de distintas estructuras funerarias deparará la presencia de interesantes restos arquitectónicos y sus respectivos ajuares funerarios, los cuales serán merecedores de su Puesta en Valor, como una estrategia básica en el desarrollo socioeconómico de la comarca de La Janda. Así, el aumento en la demanda de visitas se ha visto claramente duplicado en los últimos años como consecuencia del incremento de desplazamientos cortos en el tiempo hacia zonas con historia, belleza medioambiental y oferta cultural, como es la provincia de Cádiz. El privilegiado entorno natural del que forma parte la antigua laguna de La Janda, unido a la explotación turística que está experimentando la zona de forma imparable en distintos sectores como son la hostelería, turismo deportivo, rural y el cada vez más en alza turismo cultural, justifican en sí el resultado científico de este proyecto. Así, ante la demanda cultural de la sociedad, se hace necesario la ampliación en nuestra zona de estudio de un atractivo turístico como éste alternativo al de sol y playa, que como todos sabemos está restringido a épocas del año concretas. Todo ello, nos permitirá esbozar un modelo coherente de actuación, y la gestión de la propuesta más adecuada de musealización de algunas de las necrópolis desde un planteamiento sostenible e integrador; con el objeto, por un lado, de que la visita sea una experiencia enriquecedora y agradable, mientras que, por otro, refuerce en el visitante la comprensión y el aprecio por el Patrimonio Histórico y la necesidad de su conservación.

En definitiva, un proyecto de estas características debe servir como motor de desarrollo socioeconómico y de rentabilidad social, ambiental, cultural y económica, a la vez que de mejora de los niveles de progreso y bienestar social de los habitantes de la comarca de La Janda.

7. BIBLIOGRAFÍA

- BREUIL, H.; BURKITT, M.C. (1929): *Rock Paintings of Southern Andalusia. A Description of a Neolithic and Copper Age Art Group*. Clarendon Press, Oxford.
- BREUIL, H.; VERNER W. (1917): Découverte de deux centres dolméniques sur les bords de la Laguna de la Janda (Cadix). *Bulletin Hispanique*, XIX, pp. 157-188.
- LAZARICH, M. (2007): *Ritos ante la muerte. La Necrópolis de Paraje de Monte Bajo (Alcalá de los Gazules, Cádiz)*. Servicio de publicaciones. Universidad de Cádiz, Cádiz.
- LAZARICH, M., Y CASTAÑEDA, V. (2023): Memoria de la intervención de actividad arqueológica de urgencia en el área recreativa del embalse del Celemín. Excavación del tholos de Peñarroyo I. Delegación Territorial de Cultura de Cádiz. Junta de Andalucía.
- LAZARICH M., GOMAR A. M^a, RUIZ A., TORRES F., RAMOS-GIL, A., Y M^a J. CRUZ, (2012): Las manifestaciones rupestres postpaleolíticas del entorno de la Laguna de La Janda (Cádiz): nuevas perspectivas de estudio, Seminario de Arte prehistórico (Valencia) 2011. *Varia X*, pp. 179-207.
- LAZARICH, M.; RAMOS-GIL, A.; CARRERAS, A. M^a; BRICEÑO, E. M^a; FERNÁNDEZ DE LA GALA, J. V.; RICHARTE, M^a J.; NÚÑEZ, M.; VERSACI, M. (2011): Contribución al conocimiento de las costumbres funerarias del III y II milenios A.C. en la Baja Andalucía: la necrópolis de Paraje de Monte Bajo. En *Memorial Luis Siret. I Congreso de Prehistoria de Andalucía*. Consejería de Cultura. Junta de Andalucía, Sevilla, pp. 557–560.
- LAZARICH, M.; BRICEÑO, E.; CRUZ, M^a J.; SAÑUDO, J.; RAMOS-GIL, A. (2013): Las necrópolis megalíticas del entorno de la Laguna de La Janda (Cádiz). En Jiménez, J.; Bustamante, M García, M. (Coord.): *VI Encuentro de Arqueología del Suroeste Peninsular*. Villafranca de los Barros, pp. 208-228.
- LAZARICH, M.; RAMOS-GIL, A.; VERSACI, M.; NARVÁEZ, M. (2018): La necrópolis megalítica del Tajo de las Figuras (Benalup-Casas Viejas, Cádiz). En *De Gibraltar Aos Pirenéus. Megalitismo, Vida e Morte na Fachada Atlántica Peninsular*. Fundación Lapa do Lobo: pp. 501-518.
- LAZARICH, M., RAMOS-GIL, A., GONZÁLEZ-PÉREZ, J.L. PREHISTORIC BIRD WATCHING IN SOUTHERN IBERIA? THE ROCK ART OF TAJO DE LAS FIGURAS RECONSIDERED. (2019) *Environmental Archaeology*, 24 (4), pp. 387-399. <https://doi.org/10.1080/14614103.2018.1563372>
- LAZARICH, M. Y RAMOS-GIL, A. (2020): Birds in rock art from hunter-gatherers and the first agro-pastoral communities in the Iberian Peninsula. *Advanced studies on the archaeology and history of hunting, vol. 2.1. Advanced studies in ancient iconography II*. Grimm, O. (Ed), Abu Dhabi, United Arab Emirates, NYUAD/New York University, pp. 179-200.
- LAZARICH, M., CASTAÑEDA, V., GOMAR, A., RAMOS-GIL, A., VERSACI, M., RUIZ-TRUJILLO, A., TORRES, F., DE CASO, M., COSTELA, Y., MESA, M. Y NARVÁEZ, M. (2024): “The megalithic necropolis and its connection to the rock painting at the southern tip of the Iberian Peninsula”. pp. 97-110. En Caninas, J., Pereira, T., Félix, P., y Gaspar, I. (Eds.): *Tumuli and Megaliths in Eurasia*. Cambridge Scholars Publishing.

- MAS CORNELLÁ, M. (2005): La cueva del Tajo de las Figuras. Madrid. UNED.
- MERGELINA, C. DE (1924): Los focos dolménicos de la Laguna de la Janda. *Memorias de la Sociedad Española de Antropología, Etnografía y Prehistoria*, III, pp. 97-126.
- VV.AA. (2010) *Manual de buenas prácticas del itinerario cultural del Consejo de Europa* “Camino de arte rupestre prehistórico”. Instituto europeo de itinerarios culturales.
<https://www.prehistour.eu/>

HACIA LA DESCARBONIZACIÓN DE LA FLOTA PESQUERA ANDALUZA

FÁTIMA CALDERAY CAYETANO; LUCÍA JIMÉNEZ ÁLVAREZ Y VANESA DURÁN GRADOS¹

1. INTRODUCCIÓN – 2. OBJETIVOS – 3. METODOLOGÍA – 4. RESULTADOS –
5. CONCLUSIONES

RESUMEN

Entre el 60-90% de las emisiones procedentes de actividades antropogénicas son producidas por el transporte marítimo contribuyendo en gran parte al cambio climático. Este tipo de contaminación no sólo afecta al litoral costero, sino que crea una serie de sucesiones sumamente relevantes para el ecosistema como son las alteraciones en los ciclos biogeoquímicos, siendo un claro ejemplo el ciclo del carbono. Es por ello que esta comunicación, se centrará en cuantificar las emisiones contaminantes procedentes de la flota pesquera andaluza y su influencia sobre la calidad del aire, al calentamiento global y consecuentemente al cambio climático. Una vez cuantificadas dichas emisiones, también se cuantificarán los beneficios que se podrían obtener si se utilizaran sistemas alternativos energéticos tanto en la forma de operar de los barcos como en los combustibles usados con el objeto de mitigar y reducir el impacto antropogénico.

Esta comunicación se centrará en los procedimientos de cálculo de emisiones en un barco pesquero para posteriormente extrapolarlo a la flota que se desee estudiar, así como, mediante la aplicación de un modelo simular las distintas situaciones de los barcos durante la navegación, así como el uso de combustibles alternativos.

Palabras clave: flota pesquera; emisiones; contaminación; combustibles.

ABSTRACT

Between 60-90% of emissions from anthropogenic activities are produced by maritime transport, which contributes significantly to climate change. This type of pollution not only affects the coastline but also creates a series of highly relevant events for the ecosystem, such as alterations in biogeochemical cycles, a clear example of which is the carbon cycle. Therefore, this communication focuses on quantifying polluting emissions from the Andalusian fishing fleet and their influ-

¹ Grupo investigación Eficiencia Energética en el Transporte Marítimo. Departamento de Máquinas y Motores Térmicos. Universidad de Cádiz.

ence on air quality, global warming, and consequently climate change. Once these emissions are quantified, the benefits that could be obtained from the use of alternative energy systems, both in the way ships operate and in the fuels used, would be quantified, in order to mitigate and reduce the anthropogenic impact.

This paper will focus on procedures for calculating emissions from a fishing vessel and then extrapolating them to the fleet under study. It will also use a model to simulate the various situations encountered by vessels while sailing, as well as the use of alternative fuels.

Keywords: fishing fleet; emissions; pollution; fuels.

1. INTRODUCCIÓN

La mejora de la eficiencia energética es decisiva para la competitividad, la seguridad del suministro y para el cumplimiento de los compromisos en materia de cambio climático contraídos en virtud del Protocolo de Kyoto.

A finales de 2006, la UE se comprometió a reducir su consumo anual de energía primaria en un 20% para 2020. El 22 de junio de 2011, la Comisión Europea propuso un nuevo conjunto de medidas para aumentar la eficiencia energética con el fin de colmar la laguna y volver a encarrilar a la UE.

Dentro de estas actuaciones se incluye a la pesca, porque la pesca es uno de los métodos de producción de alimentos más intensivos en energía en el mundo, dependiendo casi por completo de los combustibles fósiles. En 2000, las flotas pesqueras del mundo eran responsables de aproximadamente el 1,2 por ciento del consumo mundial total de combustible, lo que corresponde a 0,67 litros de combustible por kg de pescado y mariscos vivos desembarcados.

Debido principalmente a que la capacidad pesquera es mayor que las poblaciones de peces disponibles, muchas flotas pesqueras de la UE se han enfrentado a problemas económicos. Con preocupaciones adicionales sobre los precios del petróleo desde 2005, la eficiencia energética es clave para la rentabilidad y se ha convertido en un problema político y científico.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivos científico-tecnológicos

Se parte de la base de que un primer objetivo es suministrar al sector pesquero todo aquello que permita el establecimiento de una mayor cultura de eficiencia energética y ambiental, mediante el conocimiento de la relación que existe entre consumo energético y emisiones para cada barco en particular, de tal forma que sean los propios armadores quienes, en el futuro, propongan soluciones de mejora.

2.2. Objetivos económicos

Dado que el consumo de combustible representa la partida más importante en los costes de explotación del tipo de buques estudiados, el objetivo primordial ha sido proponer soluciones de mejora de la eficiencia energética que puedan ser aplicadas por la flota existente de forma más económica.

2.3. Objetivos medioambientales

Junto al objetivo de reducción del consumo basado en una mayor eficiencia energética, se conseguiría un ahorro económico, que al mismo tiempo conllevaría otro objetivo de tanta o mayor importancia como es el ecológico porque la reducción del consumo conllevaría al mismo tiempo una reducción de todo tipo de emisiones contaminantes, tanto la de los GEI como aquellas otras perjudiciales para los seres vivos.

En definitiva, los objetivos trazados en el estudio llevado a cabo son los siguientes:

1. Recopilación de datos de consumos de energía diarios, así como tiempos y velocidades que los barcos emplean durante las diferentes fases de operación, es decir navegación y arrastre.
2. Cuantificación de emisiones que provocan esos consumos energéticos.
3. Comprobación mediante medidas reales a bordo con equipos embarcados.
4. Propuestas de mejoras medioambientales.
 - 4.1. Mejoras mediante medidas operacionales como puede ser la reducción de velocidad durante la fase de Navegación.
 - 4.2. Empleo de combustibles alternativos.

3. METODOLOGÍA

Se ha realizado un inventario energético y de emisiones para todos los barcos (arrastres y de cerco) de la flota de la Comarca Noreste de Cádiz (Sanlúcar de Barrameda, Chipiona, Rota y el Puerto de Santa María) mediante la metodología bottom-up, tal como sigue:

- Para el análisis energético y de emisiones, basados en la velocidad, calado, situación, distancia recorrida, estado de suciedad del casco y hélice, etc. se calculan los consumos energéticos y las emisiones producidas en cada una de las fases de Navegación barco por barco.

Para cumplir los objetivos, se ha realizado el trabajo en varias etapas:

1. Recopilación de datos de consumos de energía diarios.
2. Cálculo de emisiones que provocan esos consumos energéticos.
3. Comprobación de los factores de emisión mediante medidas reales a bordo con equipos embarcados.

Una vez analizados los datos de consumo y operatividad, se han propuesto las soluciones para el ahorro energético. Para realizar el inventario energético y de emisiones se han utilizado tanto datos suministrados por los Armadores como medidas realizadas a bordo.

El inventario de emisiones incluye los contaminantes emitidos a la atmósfera por la flota pesquera teniendo en cuenta tanto los gases de efecto invernadero como los perjudiciales para los seres vivos.

Las emisiones procedentes de instalaciones marinas en general, incluidas las de los barcos de pesca, provienen de las siguientes fuentes:

1. Máquinas Principales usadas para la propulsión.
2. Máquinas auxiliares usadas para servicios dentro del barco.

Para desarrollar el estudio, y refiriéndonos exclusivamente a los barcos que compone la flota pesquera del Grupo Noroeste, se deben tener en cuenta las situaciones y formas de operar en la que se encuentran en cada momento las máquinas instaladas a bordo, ya sean las máquinas principales o las auxiliares. Nos referimos tanto a barcos faenando como a los que están atracados mientras se realiza la carga o la descarga y/o mientras esperan una próxima salida (trayecto).

Consecuentemente, se han considerado las situaciones de: barco navegando en tránsito hacia caladero, en situación de velocidad reducida durante las faenas de arrastre, la de maniobra, las de atraque y desatraque y la de barco atracado.

Se ha considerado, claro está, en un solo segmento: punto de partida-próximo atraque. Es por ello, que, para disminuir los grados de incertidumbres, el método más apropiado a emplear es el bottom-up que analiza cada fuente de emisión. Además, con este procedimiento no se necesita ningún dato estadístico de venta de combustible.

En todo caso, el objeto de cuantificar las emisiones de estas máquinas en este proyecto no debería ser otro que su control para la posterior toma de decisiones. Este control, para las máquinas ya instaladas a bordo se puede ejercer mediante dos mecanismos. Control de la tecnología de la combustión combinada con el tratamiento de gases de escape, control operacional del buque ajustando la velocidad a la de mínimo consumo.

El análisis se ha extendido desarrollando un estudio de emisiones en el caso hipotético de que los motores utilizaran combustibles y/o sistemas de propulsión alternativos. Concretamente, se ha estudiado el empleo de LNG por ser el combustible alternativo mayormente utilizado actualmente en las instalaciones marino/marítimas.

La figura 1 representa las diferentes situaciones operacionales de cada barco en la que sólo se describe la repercusión de las emisiones producidas por el transporte en sí a bordo del barco tanto mientras se navega como cuando está faenando en caladero. No se contabilizan las emisiones que causan todos los equipos portuarios de carga y descarga de mercancías. En esos procesos se emplea todo tipo de maquinaria de puerto como tractores, grúas, camiones, etc. lo que significa que las emisiones que producen estos equipos en algunos puertos son altamente significativas (aproximadamente el 30% de

las emisiones que se producen en los Puerto provienen de la maquinaria portuaria). Estas máquinas serían estudiadas independientemente de los barcos.

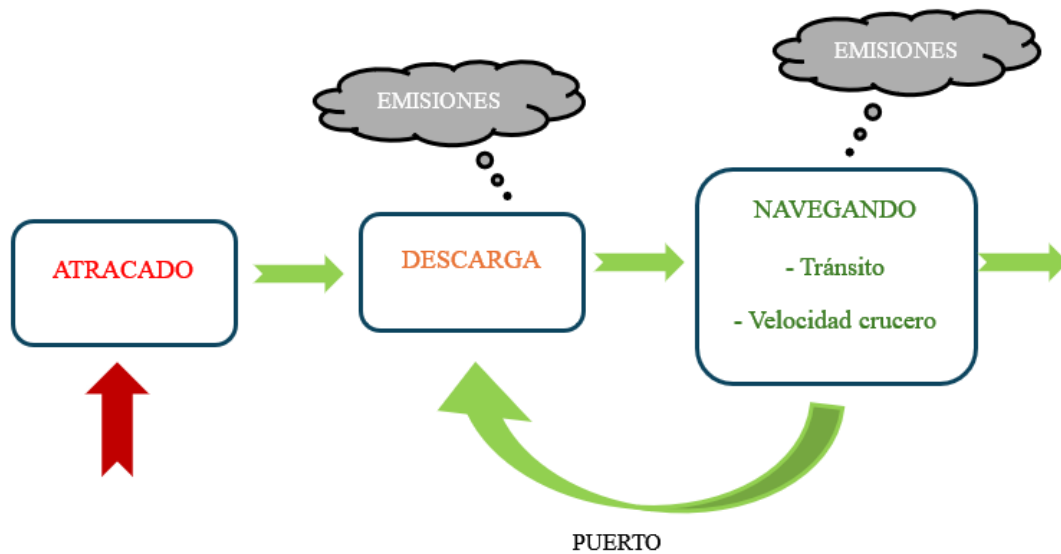


Figura 1. Diagrama de flujo de contribución de emisiones procedentes de la navegación como fuente móvil. Fuente. Elaboración propia.

En este estudio, se realiza el cálculo del total de las emisiones contaminantes como son NO_x , SO_2 , PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ y CO , así como los Gases de efecto invernadero (CO_2 , CH_4 , N_2O y NMVOC) para toda la flota pesquera de la costa Noroeste de Cádiz. Todos los contaminantes están muy relacionados con la calidad del combustible y con el proceso de combustión.

Se ha desarrollado el estudio barco por barco teniendo en cuenta todos los viajes y durante un año (260 días). Por cada trayecto, se ha estudiado por separado las emisiones producidas anualmente en modo navegación de las que tienen lugar faenando en caladero. La suma total será la correspondiente a ese barco. Se aplica el mismo procedimiento para toda la flota objeto del estudio de esta investigación.

Normalmente para la flota mercante, los datos de barco navegando, tendrán que ser suministrados por el sistema AIS y los de barco atracado y en maniobra por las Autoridades Portuarias. Estos datos habría que cruzarlos con las bases de datos de Lloyd's. En este caso, partimos de la información de los propios armadores lo que disminuye significativamente el grado de incertidumbres.

Esos datos se han introducido en el modelo SENEMI que es el que se ha empleado para el cálculo. Este modelo utilizará todos aquellos algoritmos que tienen una influencia directa en la energía consumida por cada barco en el proceso completo desde que sale de Puerto hasta la descarga de la mercancía como se verá a continuación.

Existen varias metodologías para realizar estos cálculos. Concretamente, el grupo de trabajo que ha desarrollado esta investigación ha estudiado un total de ocho. De esas ocho metodologías, siete son prácticamente coincidentes con diferencias no superiores al 10% cuando se trata tanto de la potencia desarrollada por motores principales como del consumo energético. Es una incertidumbre totalmente aceptable. Sin embargo, las

potencias de auxiliares sí que representa mayores desviaciones (hasta un 20% en algunos casos) pero siempre dentro del margen de incertidumbres de estos inventarios.

En este estudio no se han considerado las emisiones producidas por los motores auxiliares por lo que, a los resultados obtenidos, habría que sumarles un 10% más.

En la figura 2 se puede apreciar uno de los buques de estudio donde se han realizado mediciones in situ de las emisiones contaminantes emitidas a la atmósfera.



Figura 2. Medición de emisiones en uno de los barcos de la flota de Sanlúcar de Barrameda. Fuente. Elaboración propia



Figura 3. Equipo TESTO 350 Marine. Fuente. Elaboración propia

En la figura 3 se muestra el equipo utilizado en el estudio para la realización de las medidas de emisiones de óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO) y dióxido de carbono (CO_2).

4. RESULTADOS

A continuación, se reflejan los resultados obtenidos para los 10 barcos arrastreros y los diez de cerco en los que se han hecho tests de emisiones que, una vez validadas, se han extrapolado a toda la flota del GALP al objeto de obtener los resultados energéticos y de emisiones para un año completo.

Se han analizado en todas las situaciones tanto de navegación en condiciones meteorológicas adversas como de mantenimiento de casco y hélice.

En el gráfico 1 se muestra la energía consumida por los buques arrastreros y los buques de cerco considerando la fase de navegación y la fase de actividad en el caladero, donde destaca especialmente la diferencia de energía consumida en el arte de pesca de arrastre frente al arte de cerco.

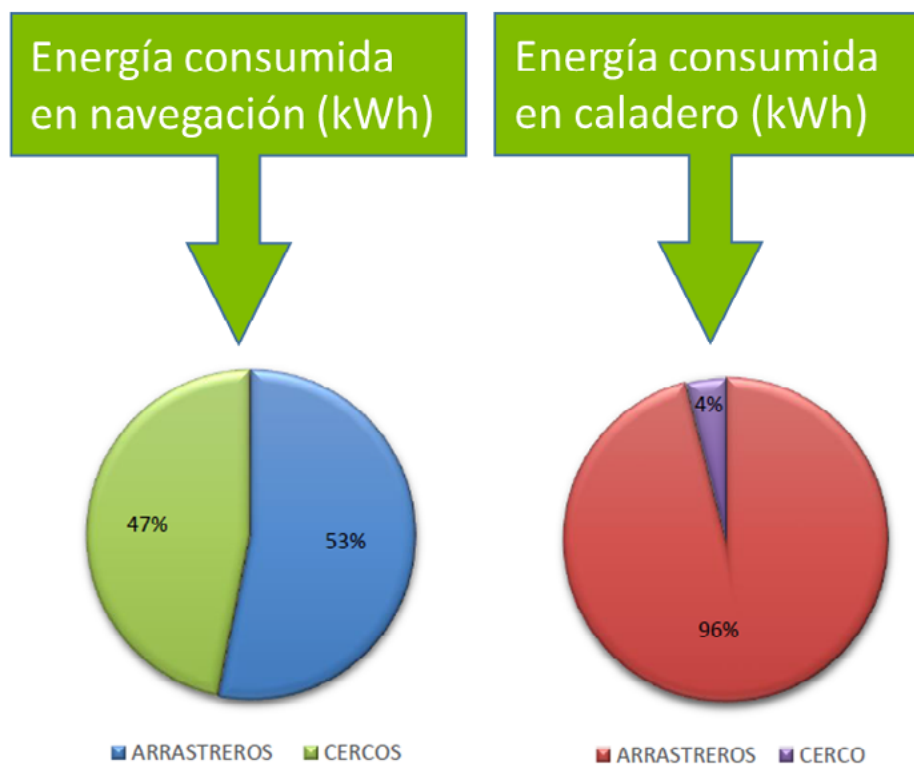


Gráfico 1. Energía consumida por los barcos de estudio durante distintas fases de navegación.

En el gráfico 2 se muestran para cada uno de los contaminantes los resultados obtenidos según el tipo de combustible utilizado, ya sea diésel o LNG para los buques de pesca arrastreros. Y en el gráfico 3 se muestran los resultados obtenidos para los buques de cerco.

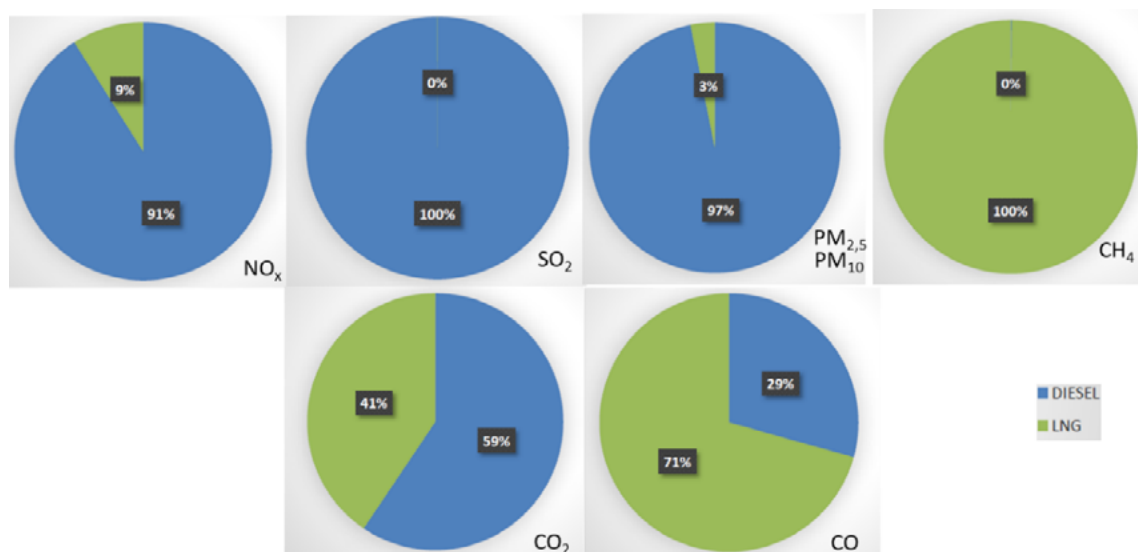


Gráfico 2. Total de contaminantes emitidos con combustible diésel y LNG para buques arrastreros

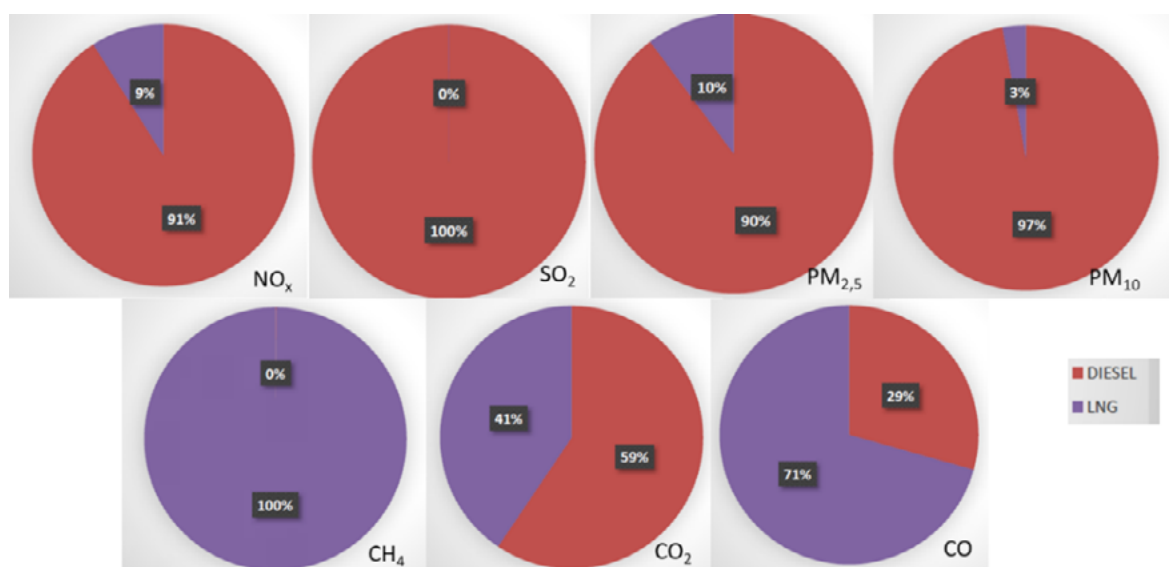


Gráfico 3. Total de contaminantes emitidos con combustible diésel y LNG para buques de cerco

En la tabla I se puede ver las toneladas de contaminantes emitidas a la atmósfera por los diferentes buques de estudio (arrastreros y de cerco) pero con pequeñas variaciones de la velocidad para mejorar la eficiencia energética del buque.

Tabla I. Comparativa de emisiones entre las velocidades usuales actualmente y las que se emitirán en caso de pequeñas disminuciones de velocidades.

TONELADAS DE CONTAMINANTES A DISTINTAS VELOCIDADES										
VELOCIDAD	BUQUES	NO _x	SO ₂	PM _{2,5}	PM ₁₀	CO ₂	CO	CH ₄	N ₂ O	COVNM
9 NUDOS	ARRASTREROS	146,94	120,23	11,41	7458,55	6,01	0,11	0,38	0,38	5,57
	CERCOS	42,86	35,07	3,33	2175,41	1,75	0,03	0,11	1,62	1,62
8 NUDOS	ARRASTREROS	115,81	94,75	8,25	8,99	5878,20	4,74	0,09	0,30	4,39
	CERCOS	33,78	27,64	2,56	2,62	1714,48	1,38	0,03	0,09	1,28
7 NUDOS	ARRASTREROS	88,30	72,24	6,29	6,86	4481,82	3,61	0,07	0,23	3,34
	CERCOS	25,75	21,07	1,83	2,00	1307,20	1,05	0,02	0,07	0,98

5. CONCLUSIONES

La disminución de la velocidad de tránsito disminuye un 20% por cada nudo menos el tonelaje de emisiones contaminantes emitidas por cada buque.

Se hace el análisis comparativo sólo con LNG porque es el único combustible del que se conocen los valores de sus factores de emisión además de por ser un combustible alternativo de primera línea en la industria naval. En los gráficos se puede observar que con el uso de LNG las emisiones de óxido de azufre y partículas prácticamente desaparecerían, las de óxido de nitrógeno y emisiones de GEI bajarían en un porcentaje muy significativo para los NO_x y menos significativos para los GEI. Además, el LNG en combinación con una pila de combustible diésel/carbonato de ciclo combinado podría reducir las emisiones de CO₂ hasta en un 80%. A pesar de estas ventajas, los buques no lograrán cero emisiones de CO₂ solo con el LNG porque éste sigue siendo un combustible fósil, y plantea el desafío de las fugas del metano (potente gas de efecto invernadero) causado por la combustión incompleta en el motor del barco. El metano se emite a la atmósfera, contrarrestando en parte la reducción de las emisiones de CO₂. Actualmente los diseñadores trabajan en esta línea para evitar dichas fugas.

En cualquier caso, se debería aplicar el modelo SENEMI aunque fuera a un barco tipo de cada flota al objeto de adecuar la embarcación a una velocidad de crucero eficiente.

En este sentido, es una realidad que el hecho de tener un sistema monitorizado hace que mejore la propia eficiencia energética porque lo importante realmente no es cuánto consume el barco, sino si se hace de la manera más eficiente. Para aplicar este modelo no sería instalar ningún sistema de adquisición de datos porque todos los necesarios son conocidos por los armadores. Un buen sistema de medición de consumo nos puede indicar si nuestra instalación en general está trabajando al rendimiento óptimo. Si, por ejemplo, el casco está sucio, se reflejará en el consumo como queda demostrado en este estudio.

Por lo tanto, este tipo de medida la podemos definir como de ahorro de combustible indirecto: Por sí misma no aporta una reducción directa del consumo, no obstante, proporciona una información que puede ser de gran ayuda a la hora de tomar decisiones sobre el gobierno de la embarcación, haciéndola mucho más eficiente.

HACIA LA DESCARBONIZACIÓN DE LA INDUSTRIA MARÍTIMA EN EL MEDITERRÁNEO

VANESA DURÁN-GRADOS¹; CATHERINE CABRERA-ESCOBAR²; JUAN MORENO-GUTIÉRREZ²;
RUBÉN RODRÍGUEZ-MORENO² Y EMILIO PÁJARO-VELÁZQUEZ²

1. INTRODUCCIÓN – 2. RELEVANCIA DEL PROYECTO – 3. OBJETIVOS – 4. METODOLOGÍA –
5. DIMENSIÓN INTERNACIONAL DEL PROYECTO – 6. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO –
7. PLAN DE TRABAJO – 8. RESULTADOS ESPERADOS – 9. PROPUESTAS – 10. REFERENCIAS

Resumen

Dado que el transporte marítimo mundial depende de los combustibles fósiles y representa casi un 3% de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero, la descarbonización del sector es una prioridad. Los óxidos de azufre y nitrógeno y las partículas emitidas por los buques son contaminantes del aire y peligrosos para el medio ambiente y la salud humana, mientras que los GEI, además, contribuyen al cambio climático. En este contexto, la presente propuesta se centra en la reducción de las emisiones del transporte marítimo en el mar Mediterráneo aplicadas a los buques y puertos marítimos de diferentes maneras.

Por un lado, la optimización del consumo de energía y las emisiones para el buque durante todos los modos de navegación debería hacerse mediante soluciones operativas, aplicando un modelo particular instalado a bordo prototipo utilizando técnicas matemáticas e inteligencia artificial, como podrían ser la lógica y el aprendizaje automático para cuantificar la potencia desarrollada por los motores principales. Este modelo se utilizaría tanto para los combustibles fósiles como para biocombustibles 2G. En ambos casos, se utilizarían equipo de medición a bordo para cuantificar las emisiones de gases contaminantes en tiempo real (GEI, SO_x, NO_x y partículas). Para ello, participarán dos navieras que permitirán la instalación a bordo de cada buque del equipo necesario para realizar las mediciones, así como la adaptación de sus instalaciones al uso de biocombustible.

Por otra parte, se analizarán las emisiones de GEI en los puertos marítimos porque aún es necesario mejorar la calidad de los datos contenidos en las bases de datos existentes. Esto plantea importantes problemas para estimar con precisión las emisiones asociadas con las actividades de los buques en el puerto. Se selec-

1 Directora Grupo de Investigación Eficiencia Energética en el Transporte Marítimo (RNM920).

2 Grupo de Investigación Eficiencia Energética en el Transporte Marítimo (RNM920).

cionarían tres puertos pilotos en los que se podría probar el funcionamiento de los métodos de imputación en la estimación de las emisiones. Al mismo tiempo, se instalarían en los puertos piloto sensores de control de emisiones de aire/sistemas basados en minicentrales electrónicas.

En resumen, los principales objetivos son:

- *investigar los esfuerzos globales para descarbonizar el transporte marítimo (incluidos los puertos marítimos), analizando los principales motores de la transición verde y proponer las direcciones para futuras investigaciones en este viaje hacia la descarbonización.*

Palabras claves: Transporte Marítimo; Emisiones contaminantes; Navegación Marítima; Puertos de Mar; Combustibles alternativos; Modelos de optimización de Eficiencia Energética.

1. INTRODUCCIÓN

El sector marítimo ha aumentado sus emisiones de gases de efecto invernadero un 20% en la última década, operando con una flota envejecida que funciona casi exclusivamente con combustibles fósiles.

La descarbonización completa para 2050 requerirá inversiones masivas y podría conducir a costos más altos de logística marítima, lo que aumenta las preocupaciones de los países vulnerables dependientes del transporte marítimo como pueden ser los pequeños estados insulares en desarrollo. Más allá de los combustibles menos contaminantes, la industria necesita avanzar más rápido hacia soluciones digitales como la Inteligencia Artificial para mejorar la eficiencia y la sostenibilidad. Todo ello teniendo en cuenta que se espera que el comercio marítimo crezca más de un 2% entre 2024 y 2028.

Según United Nations Trade and development (UNCTAD), el sector marítimo se encuentra en un momento crucial, al enfrentarse al formidable desafío de la descarbonización y a la vez navegar por vientos económicos y geopolíticos adversos. Las emisiones de gases de efecto invernadero de la industria marítima, que representan el 3% del total mundial, han aumentado un 20% en la última década. Sin medidas correctivas, las emisiones podrían alcanzar el 130% de sus niveles de 2008 para 2050. La situación se complica por el envejecimiento de la flota mundial. A principios de 2023, la edad media de los buques era de 22,2 años. Con más de la mitad de los buques que ya tienen más de 15 años, muchos son demasiado viejos para ser adaptados o demasiado jóvenes para ser desguazados.

La urgencia de la descarbonización es evidente, pero el sector se enfrenta a inversiones multimillonarias en medio de la incertidumbre sobre los mejores métodos de transición energética. Los combustibles alternativos son prometedores, pero su adopción se encuentra en una fase inicial, y el 98,8% de la flota sigue navegando con combustibles fósiles. El aspecto positivo es que el 21% de los buques de nueva construcción operarán con alternativas más limpias.

Otro nivel de complejidad es la cuestión de quién es responsable de la transición. Los principales estados de pabellón, Liberia, Panamá y las Islas Marshall, que representan un tercio de las emisiones de carbono del transporte marítimo, serán responsables de hacer cumplir las nuevas normas ecológicas para el transporte marítimo. Pero la responsabilidad de invertir en combustibles alternativos, instalaciones de abastecimiento de combustible y buques más ecológicos recae principalmente en los armadores, los puertos y la industria productora de energía. La siguiente gran prueba para el sector es la de abordar este complejo enredo de prioridades económicas, reglamentarias y medioambientales. Las decisiones sobre medidas de descarbonización son adoptadas por la Organización Marítima Internacional (OMI) y sus miembros.

La pesada carga financiera de la transición del sector marítimo hacia una energía más limpia podría afectar desproporcionadamente a las naciones más vulnerables. Las estimaciones indican que la descarbonización de la flota mundial para 2050 podría requerir entre 8.000 y 28.000 millones de dólares anuales. La infraestructura para combustibles 100% neutros en carbono podría necesitar un monto aún mayor de 28.000 millones a 90.000 millones de dólares cada año. Si se logra, la descarbonización total podría duplicar los costos anuales de combustible.

El proyecto aboga por un apoyo específico para mitigar los impactos, incluyendo un impuesto o contribuciones sobre las emisiones de combustibles, que podrían ser utilizados para ayudar a hacer que los puertos en los PEID y los PMA estén más preparados para el cambio climático, sean eficientes y conectados digitalmente.

2. RELEVANCIA DEL PROYECTO

Según UNCTAD, la contaminación atmosférica procedente de los buques es un problema ambiental importante en el Mediterráneo, que representa menos del 1% de los océanos del mundo, pero es uno de los mares más concurridos del mundo, y que sustenta el 20% del comercio marítimo. Cerca de las costas densamente pobladas, los contaminantes procedentes de buques, incluidos los óxidos de azufre (SO_x), los óxidos de nitrógeno (NO_x) y las partículas (PM) procedentes de la combustión del combustible, suponen graves peligros para la salud humana y los ecosistemas marinos. Reducir las emisiones atmosféricas de los buques reportaría muchos beneficios para la población (1.100 muertes prematuras anuales en el Mediterráneo), la naturaleza y en términos de mitigación del cambio climático. Para evitar efectos sobre la salud humana, el Mediterráneo ha sido declarado zona de control medioambiental (ECA), pero además de actuar contra estos gases contaminantes, para mitigar el cambio climático, también es necesario reducir las emisiones de dióxido de carbono.

En este sentido, se están produciendo cambios sustanciales en el caso de la industria marítima, donde es necesario un mayor compromiso de la eficiencia energética, principalmente mediante el desarrollo de criterios de optimización que mejorarán considerablemente las emisiones para poder avanzar hacia el concepto de “cero emisiones”. Por ello, es necesario mejorar la eficiencia energética del complejo sistema energético de los buques.

Las energías renovables podrían aplicarse a los buques pequeños, pero para los grandes, en los que se utiliza una demanda elevada de energía, considerar el uso de

energías renovables, sólo podría ser una solución parcial. Para lograr reducciones de la intensidad de carbono en el transporte marítimo, nuestra propuesta se centra en tres objetivos fundamentalmente.

3. OBJETIVOS

Dado que el proyecto tiene como objetivo fundamental proponer acciones para descarbonizar el transporte marítimo que navega en aguas del mar Mediterráneo, incluidos los puertos, los equipos de manipulación de la carga, los buques atracados y fondeados, se centrará en tres objetivos específicos:

1. *Adopción de métodos alternativos de control que permitan gestionar y mejorar eficazmente la eficiencia energética de los buques.*
2. *El uso de combustibles alternativos.*
3. *Propuesta de prácticas que puedan contribuir a reducir las emisiones de carbono en los puertos marítimos.*

4. METODOLOGÍA

Debido a que las estrategias de control permiten mejorar la eficiencia energética del buque, se implementaría un control del sistema energético a bordo de varios buques de la manera siguiente:

4.1. Buque en Navegación

El objetivo de este estudio es proponer un enfoque holístico para el análisis de la eficiencia energética de los buques, considerando la interacción entre las condiciones climáticas, la estructura del buque y sus sistemas energéticos. Para abordar esta brecha, se desarrollará una herramienta que, aprovechando la simulación dinámica, considere los datos meteorológicos, las características de la estructura y el sistema de energía del barco. Además, el análisis tiene como objetivo responder a preguntas clave que han sido relativamente inexploradas en la literatura existente. Estas preguntas incluyen:

- ¿Cuál es el impacto de las diferentes tecnologías en diferentes condiciones climáticas?
- ¿Qué configuraciones son óptimas implementar para mejorar la eficiencia energética?
- ¿Qué pautas deben seguirse en el caso de la rehabilitación y qué consideraciones a la hora de diseñar un nuevo barco?
- ¿Cómo puede afectar la aplicación de una tecnología o lógica de control específica al rendimiento energético y económico, y cuáles son algunos valores de referencia iniciales que podrían tenerse en cuenta?

Para dar respuesta a esas preguntas, este proyecto implicaría el análisis de diferentes buques, cada uno caracterizado por diferentes sistemas de energía y lógicas operativas. La investigación explora cómo el rendimiento de las tecnologías de eficiencia

energética varía en diferentes condiciones climáticas, incluyendo el Mar del Norte, el Mar Mediterráneo y el Mar Caribe. Aquí, el análisis será para barcos que operan en el Mediterráneo, así como Puertos situados en el Mediterráneo.

La energía procedente de los motores de propulsión se analizaría aplicando un modelo particular prototipo instalado a bordo de los barcos en estudio para cuantificar la potencia desarrollada por dichos motores en tiempo real mediante el uso de técnicas matemáticas e inteligencia artificial. Debido a la complejidad del sistema energético de los buques, se propondrán diferentes soluciones de gestión para definir los valores óptimos de los parámetros de operación que permitan reducir el consumo de combustible y, por consiguiente, las emisiones de GEI.

El modelo se instalaría a bordo de los buques de las compañías navieras que participen en el estudio. Algunos de ellos se dedican a la navegación oceánica y otros al tráfico nacional.

Con la instalación a bordo del modelo SENEMI, [1], podría analizarse el funcionamiento de los motores de a bordo por medio de técnicas cada vez más extendidas, mediante actividades de monitorización [2]. Debido a la complejidad del sistema energético del buque, se propondrían diferentes soluciones de gestión con el fin de reducir el consumo de combustible [3] y optimizar la distribución de energía [4] teniendo en cuenta el rendimiento económico y medioambiental [5].

El modelo a optimizar instalado a bordo de cada barco, sería el que aparece en la ecuación 1

$$P_{transient}(kW) = \frac{P_{ref} \left(\frac{t_{transient}}{t_{ref}} \right)^{\left(\frac{2}{3} \right)} \left[\left(\frac{v_{transient}}{v_{ref}} \right)^n \right]}{\eta_j} (\eta_w \eta_f \eta_c \eta_t) \quad [1]$$

4.2. Uso de combustibles alternativos

El uso generalizado de combustibles fósiles es la principal fuente antropogénica de gases de efecto invernadero, responsable del cambio climático. En 2018, solo el 3,7% de la demanda de combustible para el transporte fue cubierta por energía renovable (93% de esta carga se cargan con biocombustibles). Los biocombustibles como el biodiésel de segunda generación han sido considerados alternativas prometedoras a los combustibles fósiles para el desarrollo sostenible en el sector del transporte, debido a su gran potencial para mitigar el cambio climático.

Los combustibles como el metanol ya han demostrado ser una solución que se puede aplicar, sin grandes problemas de infraestructura y producción y con problemas económicos que pueden superarse [6]; sin embargo, su uso probablemente no será suficiente para cumplir los objetivos del EEDI y el CII de 2025 y 2031 [7]. El amoníaco también se considera una opción, debido a la ausencia de carbono y al elevado rendimiento medioambiental [7]; no obstante, debe tenerse en cuenta el óxido de nitrógeno procedente de la combustión del combustible [8].

4.3. Emisiones en Puertos

En los puertos marítimos, una gran parte de las emisiones se producen por fuentes de emisión necesarias para manejar la cadena de suministro en el transporte global de carga (camiones y equipos de carga/descarga) en el recinto portuario. El cálculo de las emisiones es un proceso de varios pasos. Un inventario preciso y útil sólo puede desarrollarse después de prestar especial atención a las cuestiones de control de calidad y a los datos de actividad requeridos. Solo entonces se deben estimar las emisiones.

Se propone en este proyecto desarrollar un inventario de emisiones totales en cada Puerto como herramienta de toma de decisiones para priorizar las posibles medidas de reducción de las mismas que se incluirán en el plan que se elabore (por ejemplo, programa de reducción de la velocidad del buque), equipo terminal (por ejemplo, programa de reducción de tiempo a ralentí de los equipos portuarios) y embarcaciones portuarias. Se utilizarían sensores de control de emisiones de aire basados en minicentrales electrónicas en tres puertos piloto para validar el inventario de emisiones.

5. DIMENSIÓN INTERNACIONAL DEL PROYECTO

Según la UNCTAD, el transporte marítimo es esencial para la economía mundial, transportando más del 80% del volumen del comercio internacional y más del 70% de su valor en 2018. Las emisiones de los buques son fundamentales para reducir el impacto de la actividad humana en el planeta, incluidas las actividades relacionadas con el comercio internacional. El proyecto desarrollaría una base de conocimientos internacional y conclusiones globales, que constituirían un primer paso muy importante hacia la descarbonización del transporte marítimo. El proyecto está diseñado para realizar un estudio de la descarbonización del transporte marítimo en el Mar Mediterráneo, incluyendo tanto los buques oceánicos como el tráfico nacional, incluidos los puertos marítimos. La dimensión internacional y el valor que se puede obtener de una colaboración eficaz, así como del intercambio de conocimientos y experiencias, hace necesaria la participación de otros socios mediterráneos.

6. BENEFICIARIOS DEL PROYECTO

- La sociedad: Muertes prematuras.
- El ecosistema: Cambio Climático.
- La economía.
- Las navieras: Optimización del consumo de combustible.
- Los puertos: Control de emisiones.

7. PLAN DE TRABAJO

El plan de trabajo sirve como hoja de ruta para el proyecto, proporcionando una imagen clara de lo que se necesita hacer, cuándo se necesita hacerlo y cómo se hará y por quién. Ayuda a asegurar que todos los miembros del equipo están trabajando hacia el mismo objetivo y proporciona un punto de referencia para el seguimiento del progreso

y la gestión de riesgos. Un plan de trabajo bien elaborado es fundamental para el éxito del proyecto y debe revisarse y actualizarse periódicamente para reflejar los cambios en el entorno del proyecto.

Se adoptará una metodología de organización que utiliza el concepto de paquetes de trabajo (WP). En un proyecto transnacional o transfronterizo, los WP se refieren a unidades específicas de trabajo que deben completarse dentro de un determinado plazo.

8. RESULTADOS ESPERADOS

Los resultados esperados son un componente clave en el desarrollo de un proyecto de esta índole. Los resultados esperados, que pueden lograrse mediante la aplicación con éxito de este programa de trabajo, pueden considerarse como una etapa intermedia y preparatoria hacia el logro del objetivo específico del proyecto. El número de resultados esperados será uno para cada objetivo específico.

8.1. *Adopción de métodos alternativos de control que permitan gestionar y mejorar eficazmente la eficiencia energética de los buques en Navegación*

Se trata de definir el punto óptimo (mínimo consumo de combustible) de funcionamiento del motor para cada situación de navegación lo cual redundará en la mejora de la eficiencia energética [9]. Se considerarían parámetros ya estudiados como la densidad de energía, la densidad de potencia, la capacidad disponible, el tiempo de respuesta, el ciclo de vida y la eficiencia, junto con factores como, el impacto ambiental y la durabilidad [11]. También, se estudiaría la posibilidad de implementación de un sistema híbrido de almacenamiento de energía al objeto de controlar las fluctuaciones de energía, proponiéndose como una alternativa al almacenamiento de un solo sistema de energía [12,13]. La eficiencia general puede mejorarse mediante la implementación de tecnologías activadas térmicamente, como el enfriador de absorción, con el fin de aprovechar el calor residual de las pilas de combustible [14]. También se analizarían las turbinas de gas como solución, identificando beneficios en la reducción del impacto ambiental o de los requisitos de peso y volumen, en comparación con un motor de combustión interna, pero con menor eficiencia y, por lo tanto, mayor consumo de combustible [15]. Además, la implementación con pila de combustible de óxido sólido que puede mejorar la eficiencia general también sería analizada [16]. La recuperación del calor residual sería otra alternativa a analizar ya que se puede obtener una posible reducción del consumo de combustible que oscila entre el 4 y el 16% [17].

8.2. *Control de emisiones en Puertos*

En el caso del transporte marítimo en la zona de gestión portuaria de los puertos europeos (que normalmente llega hasta 60 km de la costa), las emisiones deberían reducirse en un 20% en 2030. Para que esto suceda, en algunos de estos puertos se están llevando a cabo varios desarrollos, como el aumento de la eficiencia (mediante la optimización de los procesos logísticos), la aplicación de energía en tierra (para que los barcos atracados puedan apagar sus generadores y tomar corriente de la red) y el abastecimiento de combustibles limpios (como GNL, biocombustibles y metanol) por transporte marítimo.

En el caso del Mar del Norte, en el caso del puerto de Porthos, esto ha sido posible gracias a proyectos de captura de CO₂ y desarrollos innovadores, como la producción de hidrógeno verde y biocombustibles. Todos estos proyectos en conjunto suponen una reducción de 23 millones de toneladas de carbono en el puerto y fuera de él (por ejemplo, mediante el uso de biocombustibles producidos allí). Esto es el 35% del objetivo holandés de reducción de carbono para 2030.

En esta misma línea, la Autoridad Portuaria de Róterdam pretende acelerar la reducción de sus propias emisiones de carbono. Hoy en día, la mayor parte del CO₂ de la Autoridad Portuaria es emitido por los buques, aunque también los automóviles y edificios emiten este contaminante. Se trataría de controlar 4.000 toneladas anuales en total.

9. PROPUESTAS

Se estudiarían los resultados que se obtendrían de las siguientes actuaciones:

- Reducciones de velocidad en barcos mercantes en las zonas de velocidad reducida cercanas a puerto.
- Uso de OPS en Puerto para barcos mercantes.
- Reducciones de velocidad en barcos de pesca durante las travesías a caladero.
- Instalación en puertos de una planta piloto de suministro de energía eléctrica mediante el uso de combustibles verdes.
- Instalación de sensores (biosensores y eNose) en todos los puertos al objeto de controlar sus emisiones en tiempo real.
- Auditorías energéticas en puertos al objeto de tomar medidas correctivas.

10. REFERENCIAS

1. Moreno-Gutiérrez, J. and Durán-Grados, V. Towards the declaration of the Strait of Gibraltar as an environmental controlled area. 2023. Marine Pollution Bulletin, 192 (2023) 115042
2. Karatuğ, Ç., et al., Strategy for ship energy efficiency based on optimization model and data-driven approach. Ocean Engineering, 2023. 279: p. 114397.
3. Bal Beşikçi, E., et al., An artificial neural network based decision support system for energy efficient ship operations. Computers & Operations Research, 2016. 66: p. 393-401.
4. Liu, H., et al., Hierarchical distributed MPC method for hybrid energy management: A case study of ship with variable operating conditions. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2024. 189: p. 113894
5. Xu, L., et al., A modified power management algorithm with energy efficiency and GHG emissions limitation for hybrid power ship system. Applied Energy, 2022. 317: p. 119114.
6. Svanberg, M., et al., Renewable methanol as a fuel for the shipping industry. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018. 94: p. 1217-1228.

7. Dotto, A., F. Satta, and U. Campora, Energy, environmental and economic investigations of cruise ships powered by alternative fuels. *Energy Conversion and Management*, 2023. 285: p. 117011.
8. Kistner, L., et al., Comprehensive techno-economic assessment of power technologies and synthetic fuels under discussion for ship applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2023. 183:p. 113459.
9. Barone, G., et al., How to achieve energy efficiency and sustainability of large ships: a new tool to optimize the operation of on-board diesel generators. *Energy*, 2023. 282: p. 128288.
10. Nuchturee, C., T. Li, and H. Xia, Energy efficiency of integrated electric propulsion for ships – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2020. 134: p. 110145.
11. Nivolianiti, E., Y.L. Karnavas, and J.-F. Charpentier, Energy management of ship-board microgrids integrating energy storage systems: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2024. 189: p. 114012.
12. Perčić, M., I. Ančić, and N. Vladimir, Life-cycle cost assessments of different power system configurations to reduce the carbon footprint in the Croatian short-sea shipping sector. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2020. 131: p. 110028.
13. Xing, H., S. Spence, and H. Chen, A comprehensive review on countermeasures for CO₂ emissions from ships. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2020. 134: p. 110222.
14. Arsalis, A., Modeling and simulation of a 100 kW_e HT-PEMFC subsystem integrated with an absorption chiller subsystem. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2012. 37(18): p. 13484- 13490.
15. Armellini, A., et al., Evaluation of gas turbines as alternative energy production systems for a large cruise ship to meet new maritime regulations. *Applied Energy*, 2018. 211: p. 306-317.
16. Ouyang, T., et al., An integrated solution to harvest the waste heat from a large marine solid oxide fuel cell. *Energy Conversion and Management*, 2020. 223: p. 113318.
17. Baldi, F. and C. Gabriellii, A feasibility analysis of waste heat recovery systems for marine applications. *Energy*, 2015. 80: p. 654-665.
18. Lee, S., et al., Novel methodology for EEDI calculation considering onboard carbon capture and storage system. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 2021. 105: p. 103241.
19. Ouyang, T., et al., Efficient and sustainable design for demand-supply and deployment of waste heat and cold energy recovery in marine natural gas engines. *Journal of Cleaner Production*, 2020. 274: p. 123004.

MODELO DE DECISIÓN MULTICRITERIO PARA LA EVALUACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE PUERTOS: UN ANÁLISIS DE LAS TERMINALES DE CONTENEDORES EN AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE UTILIZANDO LAS METODOLOGÍAS PCA-TOPSIS

ADRIANA DEL SOCORRO PABÓN NOGUERA¹; MARÍA GEMA CARRASCO-GARCÍA²;
JUAN JESÚS RUIZ-AGUILAR²; MARÍA INMACULADA RODRÍGUEZ-GARCÍA³;
MARÍA DEL MAR CERBÁN JIMÉNEZ⁴ E IGNACIO JOSÉ TURIAS DOMÍNGUEZ³

1. INTRODUCCIÓN – 2. TERMINALES DE CONTENEDORES DE AMÉRICA LATINA –
3. MATERIALES Y MÉTODOS – 4. RESULTADOS – 5. REFERENCIAS

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, a pesar de las dificultades ocasionadas por la disminución del comercio internacional y las interrupciones en las cadenas de suministro provocadas por la COVID-19, las terminales de contenedores en *América Latina y el Caribe* (ALC) han experimentado un notable aumento en sus volúmenes de tráfico. Este crecimiento en el volumen de contenedores ha supuesto un desafío significativo para los puertos de la región, que han tenido que adaptarse y modernizar sus infraestructuras para satisfacer las nuevas demandas logísticas y operacionales. Estas adaptaciones han involucrado no solo la expansión física de las terminales, sino también la incorporación de tecnologías innovadoras y la mejora en la eficiencia operativa, elementos clave para mantener la competitividad en un entorno global cada vez más dinámico.

-
- 1 Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Magdalena (Unimagdalena), Santa Marta, Colombia.
 - 2 Department of Industrial and Civil Engineering, Algeciras School of Engineering and Technology (ASET), University of Cádiz, 11202 Algeciras, Spain; maria.carrasco@uca.es (M.G.C.G.); juanjesus.ruiz@uca.es (J.J.R.A.).
 - 3 Department of Computer Science Engineering, Algeciras School of Engineering and Technology (ASET), University of Cádiz, 11202 Algeciras, Spain; inma.rodriguezgarcia@uca.es (M.I.R.-G.); ignacio.turias@uca.es (I.J.T.D.).
 - 4 Faculty of Economic and Business Sciences, Avda. Duque de Nájera s/n, 11002 Cádiz, Spain; maria-delmar.cerban@uca.es

La investigación utiliza un enfoque híbrido multicriterio que combina el Análisis de Componentes Principales (PCA) con la Técnica para el Orden de Preferencia por Similitud con la Solución Ideal (TOPSIS). Este enfoque metodológico es crucial para clasificar las terminales de ALC y para identificar los criterios operacionales que impactan la eficiencia de estos puertos. Se analizaron diversas variables operacionales, como la longitud de muelle, el calado, el área de patio, el número de grúas de muelle y patio, la capacidad de movimiento de contenedores, entre otros, junto con el rendimiento portuario expresado en TEUs entre los años 2014 y 2023. A través de este análisis, se pudo observar que puertos como Colón, Santos y Cartagena destacan no solo por su volumen de TEUs, sino también por su capacidad para utilizar eficientemente los recursos disponibles, lo que les otorga una ventaja competitiva en la región.

Desde una perspectiva más amplia, esta investigación tiene una relevancia considerable en el contexto de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente en los ODS 9 y 11. El ODS 9 promueve la construcción de infraestructuras resilientes, la innovación y la industrialización, mientras que el ODS 11 se enfoca en lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles [2]. El desarrollo de las ciudades portuarias en América Latina es fundamental para alcanzar estos objetivos, dado que los puertos son los principales motores de la economía en muchas de estas ciudades. Las terminales de contenedores, como puntos clave de entrada y salida de mercancías, no solo son esenciales para el comercio internacional, sino que también impulsan el desarrollo económico local y regional. La eficiencia en la gestión portuaria y el tráfico de contenedores tiene un impacto directo en el crecimiento económico, la creación de empleo y la mejora de las infraestructuras urbanas, lo cual es crucial para la sostenibilidad de las ciudades portuarias.

El tráfico de contenedores es, por lo tanto, un indicador importante del desarrollo económico de América Latina, como se puede observar en la tabla 1. La creciente capacidad de los puertos para manejar volúmenes mayores de contenedores está directamente vinculada con la mejora de la competitividad regional y con la integración de América Latina en la economía global. Los puertos más eficientes, como los analizados en este estudio, no solo optimizan su rendimiento en términos de volumen de carga, sino que también contribuyen al desarrollo de las ciudades portuarias mediante la creación de redes logísticas más efectivas, el fomento de la inversión extranjera y la mejora de la calidad de vida de las comunidades circundantes. Además, la modernización de los puertos y la implementación de tecnologías más limpias y sostenibles contribuyen a avanzar hacia un modelo de desarrollo económico más inclusivo y respetuoso con el medio ambiente, alineándose así con los principios fundamentales de los ODS.

En resumen, el análisis de las terminales de contenedores en América Latina y el Caribe no solo tiene implicaciones operacionales, sino también un impacto directo en el desarrollo económico sostenible de la región. Las inversiones en infraestructura portuaria y la mejora de la eficiencia operativa son fundamentales para lograr una mayor competitividad y para asegurar que las ciudades portuarias se conviertan en motores clave del desarrollo económico, cumpliendo así con los objetivos de sostenibilidad establecidos por la comunidad internacional.

2. TERMINALES DE CONTENEDORES DE AMÉRICA LATINA

Las terminales de contenedores representan el eslabón más crucial en el comercio global, siendo la contenedorización uno de los modos primarios de transporte de mercancías. Para las terminales de contenedores, ser competitivas implica operar de manera eficiente, considerando todos los recursos operacionales y logísticos, y en muchos casos, su posición geográfica. Analizar estas terminales es de interés no solo para economistas, sino también para empresas, gobiernos, la academia y organizaciones internacionales, debido al papel significativo de los puertos marítimos en el desarrollo económico de países, regiones y el mundo.

Esta investigación se enfoca en las terminales de contenedores en América Latina y el Caribe (ALC), especialmente aquellas que han promediado más de un millón de TEUs en movimientos de contenedores en los últimos diez años. También se analizan otras terminales que, aunque no cumplen con este criterio, representan el tráfico más importante de sus respectivos países, como Montevideo en Uruguay, o son de interés particular para los autores, como Santa Marta y Barranquilla en Colombia. El interés principal ha sido evaluar las características operacionales y el rendimiento anual para establecer un ranking operativo de puertos utilizando modelos de decisión multicriterio y métodos de análisis multivariado de datos para una selección de 23 puertos.

Tabla 1. Comparación porcentual de los movimientos de contenedores de los puertos estudiados en relación con otros movimientos para el año 2022.

PUERTOS ALC	MUNDO	UNIÓN EUROPEA	CHINA	ALC TODOS LAS TERMINALES	USA
46,572,664	840,635,534	102,751,696	262,605,700	58,669,478	60,554,285
	5.13%	41.9%	16.41%		71.3%

FUENTE: Elaboración propia a partir de boletines e informes técnicos de la CELAC, CEPAL, Banco Mundial.

Una de las principales fortalezas de los puertos de América Latina es su proximidad geográfica al Canal de Panamá, lo que ha resultado en un aumento del tráfico de contenedores, inversiones privadas y mejoras operacionales en sus terminales. La mayoría de estas inversiones han tenido lugar desde 2010, por lo que es pertinente realizar este estudio utilizando los volúmenes de tráfico de contenedores desde 2014, año en el que la mayoría de las terminales ya se habían adaptado para cumplir con las demandas logísticas actuales. Se seleccionaron 23 puertos en función de dos criterios: primero, que el tráfico total de contenedores de los últimos diez años superara el millón de TEUs anuales, y segundo, la importancia del puerto para la economía nacional. De estos puertos, siete están en la costa del Pacífico y dieciséis en las costas del Caribe y Atlántico, siendo los puertos del Pacífico responsables del 35% del volumen total de contenedores en la región [4].

Además de las características físicas y operativas, existen otros factores que pueden contribuir a mejorar la eficiencia de las terminales de contenedores, como los avances tecnológicos en equipos de manejo de última generación, la expansión física de áreas de almacenamiento, las inversiones de empresas privadas y grandes líneas navieras como

operadores de terminales, la tecnología blockchain, la automatización de terminales o plataformas de gestión integrada para operaciones portuarias. Sin embargo, no todos los puertos de América Latina y el Caribe se han adaptado de la misma manera a estos cambios. A medida que los puertos de la región se adaptan y reconfiguran para convertirse en puertos inteligentes en el futuro, deben competir en igualdad de condiciones para mantener una alta productividad, eficiencia y, en consecuencia, competitividad, aprovechando todos los recursos disponibles. Los recursos disponibles para todas las terminales analizadas son similares y se han evaluado bajo las mismas condiciones y metodologías.

Para este documento, se realizó una revisión de artículos publicados en los últimos 20 años, con especial énfasis en la literatura posterior a 2010. Existe un claro interés en analizar las terminales de contenedores a nivel global, especialmente en Europa y el sudeste asiático, con un enfoque en la evaluación de la eficiencia y la competitividad. La mayoría de las metodologías disponibles están basadas en métodos de toma de decisiones multicriterio (MCDM). En los últimos años, particularmente en los últimos 20 años, los modelos MCDM han ganado preferencia en la evaluación de diversos sistemas de transporte y cadenas logísticas. Esta preferencia creciente está impulsada por la perspectiva de exportadores, importadores y usuarios de los sistemas de transporte, para quienes las características de las terminales han adquirido más relevancia que los costos asociados a las actividades portuarias. Para estudiar la eficiencia y productividad de las terminales, también se han utilizado predominantemente modelos de optimización y simulación. El uso de MCDM es crucial ya que permite una evaluación integral y comparativa de diversos aspectos de la logística de transporte y las cadenas de transporte [10][12][1].

El objetivo principal de este estudio fue crear un ranking de las terminales de contenedores en América Latina y el Caribe (ALC) utilizando el innovador modelo de toma de decisiones multicriterio basado en distancia (TOPSIS) para evaluar las terminales de contenedores. La técnica de Análisis de Componentes Principales (PCA) se empleó para reducir la dimensionalidad de las variables y determinar la significancia de cada una en el ranking, mientras que con TOPSIS se calculó y validó el ranking [6]. PCA es una técnica clásica comúnmente utilizada para la reducción de dimensionalidad en una amplia gama de campos, incluso en la logística y la gestión de la cadena de suministro [2], o en la contaminación marina.

La sinergia de los métodos: la combinación de PCA y TOPSIS aprovecha las fortalezas de ambos enfoques. PCA reduce la complejidad y resalta los factores clave, mientras que TOPSIS proporciona una evaluación detallada y ponderada de cada terminal [9]. Mayor precisión: el uso inicial de PCA para simplificar y destacar los factores clave hace que la posterior aplicación de TOPSIS sea más precisa y manejable [5]. Toma de decisiones informada: la combinación de estos métodos establece una base sólida para la toma de decisiones, asegurando que se consideren todos los aspectos relevantes y minimizando la subjetividad [11].

PCA reduce la dimensionalidad de los datos mientras conserva la mayor parte de la variabilidad original, facilitando el manejo de datos complejos y evitando la redundancia [3]. Además, permite identificar los componentes clave que influyen en el ren-

diminución de las terminales, destacando los factores más importantes para la toma de decisiones. TOPSIS, como método de evaluación multicriterio, considera múltiples criterios simultáneamente, proporcionando una evaluación integral de cada terminal de contenedores. Este método se basa en la proximidad a la solución ideal, lo que significa que las terminales se evalúan en función de su cercanía al mejor rendimiento posible en cada criterio [8]. En esta investigación, el número de variables no hace esencial la reducción de dimensionalidad. Sin embargo, PCA permite analizar la relevancia de las variables, observar cómo impactan en el ranking final y realizar un análisis más exhaustivo de los resultados. El análisis integral considera 23 puertos de contenedores principales de ALC, caracterizados en términos de variables de oferta (longitud del muelle, calado, área de patio, número de grúas de muelle, número de grúas de patio, capacidad diaria de manejo de contenedores, número de estaciones de contenedores refrigerados, número de terminales y distancia al Canal de Panamá) y variables de demanda (TEUs movidos entre 2014 y 2023, no se incluyó el 2024 teniendo en cuenta que la información no era oficial en los organismos internacionales).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

En esta sección se detallarán los datos específicos, como los criterios operacionales portuarios y los indicadores de rendimiento anual. Además, se explicarán las metodologías paso a paso empleadas para este análisis. Como se mencionó anteriormente, el objetivo principal de esta investigación fue establecer un ranking de las terminales de contenedores en América Latina y el Caribe (ALC). Para este propósito, a continuación, se describe la base de datos utilizada.

3.1. Descripción de los datos

Los datos específicos utilizados en esta investigación fueron obtenidos de documentos oficiales y boletines de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), del Banco Mundial (BM) y de las páginas web de las Autoridades Portuarias. Estos datos abarcan las principales características operativas de un total de 23 puertos en América Latina y el Caribe y sus terminales de contenedores (41 analizados en la figura 1). La selección de las terminales se realizó considerando los lados del Pacífico, Caribe y Atlántico, y en total alcanzan un volumen de 46,145,468 TEUs para 2023, lo que representa el 85% del tráfico del sistema latinoamericano y el 5.6% del tráfico mundial. El rendimiento en contenedores fue seleccionado como el indicador de salida de la investigación debido a la relevancia de este parámetro para evaluar la calidad operativa de las terminales de contenedores a nivel mundial [19].



FIGURA 1. CONTEXTO GEOGRÁFICO DE LOS PUERTOS SELECCIONADOS. CIERRE DEL PROGRAMA DE CONFERENCIAS DE LA MANO DE D. FRANCISCO J. GARCÍA LEÓN Y D. TRISTÁN PERTÍNEZ DE LA FUNDACIÓN PÚBLICA ANDALUZA CENTRO DE ESTUDIOS ANDALUCES

Se ha realizado una selección de 23 puertos basada en dos criterios importantes. En primer lugar, el tráfico total promedio de contenedores en los últimos diez años debe superar el millón de TEUs por año. En segundo lugar, se consideró la importancia del puerto para la economía nacional. En consecuencia, se eligieron siete puertos de la costa del Pacífico y dieciséis de las costas del Caribe y Atlántico. Los puertos del Pacífico manejan el 35% del volumen total de contenedores en América Latina y el Caribe. Se incluyeron Santa Marta y Barranquilla en Colombia (como un clúster), considerando los intereses de los investigadores, así como el puerto de Paranaguá cerca de la ciudad de Curitiba, que ha duplicado su rendimiento en solo 10 años gracias a la significativa inversión de su principal operador, China Merchants Port Holdings (CM-Ports).

Los 5 principales puertos analizados han permanecido consistentes desde 2018, siendo Panamá el más beneficiado. El Top 10 no ha cambiado significativamente desde 2014, principalmente porque la variable bajo estudio ha sido el volumen de contenedores movidos anualmente (TEUs/año), como se muestra en la tabla 2. Sin embargo, es necesario realizar una clasificación que considere otros criterios operacionales y logísticos para una evaluación integral de las terminales. Esto es esencial para tomar decisiones informadas sobre inversiones, operaciones o la carga y descarga de mercancías. Además, ofrece la oportunidad de identificar las ventajas operativas de muchos puertos, lo que permite futuras optimizaciones, especializaciones o su uso como hubs, puertos marítimos que sirven como puntos centrales en una red regional o global de transporte marítimo donde la carga se transfiere entre diferentes rutas de navegación o modos de transporte.

Tabla 2. Las cinco primeras terminales en ALC teniendo en cuenta el volumen TEUs/años.

Ranking	2018	2019	2020	2021	2022
1	Colón	Colón	Colón	Colón	Colón
2	Santos	Santos	Santos	Santos	Santos
3	Manz - Mex	Manz - Mex	Balboa	Balboa	Manz - Mex
4	Balboa	Cartagena	Cartagena	Manz - Mex	Balboa
5	Cartagena	Balboa	Manz - Mex	Cartagena	Cartagena

FUENTE: Elaboración propia a partir de boletines e informes técnicos de la CEPAL, Banco Mundial.

No hay mucha referencia publicada respecto a la historia, inversiones y desarrollo logístico de los puertos en América Latina y el Caribe (ALC), excepto por los informes de la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) y el Banco Mundial (BM), que han avanzado en la investigación y brindada asistencia técnica en actividades marítimas y transporte en la región. Se presume, a partir de las lecturas, que las inversiones significativas realizadas por diversas Autoridades Portuarias y grandes líneas navieras y operadores globales (como Maersk, Hapag-Lloyd, Cosco, DP World Group, CP Ports, etc.), particularmente en terminales de contenedores, tienen como objetivo transformarlas en importantes hubs en algunos casos, como Lima, Colón, Cartagena o Kingston.

Según los datos, se puede observar una realidad mixta, especialmente en el rendimiento a corto plazo. Más del 75% muestra una variación positiva, con quince de estas terminales experimentando un crecimiento de dos dígitos, mientras que, en el otro extremo, dos puertos también muestran caídas de dos dígitos, como se puede observar en la figura 2. En los últimos años, Lázaro Cárdenas, Freeport y Paranaguá han mostrado los mejores desempeños con cambios superiores al 30% (curiosamente, uno en el Pacífico, otro en el Caribe y el otro en el Atlántico). Al mismo tiempo, Cartagena, Kingston y Montevideo han superado el crecimiento del 20%. Buenaventura, Buenos Aires y San Antonio han registrado malos resultados en términos de crecimiento comparativo, probablemente eclipsados por el rendimiento de Callao y Guayaquil. Para este análisis se utilizaron criterios operacionales y logísticos. En total, fueron 11: longitud del muelle/quay, calado del muelle, área de patio, número de grúas de muelle (portainer), número de grúas de patio (trastainer), reachstacker, multicranes, capacidad diaria de movimiento de contenedores, número de estaciones para contenedores refrigerados, número de terminales y distancia al Canal de Panamá. Para las variables de demanda, solo se utilizó una (los TEUs movidos entre 2014 y 2023).

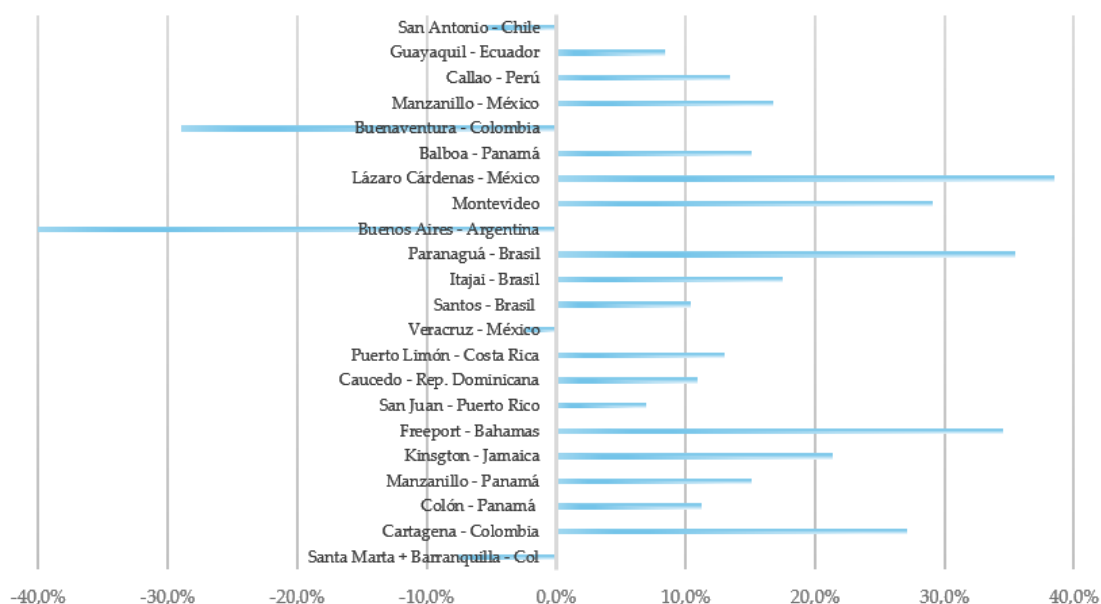


Figura 2. Variación en el comportamiento (TEUs/año) entre 2018 -2023. Cierre del programa de conferencias de la mano de D. Francisco J. García León y D. Tristán Pertíñez de la Fundación Pública Andaluza Centro de Estudios Andaluces

3.2. Procedimiento experimental

Para facilitar la comprensión de los lectores, se proporciona una explicación visual en la figura 3 de las metodologías combinadas PCA y TOPSIS. Este enfoque aprovecha la capacidad de PCA para reducir la dimensionalidad y extraer información clave, junto con la fortaleza de TOPSIS para evaluar y clasificar alternativas basadas en múltiples criterios [13]. Juntas, estas metodologías ofrecen una herramienta robusta para la toma de decisiones en la gestión de terminales portuarias y la clasificación de muchas terminales de contenedores según varios criterios. Se utilizaron procedimientos técnicos (computacionales) como MATLAB y Excel para los cálculos en la investigación, y los resultados fueron obtenidos.

La metodología combinada de PCA y TOPSIS involucra varios pasos clave. Inicialmente, se recopilan los datos relevantes sobre los puertos seleccionados para crear una base de datos completa. En la fase de aplicación de PCA, los datos se normalizan para estandarizar las unidades de medida, y se aplica el Análisis de Componentes Principales (PCA) para reducir la dimensionalidad de los datos, determinando así los pesos de los criterios basados en los componentes principales. Posteriormente, comienza la fase de aplicación de TOPSIS, con la construcción de una matriz de decisiones ponderada mediante la multiplicación de los valores normalizados por los pesos determinados. Se identifican los mejores y peores valores posibles para cada criterio, denominados soluciones ideal y anti-ideal. A continuación, se calculan las distancias de cada puerto a estas soluciones ideal y anti-ideal, y se determina el coeficiente de proximidad relativo de cada puerto a la solución ideal. Finalmente, los puertos se clasifican según sus coeficientes de proximidad, siendo el puerto con el coeficiente más alto el más preferido.

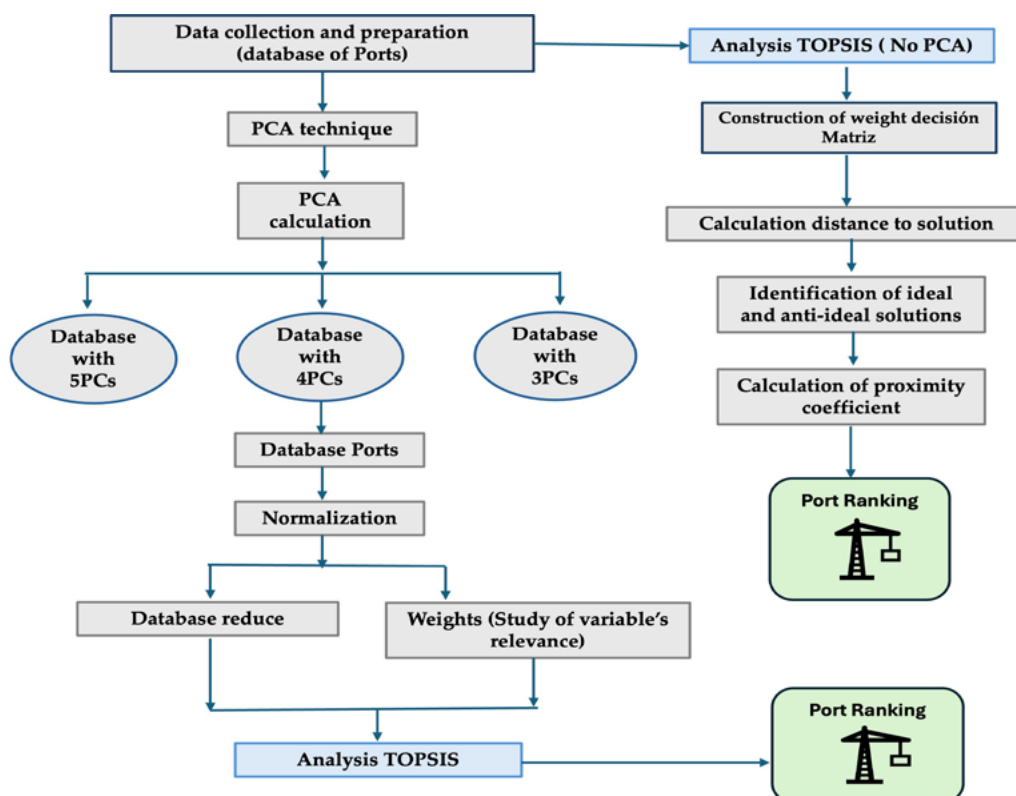


Figura 3. Esquema de la utilización de las metodologías PCA y TOPSIS en su conjunto. Cierre del programa de conferencias de la mano de D. Francisco J. García León y D. Tristán Pertíñez de la Fundación Pública Andaluza Centro de Estudios Andaluces

4. RESULTADOS

Este ejercicio ha sido interesante, teniendo en cuenta que ha permitido clasificar los puertos desde la perspectiva de su capacidad operativa, considerando todos los criterios evaluados. La capacidad operativa, que puede ser similar a la eficiencia terminal, se evalúa utilizando metodologías como TOPSIS y PCA. A continuación, se destacan los resultados más relevantes según la Autoridad Portuaria:

Colón: El puerto panameño de Colón ha sido el más importante de ALC durante varios años. Su prominencia no solo se debe a su rendimiento anual de TEUs, que ha superado los cuatro millones desde 2018, sino también a su eficiencia en el uso de recursos operacionales. Su clasificación desciende cuando no se considera el rendimiento anual de TEUs, lo que muestra que, a pesar de contar con menos recursos operacionales que puertos como Santos en Brasil, Colón los utiliza de manera más eficiente al aplicar las metodologías TOPSIS y PCA.

Santos: Como el principal puerto de Brasil y el segundo en ALC en cuanto a rendimiento anual de TEUs, Santos enfrenta limitaciones en los rankings debido a sus grandes dimensiones operativas y rendimiento relativamente bajo. Su mejor clasificación, el No. 8, se alcanzó usando TOPSIS sin PCA y aplicando tres criterios operacionales con un 60% de ponderación. Sin embargo, Santos se clasifica primero cuando solo se consideran los recursos operacionales, lo que indica una posible subutilización de recursos.

Balboa y Manzanillo: El puerto de Balboa, en Panamá, se encuentra consistente-mente entre los tres primeros puertos de ALC bajo ambas metodologías aplicadas, des-tacándose por su proximidad al Canal de Panamá. El puerto de Manzanillo en Panamá, aunque cae fuera de los primeros 5 cuando se combina TOPSIS con PCA, mantiene su rendimiento anual entre los mejores, destacándose por su proximidad al Canal.

Cartagena y otros puertos: Cartagena ha mejorado significativamente su ranking, ocupando la segunda posición en los resultados de las metodologías aplicadas. Puertos como Callao y Guayaquil han mejorado sus posiciones, ubicándose en el top 5, con Guayaquil destacándose por una mejor combinación de criterios operacionales. En el Caribe, los puertos mejor clasificados son San Juan y Kingston, siendo San Juan el más alto debido a sus mejores criterios operacionales en comparación con Kingston.

Puertos brasileños y mexicanos: Los puertos brasileños de Itajaí y Paranaguá tienen dimensiones operativas y rendimiento de TEUs similares, pero Itajaí se clasifica más alto debido a una mayor eficiencia en el uso de recursos. Los puertos mexicanos, como Manzanillo y Lázaro Cárdenas, aunque están en el top 10, requieren atención especial debido a sus bajas clasificaciones generales en ALC.

Santa Marta y Barranquilla: Estos puertos, analizados como un clúster, siempre ocuparon los últimos lugares en todos los cálculos y combinaciones. Esto se debe a sus características físicas y logísticas inherentes, como la falta de grúas portainer en Ba-r-ranquilla y las capacidades mínimas de manejo de contenedores en Santa Marta.

Adicionalmente, se evidencia que ciertos factores, como la profundidad de calado, parecen ser irrelevantes debido a que todos los puertos tienen profundidades similares. Sin embargo, variables como la longitud del muelle y el número de grúas de muelle y patio son altamente relevantes, ya que fueron explícitamente consideradas en los cál-culos de TOPSIS y asignadas con mayor ponderación. Finalmente, el Puerto de Santos, con varios terminales evaluados colectivamente, muestra un comportamiento atípico en casi todos los criterios debido a la agregación de datos, lo que genera una sobre-dimensión del puerto, lo que sugiere que sería conveniente evaluar cada terminal del Puerto de Santos por separado.

5. REFERENCIAS

1. Chang, Y.T. & Talley, W.K., 2019. Port Competitiveness, Efficiency, and Supply Chains: A Literature Review. *Transportation Journal*, 58(1), pp. 1–20. Available at: <https://doi.org/10.5325/TRANSPORTATIONJ.58.1.0001>.
2. Costa, D.S. da, Assis Carvalho, M.V.G.S. de, Figueiredo, N.M. de, Moraes, H.B. de & Ferreira, R.C.B., 2021. The efficiency of container terminals in the northern re-gion of Brazil. *Utilities Policy*, 72, p. 101278. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jup.2021.101278>.
3. Cullinane, K. & Wang, T.F., 2006. The efficiency of European container ports: A cross-secti-onal data envelopment analysis. *International Journal of Logistics Research and Appli-cations*, 9(1), pp. 19–31. Available at: <https://doi.org/10.1080/13675560500405737>.
4. Gervasi, O., Murgante, B., Misra, S., Rocha, A.M.A.C. & Garau, C., eds., 2022. *Compu-tational Science and Its Applications – ICCSA 2022 Workshops*, vol. 13381. in *Lecture Notes*

- in *Computer Science*, vol. 13381. Cham: Springer International Publishing. Available at: <https://doi.org/10.1007/978-3-031-10548-7>.
5. Ghazinoory, S., Mansour, S. & Sadeghian, A., 2009. A hybrid Fuzzy AHP-TOPSIS approach for assessing the sustainability of industrial parks. *Environmental Modelling & Software*, 24(6), pp. 730–735. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2008.10.012>.
 6. Ilyaaas, M., Jin, Z. & Irfa, U., 2024. Optimizing Logistics and Transportation Locations in the China-Pakistan Economic Corridor: A Strategic Risk Assessment. *Applied Science*, 14, 1738. Available at: <https://doi.org/10.3390/app14051738>.
 7. Jolliffe, I.T., 1986. *Principal Component Analysis*. Springer-Verlag.
 8. Kabak, M., Burmaoglu, S. & Kazancoglu, Y., 2012. A fuzzy hybrid MCDM approach for professional selection. *Expert Systems with Applications*, 39(3), pp. 3516–3525. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.09.041>.
 9. Lirn, T.C., Thanopoulou, H.A., Beynon, M.J. & Beresford, A.K.C., 2004. An application of AHP on transshipment port selection: A global perspective. *Maritime Economics & Logistics*, 6(1), pp. 70–91. Available at: <https://doi.org/10.1057/palgrave.mel.9100093>.
 10. Vega, L., Cantillo, V. & Arellana, J., 2019. Assessing the impact of major infrastructure projects on port choice decision: The Colombian case. *Transport Research Part A: Policy and Practice*, 120, pp. 132–148. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.12.021>.
 11. Wang, T.C. & Lee, H.D., 2009. Developing a fuzzy TOPSIS approach based on subjective weights and objective weights. *Expert Systems with Applications*, 36(5), pp. 8980–8985. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2008.11.035>.
 12. Yannis, G., Kopsacheili, A., Dragomanovits, A. & Petraki, V., 2020. State-of-the-art review on multi-criteria decision-making in the transport sector. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 7(4), pp. 413–431. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2020.05.005>.
 13. Hotelling, H., 1933. Analysis of a complex statistical variable into principal components 8. Determination of principal components for individuals. *Journal of Educational Psychology*, 24, pp. 498–520.

RELEVANCIA DE LA COMPUTACIÓN GRÁFICA EN LA INGENIERÍA. CASO DE ESTUDIO DEL MODELADO GRÁFICO DE ORTOMAPAS DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS

RODRÍGUEZ-GARCÍA, M.I.¹; CARRASCO-GARCÍA, M.G.²; GONZÁLEZ-ENRIQUE, J.³ Y TURIAS, I.J.³

1. INTRODUCCIÓN – 2. BASE DE DATOS – 3. METODOLOGÍA – 4. RESULTADOS –
5. CONCLUSIÓN – 6. REFERENCIAS

Resumen

En este estudio se explora la relevancia fundamental de la computación gráfica en diversas ramas de la ingeniería y la ciencia, destacando su capacidad para representar visualmente fenómenos complejos, lo que facilita su análisis y comprensión. Se discute la importancia de los modelos gráficos en la generación y procesamiento de datos tridimensionales, particularmente en Ingeniería Civil y Topográfica. Además, se detalla el uso de técnicas de computación visual en la predicción de contaminantes atmosféricos, presentando un caso práctico en la Bahía de Algeciras que combina *machine learning* e interpolación geoestadística para predecir niveles de PM₁₀. El artículo también describe las bases de datos utilizadas, incluyendo formatos tabulares e imágenes, y explica la representación matricial de las imágenes. Finalmente, se presentan las metodologías de interpolación geoestadística, ortofotogrametría y fotogrametría como técnicas clave en el procesamiento y visualización de datos espaciales. En conclusión, la computación gráfica se establece como esencial para los sistemas de representación y monitorización 3D, permitiendo el manejo, procesamiento y visualización de datos complejos.

Palabras clave: Computación gráfica; Modelado computacional; Mapas de contaminación atmosférica; Kriging; Interpolación geoestadística; Ortogrametría; Fotogrametría.

-
- 1 Departamento de Ingeniería Informática, Escuela Superior de Ingeniería (ESI), Universidad de Cádiz, Puerto Real, España; inma.rodriguezgarcia@gm.uca.es (M.I.R.-G.).
 - 2 Departamento de Ingeniería Industrial y Civil. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Algeciras (ASET), Universidad de Cádiz, Algeciras, España; maria.carrasco@uca.es (M.G.C.-G.).
 - 3 Departamento de Ingeniería Informática. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Algeciras (ASET), Universidad de Cádiz, Algeciras, España; javier.gonzalezenrique@uca.es; ignacio.turias@uca.es (J.G.E.; I.J.T.D.).

1. INTRODUCCIÓN

El modelado gráfico es una herramienta fundamental en las diversas ramas de la ingeniería y la ciencia al permitir representar de forma visual fenómenos complejos, facilitando su análisis y comprensión, tal como muestran numerosos estudios como (Foley, et al., 2013; Santiago et al., 2024; Dieker and Hackman, 2025). También, Manavis et al., 2023, muestran varios estudios de investigación para abordar la creación de productos diseñados para la industria 4.0 mediante herramientas digitales. Otra revisión de la literatura sobre el diseño y gráficos en la Ingeniería la realizan los autores en Boitumelo et al., 2023, donde se analiza la evolución del dibujo tradicional al diseño asistido por computadora (CAD) impulsando la creatividad en productos innovadores. La importancia de incorporar modelos gráficos es fundamental en la generación y procesamiento de datos tridimensionales tal como explican los autores en el ámbito de la Ingeniería Civil y Topográfica (Willem Kymmell, 2008; Sánchez et al., 2013; Ordiales, et al., 2017). En el estudio de Sánchez et al. (2012), las nubes de puntos generadas se emplean para la creación de modelos 3D, lo que facilita su visualización y medición una vez que los datos han sido filtrados y procesados. Posteriormente, estos modelos son analizados con el objetivo de identificar patrones tras aplicar técnicas de segmentación y filtrado. El alcance llega incluso haciendo que en publicaciones científicas la inclusión de representaciones gráficas facilite la comunicación y el impacto ante ideas complejas. En otros ámbitos de gran relevancia como la medicina, según comentan los autores es (González y Jover, 2004), su trabajo publicado en *Medicina Clínica* discute cómo las representaciones gráficas son herramientas esenciales para el análisis y la comprensión de datos en biomedicina, especialmente cuando las relaciones entre variables no son evidentes ni fácil de reconocer. Otra aplicación relevante de estas herramientas es la de crear simulaciones, tanto en tiempo real como en casos no reales donde queramos modificar parámetros para comprobar el comportamiento de ciertos escenarios o resultados esperados, sin necesidad de realizar pruebas invasivas (Dick, et al., 2011; Khlebnikov, et al., 2023). Por esta razón es de gran uso en la medicina. En la generación y procesamiento de datos tridimensionales, la creación de modelos 3D requieren la captura y el procesamiento de grandes volúmenes de datos, lo que puede incluir nubes de puntos, mallas, texturas y datos espaciales (Sánchez et al., 2013; Ares y Guisado, 2015). Además, las técnicas de computación visual también se emplean en la predicción de contaminantes atmosféricos como se muestra en (Schmitz et al., 2019; Van Roode, et al., 2019). En particular, el uso de técnicas gráficas para la generación de mapas de concentraciones de contaminación, similares a planos topográficos que permiten interpolaciones entre puntos cercanos (Qiao, et al., 2021), ha demostrado ser eficaz en este campo. Un ejemplo destacado es el estudio realizado en la Bahía de Algeciras por Rodríguez-García et al. (2024), donde estas metodologías fueron aplicadas con éxito para prever la distribución de contaminantes en la zona. Además, este estudio reciente propone un método que combina *machine learning* (usado también por otros autores en sus estudios Rohde y Muller, 2015; Suleymanov, et al., 2023; Peng et al., 2024), en concreto, Redes Neuronales Artificiales (ANNs) e interpolación geoestadística para predecir los niveles del contaminante PM_{10} , realizando predicciones con 1 y 4 horas de anticipación basadas en entradas autorregresivas. Dentro de este campo de estudio, se han llevado a cabo numerosas investigaciones sobre la cartografía de la contaminación. El análisis geoespacial de la contaminación

ofrece información valiosa sobre los cambios ambientales y el crecimiento urbano. Este estudio tiene como objetivo emplear una combinación de técnicas: predicción de la contaminación del aire junto con enfoques gráficos. El estudio propuesto por (Chang et al., 2023) presenta un enfoque interesante para el análisis y la visualización continua de la contaminación del aire en el espacio y el tiempo, demostrando su eficacia en la obtención de información en tiempo real sobre la calidad del aire. Y, por último, el estudio de Yuval et al., 2017 propuso un método de interpolación residual para mejorar el modelado de mapas de concentraciones de contaminantes atmosféricos.

En este trabajo se muestra como caso práctico la obtención de mapas de contaminación aplicando las técnicas de modelado junto con técnicas de computación y *machine learning* para la interpolación y obtención de puntos en el plano que posteriormente formarán estos mapas predictivos.

2. BASE DE DATOS

La recopilación de datos es un paso fundamental en el análisis computacional, ya que la calidad y estructura de éstos influyen directamente en la precisión de los resultados obtenidos. Los formatos en los que pueden recogerse son variados, desde .csv, .odt o .xlsx en caso de datos tabulares, o directamente en imágenes para su procesamiento visual. Los formatos de imágenes más idóneos para artículos científicos son .TIFF por su alta resolución y calidad. Cada imagen se representa digitalmente como una matriz de píxeles, donde cada píxel contiene información sobre el color y la intensidad de la luz, lo que se traduce en datos numéricos que pueden ser procesados computacionalmente. Un píxel (o *Picture Element*) es la unidad más pequeña de una imagen digital, siendo la escala de grises de rango desde 0 (negro) a 255 (blanco). En escala de color, se tienen Rojo (R), Verde (G) y Azul (B), correspondientes al modelo RGB.

2.1. Representación de una imagen en forma de matriz

Cualquier imagen digital puede representarse como una matriz numérica donde cada celda corresponde a un píxel. En la Ecuación 1 tenemos un ejemplo de imagen en blanco y negro. En la Ecuación 2 tenemos un ejemplo de imagen en color (RGB) representada por tres matrices superpuestas para cada canal de color (Rojo, Verde y Azul), donde el primer píxel es el rojo, el segundo el verde y el tercero azul. Podemos imaginar que una matriz de píxeles en color sería de tamaño donde cada canal tiene su propia matriz de valores.

$$\begin{bmatrix} 0 & 120 & 200 & 250 & 50 \\ 30 & 180 & 210 & 90 & 0 \\ 255 & 255 & 100 & 80 & 10 \\ 20 & 60 & 190 & 240 & 130 \\ 90 & 70 & 50 & 10 & 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} &[R: 255, G: 0, B: 0; \quad R: 0, G: 255, B: 0; \quad R: 0, G: 0, B: 255] \\ &[255, 0, 0; \quad 0, 255, 0; \quad 0, 0, 255] \end{aligned} \quad (2)$$

2.2. Integración de sensores y tratamiento de datos

La captura directa de concentraciones de contaminantes atmosféricos en los siete sensores de monitorización existentes en la Bahía de Algeciras (representados en la Figura 1 y la Tabla 1), permiten obtener información precisa sobre sus coordenadas y sus concentraciones (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$). En la Tabla 1 se recogen las coordenadas UTM (Universal Transverse Mercator) de cada estación de monitorización. Estas coordenadas están basadas en la proyección cartográfica cilíndrica transversal y son útiles para representar ubicaciones en mapas sobre el terreno de forma precisa. En vez de latitud y longitud, expresan coordenadas Este y Norte en metros según el sistema geodésico WGS84. Con esta información podemos construir un mapeado dimensional que se ha convertido en una técnica ampliamente utilizada debido a su capacidad para capturar puntos con gran precisión y eficiencia. Además de las coordenadas, algunos sensores pueden proporcionar información sobre la meteorología que podrían agregarse al estudio en un momento dado.

Tabla 1. Códigos identificadores y coordenadas de cada estación de monitorización.

CÓDIGO	NOMBRE DE LA ESTACIÓN	COORDENADAS UTM()
1	ALGECIRAS (ETSIA)	(279.239; 4.001.847)
2	COLEGIO LOS BARRIOS	(276.184; 4.007.408)
3	COLEGIO CARTEYA	(285.021; 4.009.758)
4	EL RINCONCILLO	(280.289; 4.004.653)
5	PALMONES	(281.205; 4.006.069)
6	EL ZABAL	(289.371; 4.005.695)
7	LA LÍNEA	(288.757; 4.004.181)

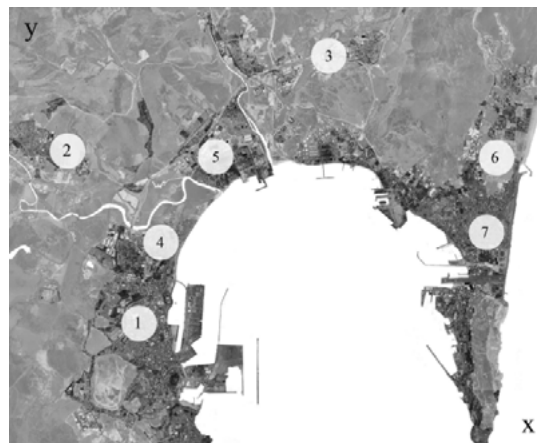


Figura 1. Bahía de Algeciras y estaciones. Cierre del programa de conferencias de la mano de D. Francisco J. García León y D. Tristán Pertíñez de la Fundación Pública Andaluza Centro de Estudios Andaluces

El paso inicial implica el preprocesamiento de la base de datos, lo que incluye completar los datos faltantes utilizando la información disponible a través de Redes Neuro-

nales Artificiales (ANNs), donde cada estación se modela como una función de las otras estaciones, como se explica en otros estudios de investigación (González-Enrique et al., 2021; Rodríguez-García et al., 2023). Además, se ha realizado la estandarización de las concentraciones de contaminantes PM_{10} y la eliminación de valores atípicos utilizando un método basado en la desviación estándar () con respecto al valor medio. Los valores que se encuentren a más de tres veces la desviación estándar del valor medio serán descartados.

3. METODOLOGÍA

3.1. Aplicación en simulaciones y generación de mapas de contaminantes

En el ejemplo mostrado, el objetivo es proporcionar predicciones de la concentración de PM_{10} en un punto donde no existen datos, pero se puede utilizar un modelo de Redes Neuronales Artificiales (ANNs), junto con algún método de interpolación geoestadística. Esto significa que se utilizan las predicciones restantes en otras estaciones para generar una predicción con la interpolación geoestadística en la estación de monitoreo deseada. Además, se realiza un procedimiento de validación, ya que se conocen los valores reales futuros referidos a la estación predicha permitiendo obtener predicciones en ese punto utilizando las concentraciones en el resto de las estaciones. Este sistema de predicción puede ser utilizado por ciudadanos o instituciones para la toma de decisiones.

3.2. Interpolación geoestadística

La interpolación geoestadística es una técnica utilizada para estimar valores desconocidos en un conjunto de datos espaciales a partir de puntos de muestra conocidos. Se emplea ampliamente en multitud de disciplinas y en el ejemplo mostrado en esta presentación, se utiliza en la generación de superficies continuas a partir de datos dispersos, permitiendo la estimación de variables de contaminación. Su principio fundamental radica en la predicción de valores en ubicaciones no muestreadas, basándose en la relación espacial entre los puntos conocidos. Para ello, se asume que los valores cercanos tienden a ser más similares que aquellos más distantes, lo que se conoce como dependencia espacial.

Para medir la variabilidad de los datos espaciales en función de la distancia entre ellos se utiliza el variograma, definido por la Ecuación 3:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} E \left[(Z(x) - Z(x+h))^2 \right] \quad (3)$$

Donde:

- es el variograma para un desfase (distancia entre puntos),
- es el valor de la variable en la ubicación ,

La forma del variograma se ajusta a un modelo teórico (como esférico, exponencial o gaussiano) que describe cómo cambia la variabilidad con la distancia. Esto se utiliza para determinar la influencia de los puntos cercanos sobre los valores a predecir.

Por otro lado, podría utilizarlo otro método denominado *Kriging*, que el método más común de interpolación geoestadística. En este caso, se utiliza el variograma para ponderar los puntos conocidos, generando una estimación ponderada de los valores en puntos no muestreados. La ecuación básica para *Kriging* ordinario es el indicado en la Ecuación 4:

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(s_i) \quad (4)$$

Donde:

- es la estimación en el punto
- son los pesos asignados a los valores conocidos en los puntos ,
- es el número de puntos conocidos.

Los pesos se determinan resolviendo un sistema de ecuaciones basado en el modelo de variograma. El sistema está representado en la Ecuación 5:

$$\begin{bmatrix} \gamma(s_1, s_1) & \gamma(s_1, s_2) & \cdots & \gamma(s_1, s_n) & 1 \\ \gamma(s_2, s_1) & \gamma(s_2, s_2) & \cdots & \gamma(s_2, s_n) & 1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \gamma(s_n, s_1) & \gamma(s_n, s_2) & \cdots & \gamma(s_n, s_n) & 1 \\ 1 & 1 & \cdots & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ \mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(s_1, s_0) \\ \gamma(s_2, s_0) \\ \vdots \\ \gamma(s_n, s_0) \\ 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Aquí es el valor del variograma entre dos puntos , y es un parámetro que ajusta la ecuación para asegurar que la suma de los pesos sea 1 (condición de no sesgo).

En resumen, la interpolación geoestadística permite realizar estimaciones precisas de valores desconocidos a partir de datos espaciales disponibles, utilizando el concepto de dependencia espacial y herramientas como el variograma y el *Kriging*.

3.3. Ortofotogrametría

La ortofotogrametría es una técnica de procesamiento de imágenes que consiste en corregir las distorsiones geométricas de las fotografías aéreas para crear imágenes planas (ortofotos) que representen de manera precisa las superficies del terreno. Este proceso permite obtener imágenes georreferenciadas y escaladas, que son útiles en aplicaciones como la cartografía, el análisis del uso del suelo, y la planificación urbana.

Primero se toman fotografías aéreas de la zona de interés utilizando cámaras especializadas (o cámaras de drones), posteriormente se realizan correcciones para eliminar distorsiones debido a la inclinación de la cámara, la topografía del terreno o la curvatura de la Tierra. En el caso de áreas grandes, se combinan varias imágenes ortogonales

para formar una única imagen continua. Finalmente, se realiza la georreferenciación y se asignan coordenadas geográficas a cada píxel de la imagen.

Una imagen aérea está basada en una proyección perspectiva. Los puntos de la fotografía () se proyectan a partir de un punto de la cámara (, ,) hacia la superficie terrestre. La relación entre las coordenadas de un punto en la imagen () y sus coordenadas en el espacio terrestre () se describe por las siguientes ecuaciones de proyección (Ecuaciones 6 y 7):

$$x = f \cdot \frac{X - X_0}{Z - Z_0} \quad (6)$$

$$y = f \cdot \frac{Y - X_0}{Z - Z_0} \quad (7)$$

Donde:

- es la distancia focal de la cámara desde la que se tomarían las fotos,
- (, ,) son las coordenadas de la cámara,
- () son las coordenadas del punto en la superficie terrestre,
- () son las coordenadas del punto proyectado en la imagen.

Para realizar las correcciones des distorsiones geométricas de la imagen puede utilizarse un modelo de corrección de distorsión radial, que se puede expresar como Ecuación 8:

$$r' = r(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) \quad (8)$$

Donde:

- es la distancia corregida,
- es la distancia original desde el centro de la imagen,
- , , son los coeficientes de distorsión radial.

Una vez que la imagen ha sido corregida, es necesario realizar la georreferenciación. Esto implica transformar las coordenadas de la imagen a un sistema de coordenadas geográficas (Ecuación 9):

$$\begin{bmatrix} X_t \\ Y_t \\ Z_t \end{bmatrix} = M \cdot \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} + T \quad (9)$$

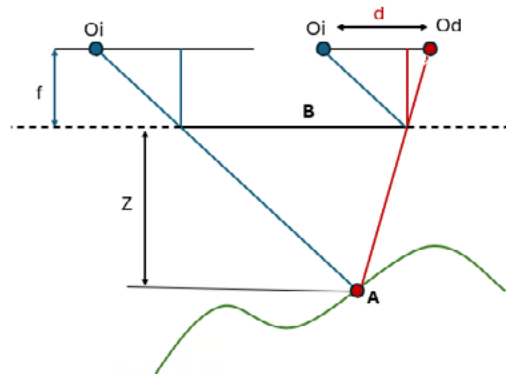
Donde:

- , son las coordenadas transformadas (geográficas),

- , son las coordenadas de los puntos en la imagen,
- es una matriz de transformación y es un vector de traslación.

3.4. Fotogrametría

La fotogrametría es una técnica para medir y obtener información precisa sobre el mundo real (formas, ubicaciones, tamaños) a partir de fotografías, generalmente desde múltiples ángulos. Es una disciplina que combina fotografía, la geometría y la informática, y es ampliamente utilizada en varios campos como la topografía, la arquitectura, la arqueología y la creación de modelos 3D. Tomando 2 imágenes a un punto A desde dos focos diferentes, pero a la misma cota y mediante semejanza de triángulos de bases paralelas se puede calcular la cota a la que se encuentra este punto A (Figura 2). Si este proceso se repite para toda la superficie obtendremos un plano cartográfico del terreno deseado.



Se puede encontrar la profundidad de un punto en el terreno según la Ecuación 10:

$$\frac{Z}{f} = \frac{B}{P} \Rightarrow Z = \frac{f \cdot B}{d} \quad (10)$$

$$\left. \begin{aligned} O_i: \frac{X + \frac{B}{2}}{Z} &= \frac{x_i}{f} \\ O_d: \frac{\frac{B}{2} - X}{Z} &= \frac{x_d}{f} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \left. \begin{aligned} X_i &= \frac{f}{Z} \left(X + \frac{B}{2} \right) \\ X_d &= \frac{f}{Z} \left(X - \frac{B}{2} \right) \end{aligned} \right\} \Rightarrow d = |X_i - X_d| = \frac{f \cdot B}{Z} \Rightarrow \quad (11)$$

$$\Rightarrow Z = \frac{f \cdot B}{d}$$

La distancia entre el punto de la Izquierda y el punto de la derecha la encontramos en la Ecuación 11.

4. RESULTADOS

En cuanto a una muestra de resultados aplicando estos métodos computacionales gráficos, se incluye la Figura 3.a que representa los niveles de contaminación de concentración de partículas PM_{10} en la Bahía de Algeciras en un instante y su predicción en la Figura 3.b.

el instante . El estudio describe la aplicación de metodologías para predecir los niveles del contaminante PM10, realizando predicciones con 1 y 4 horas de anticipación basadas en entradas autorregresivas. Esto implica la existencia de datos en un tiempo presente () y una estimación o predicción para un tiempo futuro (, con una diferencia de 1 o 4 horas).

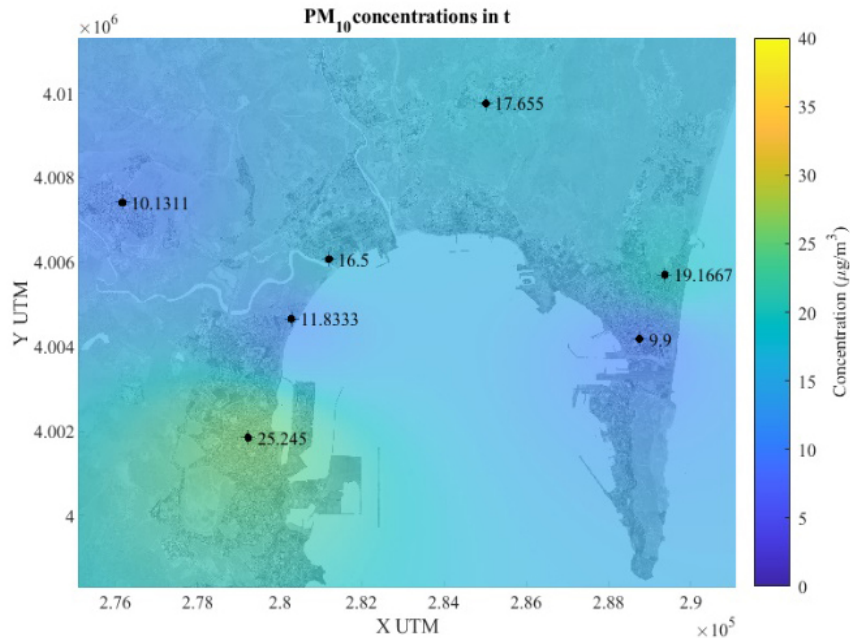


Figura 3. a Mapa de concentraciones de PM10 en la Bahía de Algeciras en el instante .

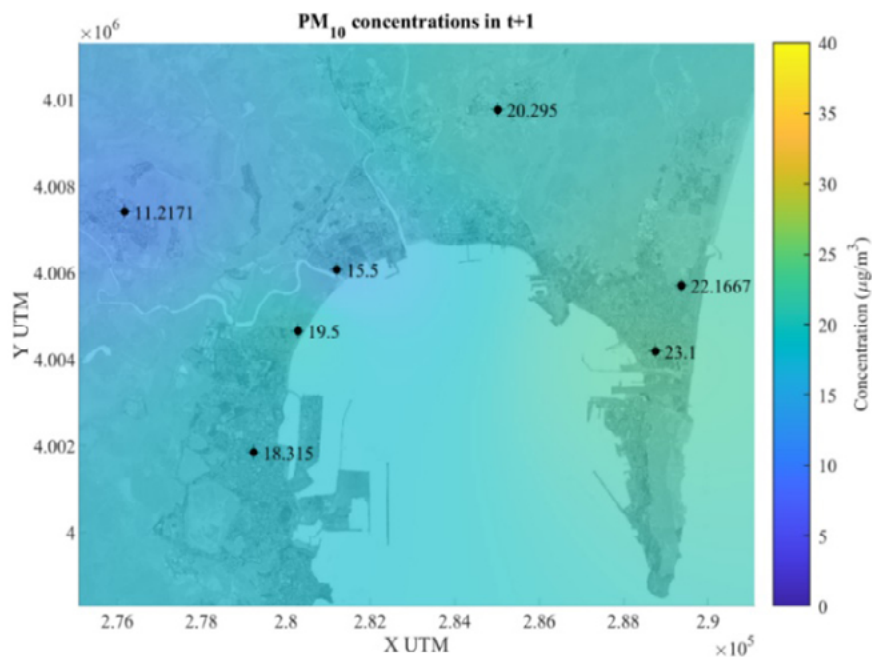


Figura 3. b Mapa de estimaciones de concentraciones de PM10 en la Bahía de Algeciras.

5. CONCLUSIÓN

En resumen, la computación es fundamental para los sistemas de representación y monitorización 3D porque permite manejar, procesar y visualizar datos en tres dimensiones con rapidez y precisión. Las técnicas avanzadas de procesamiento de imágenes y modelado 3D no solo hacen posibles aplicaciones complejas, sino que también facilitan la automatización y la integración de datos de diversas fuentes, permitiendo así un análisis completo y detallado en tiempo real. Esta capacidad resulta indispensable en industrias como la medicina, la seguridad, la ingeniería civil y el entretenimiento, donde la visualización 3D de alta calidad y en tiempo real es esencial.

En el ámbito de la ingeniería civil, estas tecnologías son fundamentales para el diseño, planificación y supervisión de infraestructuras. El modelado 3D y la fotogrametría permiten generar representaciones precisas del terreno, evaluar la estabilidad estructural y optimizar proyectos de construcción mediante simulaciones digitales. Además, facilitan la inspección de edificaciones existentes, reduciendo la necesidad de evaluaciones manuales y mejorando la eficiencia en la detección de fallos o deterioro en estructuras.

Un aspecto clave en este proceso es la determinación de profundidades a partir de imágenes, un principio fundamental de la fotogrametría. Este método se basa en la captura de múltiples imágenes desde diferentes ángulos para reconstruir la geometría tridimensional de un objeto o entorno. A través de técnicas como la triangulación y la correlación de imágenes, es posible calcular con precisión la distancia entre distintos puntos en la escena. En ingeniería civil, esto también se aplica en la generación de modelos topográficos, monitoreo de deformaciones estructurales y análisis de impacto ambiental, contribuyendo significativamente a la planificación y ejecución eficiente de proyectos de infraestructura.

6. REFERENCIAS

1. Ares Cano, R; Guisado Patricio, M.A. (2015). Técnicas y herramientas de procesamiento de puntos tridimensionales. Universidad Carlos III, Madrid.
2. Boitumelo Ramatsetse, Ilesanmi Daniyan, Khumbulani Mpofu, Olasumbo Makinde. (2023). State of the art applications of engineering graphics and design to enhance innovative product design: a systematic review, *Procedia CIRP*, Vol. 119, 2023, P.p. 699-709.
3. C. Dick, R. Burgkart and R. Westermann, (2011). Distance Visualization for Interactive 3D Implant Planning, in *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 17, no. 12, pp. 2173-2182, Dec. 2011.
4. Chang, Y. S.; Abimananan, S.; Shukla, S.; Satheesh, D. (2023). Forecasting Continuous Air Pollution with Cloud-Based Big Data Platform using Spatial-Temporal Visualization. *IEEE 8th International Conference for Convergence in Technology, I2CT 2023*.
5. Dieker A.B., Hackman S.T. (2025). *QPLEX: A Computational Modeling and Analysis Methodology for Stochastic Systems*. Springer Series in Operations Research and Financial Engineering, Part F4025, pp. 1 – 352.

6. Foley, J. D., Van Dam, A., Feiner, S. K., & Hughes, J. F. (2013). *Computer Graphics: Principles and Practice*. July 2013.
7. González, J. A., Jover, L. (2004). Graphics in scientific communication and reasoning: utensil or tinsel? *Medicina Clínica*, Vol., 122, num Sl. p.p. 3–10.
8. González-Enrique, J.; Ruiz-Aguilar, J. J.; Moscoso-López, J. A.; Urda, D.; Turias, I. J. (2021). A comparison of ranking filter methods applied to the estimation of NO₂ concentrations in the Bay of Algeciras (Spain). *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2021; 35 (10); 1999-2019.
9. M., Santiago, R., Raymari, C., Cristina. (2024). The impact of personality and self-efficacy on domain modeling productivity in graphical and textual notations, *Information and Software Technology*, Volume 173, 2024, 107491, ISSN 0950-5849.
10. Manavis, A., Kakoulis, K., & Kyratsis, P. (2023). A Brief Review of Computational Product Design: A Brand Identity Approach. *Machines*, 11(2), 232.
11. Ordiales Martinez, Victor; Álvarez Fernández, Martina Inmaculada; González Nicieza, Celestino; García Fernández, Carmen Covadonga. (2017). Congreso Internacional INGEGRAF (27º. 2017. Gijón), p. 387-391. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Oviedo.
12. Peng, Z.; Zhang, B.; Wang, D.; Niu, X.; Sun, J.; Xu, H.; Cao, J.; Shen, Z. (2024). Application of machine learning in atmospheric pollution research: A state-of-art review. *Science of The Total Environment*, 2024, 910, 168588
13. Qiao, Pengwei, et al. (2021). Effectiveness of predicting spatial contaminant distributions at industrial sites using partitioned interpolation method. *Environmental Geochemistry and Health* 43, 2021: 23-36.
14. R. Khlebnikov, B. Kainz, M. Steinberger and D. Schmalstieg, (2013). Noise-Based Volume Rendering for the Visualization of Multivariate Volumetric Data, in *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, vol. 19, no. 12, pp. 2926-2935
15. Rohde, R.A; Muller, R.A. (2015). Air Pollution in China: Mapping of Concentrations and Sources. *PLoS ONE*, 2015, 10(8): e0135749.
16. Rodríguez-García, M.I.; Carrasco-García, M.G.; González-Enrique, J.; Ruiz-Aguilar, J. J.; Turias, I. J. (2023). Long Short-Term Memory Approach for Short-Term Air Quality Forecasting in the Bay of Algeciras (Spain). *Sustainability*, 2023, 15(6), 5089
17. Rodríguez-García, M.I.; Carrasco-García, M.G.; Rodrigues Ribeiro, M. C.; González-Enrique, J.; Ruiz-Aguilar, J.J.; Turias, I.J. Air pollution PM10 forecasting maps in the maritime area of the Bay of Algeciras (Spain). *Journal of Marine Science and Engineering*. 2024, 12.
18. Sánchez, Alameda, I.; Bull Pozuelo, F.; Núñez Andrés, A. (2013). Metodología para la gestión y explotación de datos espaciales obtenidos con sistemas de captura masiva de puntos. Universidad Politécnica de Cataluña.
19. Schmitz, O.; Beelen, R.; Strak, M.; Hoek, G.; Soenario, I.; Brunekreef, B.; Vaartjes, I.; Dijst, M.J.; Grobbee, D.E.; Karssenber, D. High resolution annual average air pollution concentration maps for the Netherlands. *Scientific Data*, 2019, 6, 190035.

20. Suleymanov, A.; Suleymanov, R.; Kulagin, A.; Yurkevich, M. (2023). Mercury Prediction in Urban Soils by Remote Sensing and Relief Data Using Machine Learning Techniques. 2023, *Remote Sensing*, 15(12).
21. Van Roode, S; Ruiz-Aguilar, J.J.; González-Enrique, J.; Turias, I.J. An artificial neural network ensemble approach to generate air pollution maps. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2019, (191) 12.
22. Willem Kymmell. (2008). *Building Information Modeling: Planning and Managing Construction Projects with 4D CAD and Simulations* (McGraw-Hill Construction Series), 1st Edition, ISBN: 9780071494533. Publication Date & Copyright: 2008 The McGraw-Hill Companies, Inc.
23. Yuval; Levy, I.; Broday, D. M. (2017). Improving modeled air pollution concentration maps by residual interpolation. *Science of The Total Environment*, 2017, (598) 780-788.

EL MÉTODO CIENTÍFICO EN LA FORMACIÓN INICIAL DEL PROFESORADO DE EDUCACIÓN PRIMARIA: EL HUERTO COMO RECURSO DIDÁCTICO PARA PROMOVER UNA EDUCACIÓN DE CALIDAD

LOLA NARVÁEZ TORRES Y M^a ISABEL BAENA GONZÁLEZ¹

1. INTRODUCCIÓN – 2. MARCO TEÓRICO – 3. MATERIALES Y MÉTODOS –
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN – 5. CONCLUSIONES – 6. REFERENCIAS

Resumen

La enseñanza del método científico forma parte del contenido curricular de la asignatura de Didáctica de las Ciencias de la Naturaleza II, que se imparte en el Grado en Educación Primaria. Dada la naturaleza de las fases de este método, su enseñanza teórica no es suficiente para desarrollar las diferentes competencias científicas que los alumnos deben adquirir. Con la finalidad de promover una enseñanza de calidad, tal y como se define en el Objetivo de Desarrollo Sostenible número cuatro, se diseñó un proyecto utilizando como recurso un huerto educativo con lechugas. Los objetivos del mismo fueron: enseñar a los alumnos del Grado las fases del método científico desde la práctica e impulsar una educación de calidad en la formación inicial del profesorado para que se continúe en su futura labor docente como parte del aprendizaje permanente.

La actividad se llevó a cabo durante el 2º semestre del curso 2023-2024 y tuvo una duración de 2 meses y medio. Aunque el uso de los huertos educativos en el ámbito universitario no es una novedad, sí lo es su transformación en un experimento con control de variables. El objetivo del experimento fue que los alumnos determinaran el efecto del sustrato en el crecimiento de distintas variedades de lechugas. Tras la finalización del mismo, los alumnos presentaron un informe sobre la secuencia seguida: desde el planteamiento de la pregunta o problema de investigación a las conclusiones extraídas, pasando por la emisión de hipótesis, la definición de las variables, los experimentos realizados y la interpretación de los resultados. Dicho informe se utilizó como técnica de evaluación para evidenciar la consecución de las competencias de la asignatura. Además, los alumnos respondieron a una encuesta para valorar diferentes aspectos del proyecto.

¹ Grupo de investigación: HUM-II06: INVESTIGACIÓN Y BBPP EN EDUCACIÓN (InvestBBPPEd).

Los resultados mostraron la utilidad de este tipo de proyectos para valorar el diseño experimental como recurso para enseñar ciencias en Primaria, plantear situaciones de aprendizaje, conocer otra manera de acercar las ciencias a los alumnos de Primaria y tener una actitud más positiva y estar más motivados ante las ciencias.

1. INTRODUCCIÓN

El RD 157/2022 de 1 de marzo, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Primaria, define el Perfil de salida, elemento principal del currículo, como una serie de competencias clave que se espera que sean adquiridas por los alumnos al finalizar la enseñanza básica obligatoria. Esto implica que los alumnos alcancen la capacidad de dar respuesta y hacer frente a posibles problemas y desafíos futuros a lo largo de su vida, haciendo uso de todos los aprendizajes adquiridos.

Los aspectos que se han tenido en cuenta para determinar el Perfil de salida han sido: las competencias clave indicadas en la Recomendación del Consejo de la Unión Europea (UE), de 22 de mayo de 2018, relativas al aprendizaje permanente; los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), adoptados en la Asamblea General de las Naciones Unidas de 2015 (Agenda 2030); los retos y desafíos globales del siglo XXI, asumiendo que el alumnado aplicará las competencias adquiridas ante situaciones reales de la vida y teniendo en cuenta los ODS; los principios y fines del sistema educativo español, garantizando que el respeto a los derechos, las libertades, la inclusión y el total desarrollo de las capacidades del alumnado son el punto de mira de nuestra educación y, por último, los retos recogidos en el *Key of Curricula Change in the 21st Century* de la UNESCO, que impulsan la actualización de los currículos y los procesos formativos, con el último fin de preparar al alumnado ante los retos y desafíos del siglo XXI.

Así, una vez finalizada la etapa de la enseñanza básica obligatoria, se espera que los alumnos apliquen los conocimientos, destrezas y actitudes aprendidos a través de las distintas materias curriculares para dar respuesta a diferentes problemas de la vida cotidiana. Esto implica tener actitudes responsables para frenar el daño medioambiental, el consumo irresponsable y un estilo de vida perjudicial para la salud; tener un espíritu crítico, analítico y de cooperación; resolver problemas pacíficamente y valorar la educación y el conocimiento como pilar del desarrollo (RD 157/2022).

Desde el ámbito de las Ciencias de la Educación, uno de los ODS vinculados a la docencia es el número 4, que promueve una educación de calidad. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO, s.f.), la educación es la llave para alcanzar el resto de ODS desde las primeras edades. Así, algunas de las metas de este ODS son las de asegurar la finalización de la educación básica obligatoria, el acceso a la educación en todos los niveles, la alfabetización de la población, la adquisición de conocimientos para promover un desarrollo sostenible y, sobre todo, aumentar la oferta de docentes cualificados.

En relación a esta última meta, para promover una educación de calidad desde la infancia, uno de los principales aspectos a tener en cuenta es la importancia de la formación inicial que reciben los futuros docentes desde la Universidad.

En la asignatura de Didáctica de las Ciencias de la Naturaleza II (DCCNN II) que se imparte en el cuarto curso del Grado en Educación Primaria, los contenidos curriculares, entre otros, incluyen la enseñanza del método científico, los recursos para la enseñanza de las ciencias en Primaria, y promover la alfabetización y la adquisición de competencias científicas. Concretamente, el aprendizaje del método científico supone el desarrollo de diferentes fases ordenadas, como son la observación, la formulación de preguntas investigables e hipótesis, el diseño de experimentos, la toma de datos, el análisis de los resultados obtenidos, la determinación de unas conclusiones finales y, por último, la comunicación de los resultados finales que den respuesta a las hipótesis iniciales. Su enseñanza teórica puede ser compleja para la comprensión de algunas de las etapas de este método, dada la diversidad del perfil de entrada del alumnado del Grado en Educación Primaria. Por este motivo, y con la intención de garantizar una mayor comprensión y adquisición de las competencias propias de la asignatura, en este estudio se decidió pasar de la teoría a la práctica mediante el uso de los huertos educativos como recurso para la enseñanza-aprendizaje de todas las fases del método científico.

Los objetivos de esta experiencia fueron los siguientes:

- Enseñar a los alumnos del Grado en Educación Primaria las fases del método científico desde la práctica.
- Impulsar una educación de calidad en la formación inicial del profesorado para que se continúe en su futura labor docente como parte del aprendizaje permanente, y acorde al ODS 4.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Formación inicial del profesorado en ciencias

El docente de ciencias en la etapa de Primaria debe conocer tanto la materia que va a impartir, como su relación con la tecnología y otras disciplinas, la historia de las ciencias y los avances científicos actuales. Pero, además del puro conocimiento científico, es fundamental que maneje las cuestiones didácticas, es decir, cómo enseñar, qué y para qué enseñar, cómo aprenden los alumnos, de qué ideas previas parten, qué actividades diseñar para que el aprendizaje sea significativo o cómo evaluar (Tierno et al., 2020).

De Pro et al. (2022) reflexionan sobre 5 problemas en la formación de maestros para enseñar ciencias en el aula. Estos son: la actualización científica del profesorado, la formación didáctica, la experiencia profesional, las creencias, concepciones y prejuicios y las cualidades personales. Las asignaturas de Didáctica de las Ciencias de la Naturaleza y la de Prácticum permiten abordar todas estas facetas de la formación, aunque bien es cierto que la última, hace referencia a competencias más complejas de enseñar pero que influyen tanto o más que las demás en la labor docente (empatía, habilidades sociales y comunicativas, crítica, creatividad, etc.). En cualquier caso, un maestro que imparte

ciencias debe estar preparado tanto en el conocimiento científico, como en el conocimiento didáctico de la materia.

Por todo lo dicho anteriormente, es muy recomendable una enseñanza de las ciencias basada en la indagación (ECBI), no solo en niveles no universitarios, sino también en el ámbito universitario y con más razón, si cabe, en la formación de maestros. Esta metodología debe incorporar las distintas etapas de una investigación en torno a una situación – problema que se plantee, como son la observación, la emisión de hipótesis, el diseño y realización de un experimento, la interpretación de los datos, las conclusiones y la comunicación. Aunque es cierto que la metodología de indagación incluye más destrezas, además de las propias del método científico, en nuestro proyecto nos centramos en este último para trabajar con nuestros alumnos, desde la práctica, con objeto de vivenciar el aprendizaje con un papel más activo, de manera que esto permita la adquisición de una serie de capacidades, ya mencionadas anteriormente, necesarias en su futura labor profesional. De esta forma, se desarrollan algunos de los resultados de aprendizaje que establece la guía didáctica de la asignatura, como es el conocimiento de estrategias de enseñanza de las ciencias de la naturaleza y la incorporación de la realidad ambiental y el entorno físico como recurso para plantear tareas y situaciones de aprendizaje que incorporen actividades de resolución de problemas y experimentación. Además, se trabajan las competencias de la misma: tener la capacidad de reunir e interpretar datos relevantes para emitir juicios que incluyan una reflexión sobre temas relevantes de índole social, científico o ético, y desarrollar y evaluar contenidos del currículo mediante recursos didácticos apropiados y promover la adquisición de competencias en los estudiantes. Por otro lado, contribuimos, también, a la transformación de la educación, que es la base para mejorar la vida de las personas y el desarrollo sostenible, tal y como establece el Objetivo de Desarrollo Sostenible 4, Educación de Calidad.

2.2. Fases del método científico

El método científico es un procedimiento que ha caracterizado a la ciencia natural desde el siglo XVII y que consiste en la observación sistemática, medición, experimentación, formulación, análisis y modificación de las hipótesis. No obstante, para entender de lo que trata este método nos tenemos que remontar al hombre primitivo para el cual todo era desconocido y sentía curiosidad por conocer el porqué de su existencia y donde se encontró con situaciones que tenía que resolver para poder sobrevivir, como seleccionar y obtener el alimento necesario o escoger refugios para vivir. Desde entonces el hombre continúa con una elaboración constante de explicaciones a preguntas que van surgiendo para responder a fenómenos de nuestro mundo. El conocimiento científico progresa porque el ser humano es capaz de definir problemas relevantes para su subsistencia y la posterior resolución de estos (Puyol, 2007). El método científico como tal tiene sus antecedentes en personajes como Francis Bacon, René Descartes, Galileo Galilei o Isaac Newton, los cuales ponen las bases de este método usado por los científicos (Velasco y Blanco, 2009).

La metodología científica en el aula para transformar los trabajos prácticos tradicionales en actividades con un enfoque investigativo debe incluir las fases del propio método, que son las siguientes (Velasco y Blanco, 2009 y Puyol, 2007):

1. Planteamiento de un problema: toda investigación parte del planteamiento de un problema concreto o situación problemática. En el aula este debe partir del tema sobre el que se trabaja y puede ser propuesto por el profesor o, elegido por el grupo de alumnos.
2. Emisión de hipótesis: las hipótesis son respuestas provisionales que responden a la pregunta o problema inicial y que, posteriormente, deberá comprobarse para ser verificada o refutada. Se debe enseñar a los alumnos la formulación correcta de estas.
3. Análisis de variables: una variable es una condición que interviene en un hecho, proceso o fenómeno y que puede modificarlo. En un diseño experimental pueden distinguirse tres tipos de variables:
 - Variables independientes: aquellas variables que se someten a modificaciones durante la experiencia por parte del alumno para averiguar si producen cambios en otras variables (lo que cambio).
 - Variables dependientes: son variables que toman valores distintos en función de las modificaciones que se den a las variables independientes (lo que observo).
 - Variables controladas: son aquellas que no deben modificarse a lo largo de todo el proceso experimental, es decir, se mantienen fijas para saber con certeza que los valores que toma la variable dependiente son debidos a la variación de la independiente (lo que mantengo igual).
4. Elaboración del diseño experimental para contrastar la hipótesis: una vez formulado el problema, elaboradas las hipótesis e identificadas las variables, se deberá realizar el diseño de una actividad experimental que permita llegar a una conclusión y, así crear conocimiento. Es importante para ello concretar los pasos a seguir.
5. Experimentación o puesta en práctica de los diseños: la práctica del trabajo experimental permite al alumnado adquirir habilidades prácticas y cognitivas que les posibilitan comprobar experimentalmente las hipótesis que van elaborando sobre el objeto de estudio y la reformulación de nuevos problemas.
6. Interpretación y conclusiones: la recogida sistemática de los datos en las condiciones que se han previsto y para ello, si es necesario, la construcción de tablas o gráficos ayudará a interpretar los resultados. Esto permitirá introducir nuevos conocimientos científicos, como conceptos, teoremas, leyes y/o teorías. Los estudiantes adaptarán sus explicaciones utilizando el conocimiento científico que cuando comenzó el proceso indagatorio desconocían, demostrando así, que han comprendido e interiorizado lo trabajado en las fases anteriores.
7. Comunicación de resultados: la comunicación (oral y/o escrita) de todo lo realizado al grupo clase es de suma importancia en el proceso indagatorio. Para ello, todos los grupos deberían elaborar y presentar un informe sobre la secuencia seguida, desde la identificación de la pregunta o problema de investigación a las

conclusiones extraídas, pasando por la emisión de hipótesis, los experimentos realizados y las evidencias obtenidas.

8. Relación con los contenidos aprendidos: los estudiantes necesitan afianzar y consolidar el nuevo conocimiento introducido, para ello, se deben proponer actividades enfocadas al refuerzo del mismo, donde se puede observar si han comprendido e identifican de manera correcta lo trabajado con anterioridad. Una vez asimilado, los alumnos deberán aplicar lo aprendido en nuevas situaciones y en contextos cotidianos.

En nuestro proyecto se llevó a cabo las fases anteriormente descritas utilizando un huerto educativo con cultivo de lechugas y en distintos tipos de sustratos.

2.3. Los huertos educativos como recurso didáctico en el ámbito universitario

Desde el siglo XIX se están utilizando en Estados Unidos los huertos como recurso didáctico en entornos escolares por dos motivos principales: el de mejorar el rendimiento académico en ciencias y el de fomentar la educación alimentaria en los alumnos. Eugenio et al. (2019), muestran una gran cantidad de estudios de diversos autores que han demostrado el efecto positivo de su uso en ambos aspectos.

Desde entonces, su uso se ha ido extendiendo geográficamente y, hoy en día, suponen una innovación docente tanto en las etapas de Infantil, Primaria y Secundaria, como en la formación inicial del profesorado para la enseñanza de las ciencias. Su uso creciente como base de un aprendizaje integrado, ha llegado a considerarse una metodología activa denominada “*Garden-Based Learning*” o Aprendizaje Basado en Huertos. Esta estrategia metodológica implica un aprendizaje en entornos reales donde se pueden desarrollar diversas actividades manipulativas e intelectuales basadas en experiencias (Desmond et al., 2004).

Los huertos educativos, como laboratorios vivos, ofrecen una buena oportunidad para enseñar de manera práctica contenidos teóricos científicos complejos, permitiendo afianzar contenidos conceptuales y desarrollar habilidades y procedimientos relacionados con la indagación y el desarrollo de competencias en los alumnos (Eugenio et al., 2019).

Entre muchas de las ventajas que ofrecen, Eugenio y Aragón (2016), destacan la posibilidad de abordar contenidos curriculares de diferentes áreas, facilitar aprendizajes significativos contextualizados, potenciar el aprendizaje por indagación mediante la generación de conocimiento y fomentar el trabajo cooperativo.

Además, su uso como recurso didáctico en cualquier nivel educativo, impulsa actitudes y valores respetuosos con el entorno natural, fomentando la cultura de la sostenibilidad e impulsando la integración de los ODS entre el alumnado (Parra y Muñoz, 2021).

En el contexto de los docentes en formación, los huertos suponen, además de un recurso profesional, una oportunidad para aprender la metodología científica desde la práctica, evidenciando todas las fases del proceso; potenciar la curiosidad investigativa; aumentar la motivación ante las ciencias y, por último, crear la necesidad de trasmitirla a sus futuros alumnos, garantizando así una educación de calidad tal y como persigue el ODS 4.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

Durante el curso 2023-2024 se implementó, por primera vez en el Centro de Magisterio “Virgen de Europa”, un experimento con control de variables basado en el diseño y seguimiento de un cultivo de lechugas. El experimento formó parte del contenido de la asignatura de DCCNN II que se imparte a los alumnos de 4º curso del Grado en Educación Primaria. Para ello, se dispuso un cultivo al exterior y en contenedor de lechugas de diferentes variedades cultivadas en sustratos de diferente naturaleza.

El objetivo del experimento fue el de determinar el efecto del sustrato en el crecimiento de las lechugas. Esta actividad tuvo una duración de 2 meses y medio (marzo-mayo de 2024) y se desarrolló en las dependencias del Centro de Magisterio Virgen de Europa de la Línea de la Concepción, concretamente en el patio (Figura 1).



Figura 1. Ubicación del experimento en el patio del Centro de Magisterio Virgen de Europa de La Línea de la Concepción (Cádiz).

Nota: el círculo rojo muestra la ubicación exacta del experimento en el patio

3.1. Desarrollo y fases de la actividad

Esta experiencia contó con una serie de fases que permitieron su organización, puesta en marcha y seguimiento en el tiempo. Las fases fueron las siguientes:

Fase 1: previo al inicio del experimento, los alumnos de 4º curso del Grado en Educación Primaria recibieron una charla formativa por parte de un profesional de la horticultura, la jardinería y el paisajismo para ofrecer información sobre las características de los sustratos a utilizar, los requerimientos hídricos y nutricionales de las lechugas, y las posibles plagas que pudieran aparecer.

Fase 2: los alumnos recibieron un guion diseñado por las profesoras responsables de la asignatura con la información necesaria para el seguimiento y puesta en marcha del experimento. En el mismo se detallaron las líneas experimentales y los tratamientos, las variables dependientes e independientes, las actividades a desarrollar y el método de evaluación de la actividad (experimento). También se incluyeron plantillas para el

registro semanal de parámetros (altura de las lechugas, temperatura, humedad relativa, cantidad de agua de riego, etc.). El objetivo planteado para el experimento fue el de determinar el efecto del sustrato en el crecimiento de las lechugas.

El diseño experimental consistió en 4 líneas experimentales y, en cada línea, se plantaron diferentes variedades de lechugas de las disponibles en el mercado. Cada línea experimental estaba compuesta de 4 tratamientos diferentes en cuanto a las características del sustrato, de manera que cada línea constó de 4 jardineras con 4 sustratos diferentes en las que se plantaron lechugas de la misma variedad. En la Figura 2 se puede observar un esquema de la disposición del experimento y el nombre de los grupos de alumnos que se encargaban del seguimiento y control de cada una de las jardineras.

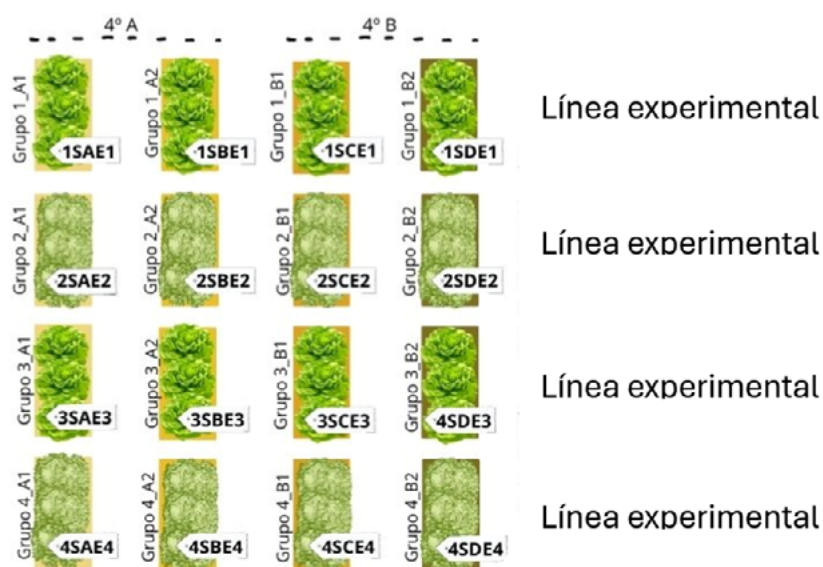


Figura 2. Esquema del diseño experimental.

Nota: Tratamiento 1SAE1: Línea experimental 1, sustrato A (SA) y especie de lechuga 1 (E1); SA: sustrato mezcla; SB: 50% compost vegetal y 50% tierra vegetal; SC: tierra vegetal; SD: 50% tierra vegetal y 50% corteza de pino; E1: lechuga maravilla; E2: lechuga roble; E3: lechuga cogollo; E4: lechuga iceberg.

Fase 3: puesta en marcha del experimento, disposición de las jardineras en el patio, preparación de los sustratos, plantación de las lechugas y registro de parámetros iniciales. En la Figura 3 se puede observar el huerto tras la plantación de las lechugas.



Figura 3. Disposición del experimento en el patio del Centro de Magisterio Virgen de Europa

Fase 4: registro de parámetros semanales y seguimiento del experimento hasta su finalización. Para ello, los alumnos utilizaron una plantilla disponible en el guion (Figura 4). Para el registro del peso inicial y final de las lechugas los alumnos utilizaron una balanza digital; para el crecimiento de las lechugas, una cinta métrica; para el riego, unas jarras milimetradas, y para el registro de parámetros ambientales (humedad relativa, pluviometría y temperatura ambiente), utilizaron la aplicación de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET).

Grupo:			Fecha inicio:									
Tratamiento:			Fecha fin:									
Peso inicial (Kg)	Lechuga 1:	Lechuga 2:	Lechuga 3:	Media (Kg):					Masa fresca producida:			
Peso final (Kg)	Lechuga 1:	Lechuga 2:	Lechuga 3:	Media (Kg):								
Nº semana (fecha)	Altura/diámetros (cm)		Volumen de agua (L)	Temperatura (°C)					Humedad (%)			
Responsables:	Lechuga 1:	Lechuga 2:	Lechuga 3:	Día 1:	Día 2:	Día 3:	Día1:	Día2:	Día3:	Día1:	Día2:	Día3:
	Media (cm):		Suma (L):	Media (°C):					Media (%):			
Incidencias/resumen de la semana:												

Figura 4. Plantilla para el registro de parámetros durante el experimento

Fase 5: análisis e interpretación de los datos registrados durante el experimento para responder al objetivo planteado y las hipótesis formuladas. Para ello, los alumnos elaboraron un informe final siguiendo el formato de un artículo científico y las instrucciones del guion. Dicho informe fue la técnica de evaluación de la actividad, como evidencia de la adquisición de las competencias de la asignatura de DCCNN II.

Fase 6: al finalizar la actividad, los alumnos respondieron a una encuesta elaborada por las profesoras de la signatura para valorar los objetivos iniciales propuestos con la actividad en una escala tipo Likert de 1 a 4. El cuestionario, incluyó tres categorías diferentes y una valoración global (Figura 5). Para la formulación de los ítems de la primera categoría, se tuvo en cuenta los resultados de aprendizaje de la asignatura de DCCNN II. En la segunda categoría los alumnos valoraron diferentes aspectos sobre el aprendizaje de las ciencias y, en la tercera, se incluyeron ítems relacionados con la organización del experimento. Los alumnos lo respondieron a través de la plataforma virtual Moodle donde quedaron registrados los resultados.

1. El poner en práctica las fases del método científico me ha ayudado a:				
• Conocer otro modelo o estrategia de enseñanza de las ciencias de la naturaleza, valorando sus aportaciones y limitaciones _____	1	2	3	4
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
• Resolver problemas de ciencias relacionados con la vida cotidiana _____	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
• Ser capaz de diseñar experimentos de ciencias para alumnos de Primaria _____	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
• Ser consciente de la importancia del diseño experimental para desarrollar competencias científicas en alumnos de Primaria _____	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
• Valorar la relación de la ciencia escolar con el entorno cotidiano _____	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
• Incorporar la realidad ambiental y/o el entorno físico como recurso para plantear situaciones de aprendizaje que incorporen la experimentación _____	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
• Transformar los conocimientos científicos en contenidos escolares _____	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2. Respecto al aprendizaje de las ciencias, el experimento me ha ayudado a:				
• Tener una actitud más positiva hacia la asignatura de Ciencias Naturales _____	1	2	3	4
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
• Aumentar mi motivación con respecto a la enseñanza de la Ciencias Naturales _____	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
• Entender mejor la asignatura de "Didáctica de las Ciencias Naturales" _____	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3. Valoración de la organización del experimento:				
• Se ha seguido la temporalización programada para el experimento _____	1	2	3	4
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
• La información aportada durante el desarrollo del experimento ha sido suficiente (explicaciones teóricas en clase, guion, charla inicial, etc. _____	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
• La docente ha ido resolviendo las dudas que han ido surgiendo _____	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
• La rúbrica de evaluación me ha resultado útil para saber los que me van a evaluar en el informe _____	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
• La docente ha facilitado el seguimiento del experimento (momentos, espacios, etc.) _____	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
• Se han combinado las explicaciones teóricas y prácticas _____	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
• Me ha gustado trabajar con los compañeros del otro grupo para recopilar los resultados obtenidos _____	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
4. Valoración global de la experiencia:				
	1	2	3	4
	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Figura 5. Cuestionario respondido por los estudiantes al finalizar la actividad del experimental

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados medios registrados, para un total de 43 alumnos encuestados, se muestran en la Figura 6.

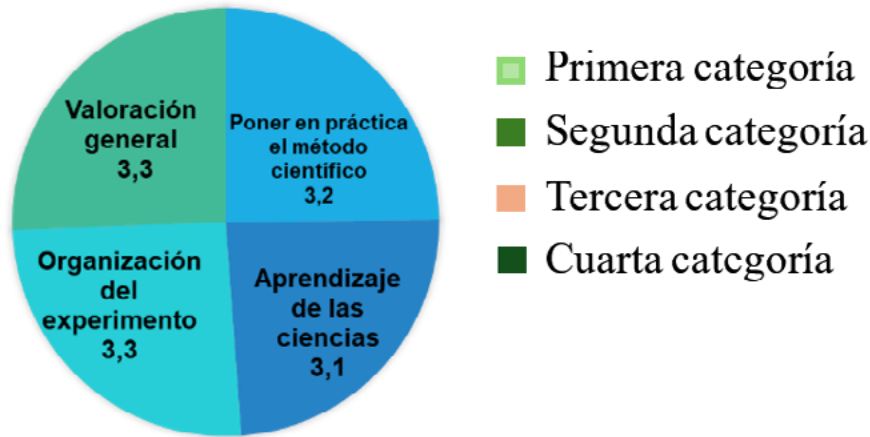


Figura 6. Resultados de la encuesta de valoración del experimento con control de variables

El ítem mejor valorado dentro de la primera categoría relacionada con poner en práctica el método científico, fue el de “*Ser consciente de la importancia del diseño experimental para desarrollar competencias científicas en alumnos de Primaria*”, con un 3,4 sobre 4. Para la segunda categoría, en relación al aprendizaje de las ciencias, los alumnos valoraron positivamente su actitud y su motivación para enseñar ciencias en Primaria (3,1 sobre 4). Para la tercera categoría, que valoraba la organización del experimento por parte de las profesoras de la asignatura de DCCNN II, los alumnos destacaron la resolución de dudas por parte de las profesoras y el facilitar los momentos para hacer el seguimiento del experimento con un 3,5 sobre 4. Para la cuarta y última categoría, los alumnos valoraron globalmente la experiencia con un 3,3 sobre 4.

En un estudio similar destinado a estudiar la percepción de estudiantes del Grado en Educación Infantil tras la implementación de una actividad con huertos universitarios, los resultados revelaron un efecto positivo a nivel cognitivo, procedimental, emocional y relacional, así como en otros aspectos transversales como medio ambiente, agricultura y alimentación (Eugenio et al., 2019). En otro estudio de Aguilera (2023), cuando el huerto se utiliza a nivel universitario como contexto para la adquisición de competencias en sostenibilidad y en ciencias, se concluyó que el 95 % del profesorado en formación inicial motivo de estudio, admitió una mejora en su capacidad para desarrollar iniciativas educativas que promuevan la salud, la sostenibilidad y el logro de los ODS.

5. CONCLUSIONES

En base a estos resultados, podemos corroborar las conclusiones de otros autores y, en concreto, nuestros alumnos consideran que el poner en práctica el método científico les ha ayudado principalmente a:

- Valorar el diseño experimental como recurso para enseñar ciencias en Primaria

- Plantear situaciones de aprendizaje
- Conocer otra manera de acercar las ciencias a los alumnos de Primaria
- Tener una actitud más positiva y estar más motivados para enseñar ciencias

Aunque la valoración ha sido positiva, se pretende continuar con la misma experiencia, pero optimizando las fases del método en función de los resultados obtenidos. También, se revisará el cuestionario de valoración para obtener información más centrada en la futura labor docente de nuestros alumnos e incluir la valoración de aspectos relacionados con la sostenibilidad y el cuidado del medioambiente.

6. REFERENCIAS

- AGUILERA, F. (2023). El huerto como contexto educativo para el desarrollo de competencias en sostenibilidad y en ciencia en alumnado universitario. En Delfín Ortega y Alexander López (Eds.), *Educación y sociedad: claves interdisciplinares* (pp. 60-70). Octaedro. <http://doi.org/10.36006/16426-1>
- DE PRO, A., DE PRO, C. Y CANTÓ, J. (2022). Cinco problemas en la formación de maestros y maestras para enseñar ciencias en Educación Primaria. *Revista Interuniversitaria de Formación del Profesorado*, 97, 185-202. <https://doi.org/10.47553/rifop.v97i36.1.92510>
- DESMOND D., GRIESHP J., SUBRAMANIAM A. (2004). *Revisiting garden-based learning in basic education*. International Institute for Educational Planning (IIEP) and Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <http://www.fao.org/3/a-aj462e.pdf>
- EUGENIO, M., ARAGÓN, L. (2016). Experiencias en torno al huerto ecológico como recurso didáctico y contexto de aprendizaje en la formación inicial de maestros/as de Infantil. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 13(3), 667-679. <http://hdl.handle.net/10498/18504>
- EUGENIO, M., RAMOS, G. Y VALLÉS, C. (2019). Huertos universitarios: dimensiones de aprendizaje percibidas por los futuros maestros. *Enseñanza de las ciencias*, 37(3), 111-127. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2657>
- PARRA, G. Y MUÑOZ, J.M. (2021). La inclusión de los huertos educativos en los procesos de aprendizaje. *El Huerto educativo: recurso didáctico para trabajar los objetivos de desarrollo sostenible desde una perspectiva multidisciplinar* (1ª ed., pp.19-25). Universidad de Salamanca. <https://doi.org/10.14201/0AQ0301>
- PUYOL, R. (2007). *Didáctica de las Ciencias en la Educación Primaria*. Editorial Síntesis.
- REAL DECRETO 157/2022, de 1 de marzo, por el que se establecen la ordenación y las enseñanzas mínimas de la Educación Primaria. BOE, núm. 52, de 2 de marzo de 2022. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2022-3296>
- TIERNO, S.P., TUZÓN, P., SOLBES, J. Y GAVIDIA, V. (2020). Situación de la enseñanza de las ciencias por indagación en los planes de estudio de Grado de Maestro de Educación Primaria en España. *Didáctica de las Ciencias Sociales y Experimentales*, 39, 99-116. <http://DOI: 10.7203/DCES.39.17855>

ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA (s.f.). *Objetivos de Desarrollo Sostenible. Objetivo 4: Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/education/>

VELASCO, J.M. Y BLANCO, F. (2009). Didáctica de las Ciencias de la Naturaleza (Biología, Geología, Física y Química). Máster Universitario en Profesor de Educación Secundaria.

“LEARNING BY DOING” EN LAS INGENIERÍAS INDUSTRIAL Y NAVAL DE LA UNIVERSIDAD DE CÁDIZ

SIERRA CASANOVA, C. CRISTINA; CERVERA PAZ, ÁNGEL; Y ODRÍGUEZ CORNEJO, VANESSA M.¹

1. INTRODUCCIÓN – 2. DISEÑO Y METODOLOGÍA DEL PROYECTO ODS –
 3. ACTIVIDADES REALIZADAS DURANTE EL PROYECTO –
 4. CONCLUSIONES Y ACTUACIONES FUTURAS – 5. REFERENCIAS
-

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo es implementar actividades en el aula y fuera de ella que proporcione los conocimientos, las habilidades y la motivación necesarios a los estudiantes de ingeniería naval e industrial para comprender y trabajar los ODS. Desde la información, la sensibilización y el debate hacerlos responsables de los cambios que la sociedad necesita para el cumplimiento de la Agenda 2030 de las Naciones Unidas. Asimismo, se busca evaluar si la experiencia académica y preprofesional en el aula les otorga herramientas para implementar soluciones a los ODS en el entorno empresarial inmediato, conectándolos con el entorno industrial de la Bahía de Cádiz sensibilizándolos así con las empresas sostenibles y los recursos y capacidades que estas necesitan para ello. Se ha aplicado la metodología de aprendizaje experiencial “Learning by Doing”, o “aprender haciendo”. Con esta metodología se les invita a implicarse tanto en su vida diaria como en equipo, enfrentando un “Reto ODS”. Toda la clase trabajó los 17 ODS, y cada estudiante y cada equipo eligió uno para conseguir su reto/sus retos. Posteriormente, se les hace protagonistas de los cambios que el compromiso puede generar, implicándolos con el entorno socioeconómico de la Bahía de Cádiz, visitando empresas para analizar qué es una empresa sostenible y sus compromisos hacia la Agenda 2030, y comprobar que sus retos están alineados con los de estas empresas. Finalmente, los conocimientos adquiridos y experiencias se exponen en una jornada final, donde a través del debate y reflexión se construye un decálogo de buenas prácticas sobre los ODS en la Universidad de Cádiz (UCA) y las posibles recomendaciones para el tejido industrial de su entorno inmediato.

Palabras clave: ODS; Aprender Haciendo; Universidad; Sostenibilidad; Ingeniería.

¹ Departamento Organización de Empresas, Universidad de Cádiz.

1. INTRODUCCIÓN

Es indiscutible, en la actualidad, la importancia de contribuir a la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) a nivel general y por supuesto en el ámbito de la educación superior de forma particular (Bas et al., 2021). En 2015, las Naciones Unidas adoptaron la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible y establecieron 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) que los gobiernos deben alcanzar para 2030. Una la acción para erradicar la pobreza, proteger el planeta y asegurar que todas las personas disfruten de paz y prosperidad para 2030.

Griggs et al (2013) abogan por un enfoque equilibrado en los ODS que armonice el bienestar humano con la preservación del planeta. Argumentan que el desarrollo sostenible debe ir más allá del crecimiento económico y considerar la integridad de los sistemas ambientales que sustentan la vida. Proponen redefinir el desarrollo sostenible como un equilibrio entre tres pilares: bienestar humano, equidad y la protección de la biosfera. Subrayan la importancia de establecer metas que no solo atiendan las necesidades de la población actual, sino que también aseguren la viabilidad de los ecosistemas para las generaciones futuras.

Asimismo, Allen et al (2016) analizan diversas herramientas de modelado de escenarios que los países pueden utilizar para planificar y alcanzar los ODS. Estas herramientas permiten a los gobiernos evaluar posibles trayectorias de desarrollo y sus impactos sobre diferentes dimensiones de los ODS, como el crecimiento económico, la equidad social y la sostenibilidad ambiental. Cualquier acción necesita de unos esfuerzos conscientes para planificarla y llevarla a cabo. Como no puede ser menos ahí está el importante papel que juega la formación.

En este sentido la Universidad de Cádiz (UCA) ha propiciado que determinadas asignaturas recojan competencias transversales relativas a los ODS, como es el caso de la asignatura de Organización y Gestión de Empresas, impartida en todos los Grados de Ingeniería de la UCA, tanto naval como industrial. Como docentes tenemos responsabilidad ante la sociedad y nuestros estudiantes, en ese sentido debemos poner nuevas herramientas en marcha para aportar nuestro grano de arena.

Este trabajo se basa en una experiencia docente que aplica la metodología de aprendizaje experiencial, "Learning by Doing" (Schank, 2002), para la implementación de la sostenibilidad y los ODS en la docencia universitaria.

Se trata de una metodología en la que, mediante dinámicas y simulaciones, se construyen metáforas de la vida real y gracias al profesorado, quien en la práctica construye el aprendizaje junto al estudiante, permitiendo a este extraer sus propios conocimientos, en forma de experiencia (ver tala 1), conectando sus conocimientos con la realidad de su entorno.

Tabla 1. formas de experiencia, (Borgnakke 2004):

FORMAS DE EXPERIENCIA	DESCRIPCIÓN
PARTICIPATIVA	TODOS LOS PARTICIPANTES A PARTIR DE LA EXPERIMENTACIÓN CONSTRUYEN EL APRENDIZAJE Y EL CAMBIO CON LAS APORTACIONES DE TODOS LOS INTERESADOS EN EL PROYECTO
REFLEXIVA	MEDIANTE LA DEDUCCIÓN, LA INTUICIÓN Y LA CREATIVIDAD, UTILIZANDO EL EMPÍRISMO Y LOS CONOCIMIENTOS DE LAS PERSONAS IMPLICADAS, INDUCIÉNDOLES A PENSAR Y APRENDER DE SÍ MISMOS Y DE LOS COMPAÑEROS
PRÁCTICA	PORQUE LOS ASISTENTES TRABAJAN SOBRE SU PROPIA REALIDAD PERCIBIDA, SOBRE SUS LÍMITES Y POTENCIALIDADES, PARA QUE LAS CONCLUSIONES TENGAN UNA APLICACIÓN DIRECTA TANTO EN SUS INTERESES Y OBJETIVOS
ESTIMULANTE	LA EXPLORACIÓN Y EL TRABAJO SE REALIZA CON CLAVE DE RETO Y UN ESTADO DE APERTURA MENTAL PROPICIADO POR UN AMBIENTE QUE LA GENERA Y FACILITA.
FLEXIBLE	PORQUE SE ADAPTA A LAS NECESIDADES Y POSIBILIDADES DE LOS ESTUDIANTES.

Métodos como el “Learning by doing” dentro del nuevo marco de la docencia universitaria parecen tener un importante papel en la consecución de las competencias (Knowles y Suh 2005; Lange y Pugh 1997), supone una innovación educativa y requieren un cambio de rol en los agentes involucrados (Bot, Gossiaux, Rauch y Tabiou 2005).

Este método concluye que la práctica de una actividad real y significativa es fundamental para garantizar la mayor retención posible durante el aprendizaje del estudiante, convirtiéndose en agente activo, en protagonista de su propio proceso de aprendizaje, responsabilizándose del mismo (Smart y Csapo 2007).

El proyecto se llevó a cabo en el curso académico 2022/23 concretamente con los estudiantes del grado de Ingeniería Naval y el grado de Ingeniería Informática y el Máster en Fabricación, implicando a un total de 224 alumnos matriculados.

2. DISEÑO Y METODOLOGÍA DEL PROYECTO ODS

Su principal objetivo consistía en dotar a los estudiantes del conocimiento, las habilidades y la motivación suficiente para comprender y empezar a trabajar los ODS, sensibilizarlos y hacerlos responsables de los cambios que la sociedad y el mundo necesita. Por otro lado, proporcionar experiencia académica y preprofesional en profundidad para implementar soluciones a los ODS en el entorno empresarial más inmediato; fomentar el desarrollo de las capacidades de los estudiantes, empoderando, movilizándolo y acercándolo al entorno específico industrial de la Bahía de Cádiz para sensibilizarlos con las empresas sostenibles y los ODS, aplicando la metodología de aprendizaje experiencial, “Learning by doing”, incentivando desde el conocimiento la curiosidad y la creatividad, posibilitando al estudiante mayores y mejores recursos para tomar sus decisiones con mayor confianza.

Fase 1: se celebró una Jornada de presentación de los ODS en clase de la asignatura en cada curso y grado para informar y explicar que son los ODS, la implicación y compromisos que proponen para los ciudadanos y las organizaciones. Se conectó la significación que tienen los ODS con los contenidos de la asignatura. Asimismo, se les invitó a implicarse tanto en su vida diaria como en equipo a desafiar a uno de los 17 Objetivos de Desarrollo sostenible con un Reto ODS personal y grupal.

A partir de ahí los estudiantes han estudiado cada uno de los ODS, creando equipos de 3 participantes y cada equipo ha elegido uno de los 17 ODS. En concreto se han trabajado y debatido los siguientes ODS: Objetivo 3. Salud y bienestar; Objetivo 4 Educación de calidad; Objetivo 5 Igualdad de género; Objetivo 8 Trabajo decente y crecimiento económico; Objetivo 9: Industria, Innovación e infraestructuras; Objetivo 12. Producción y Consumos Responsables; Objetivo 17 Alianzas para lograr objetivos.



Imagen 1. Implementación de los ODS en el proyecto

Fase 2: los estudiantes han pasado a ser los protagonistas del proyecto y han experimentado en primera persona el compromiso que les lleva a introducir los cambios que se necesitan en su entorno inmediato. Han podido percibir como ciudadanos están implicados en el entorno socioeconómico de la Bahía de Cádiz. Además de ciudadanos son futuros profesionales y para ello conocer su entorno socioeconómico es fundamental. Se organizó una agenda de visitas a empresas sostenibles de la Bahía de Cádiz para conocer que qué es una empresa sostenible (Montiel et al, 2021) y qué compromisos adquieren para contribuir con sus acciones a los ODS de la Agenda 2030.

Fase 3: se realiza en torno a una Jornada Final dónde se debaten en grupo todos los conocimientos y experiencias adquiridas. En ella cada equipo mostró su trabajo, explicó sus retos, así como sus compromisos individuales y como equipo, exponiendo sus aportaciones y experiencias. Como resultado del debate generado en dicha jornada, se construyó un decálogo de propuestas de buenas prácticas sobre la aplicación de los ODS en la UCA.

Como colofón se aprovechó la celebración del Congreso Internacional RIME como oportunidad de dotar a los estudiantes de nuevos conocimiento y más profundos sobre los ODS con personas de otros países, conocer otras experiencias, soluciones, tecnologías, otras vías e innovaciones para resolver y apoyar la implementación de los ODS por parte de la comunidad educativa global con nuevos enfoques interdisciplinarios, transdisciplinarios y científico.

3. ACTIVIDADES REALIZADAS DURANTE EL PROYECTO

Actividad 1: Sesión inicial en la presentación de las asignaturas participantes en el Proyecto sobre los ODS y su implicación en la vida diaria y profesional.

Actividad 2: Implicación con el entorno socioeconómico Cádiz: Salida de campo y análisis de Empresas Sostenibles. Visita al CEEI Bahía Cádiz. Polígono Industrial Las Salinas El Puerto de Santa María (15/05/23). Visita a Navantia, en concreto al Astillero de Puerto Real (20/05/2023). Para el 30/05/2023 estaba programada la visita a la empresa DSA Group en el Parque Tecnológico de Jerez, pero la empresa finalmente no pudo atendernos en esa fecha y no se realizó.

Actividad 3: Trabajo final presentado en la jornada a la que se aludió anteriormente. Dado su interés se recogen los testimonios realizados por algunos equipos sobre la experiencia y aprendizaje, realizados al concluir la jornada final. Con ellos observamos cómo se han comenzado a entrenar a los gerentes de las siguientes generaciones (Adas et al, 2016).

- “Las ODS es un proyecto que por suerte se está globalizando y se está teniendo en cuenta en las empresas, esto hace que se propague por todos lados y que se pueda llevar a cabo de una manera que se pueda hacer real todos los retos”.
- “En cuanto a lo personal a nosotros nos ha aportado mucho en nuestro día a día, nos hemos dado cuenta de la importancia que tienen para todos y queremos seguir participando en este proyecto”.
- “Por último, hay que destacar la gran importancia de este trabajo para hacernos ver la importancia de estos ODS, algo para nosotros desconocido hasta el momento, y que a partir de ahora no dejaremos pasar desapercibido”.
- “En resumen, nuestras conclusiones y aprendizajes nos han llevado a una mayor conciencia de los ODS, el establecimiento de metas claras, la identificación de los recursos necesarios y una contribución significativa hacia un desarrollo sostenible”.
- “Nuestra contribución a través de este proyecto se centra en implementar prácticas y procesos que minimicen el impacto ambiental en los ecosistemas marinos, promover un consumo responsable y fomentar el empleo local. A través de la producción de una parafina sin contaminantes, la concienciación de clientes y la comunidad surfista, y el fomento de empleo y desarrollo de habilidades, buscamos hacer nuestra parte para avanzar hacia un futuro más sostenible”.
- “Como conclusión podemos sacar que los ODS son necesarias para que la vida prospere en buenas condiciones, ya que no tiene sentido vivir si no tenemos buenas condiciones, ya sea en el clima, o a nivel social. Su cumplimiento, por tanto, si queremos ser buenos ciudadanos debe ser necesario ya que todos podemos aportar, aunque sea muy poco”.
- “En última instancia, al trabajar juntos y continuar promoviendo la igualdad de género en nuestras vidas cotidianas, podemos acercarnos más a la realización

del ODS número 5 y construir un mundo más justo e igualitario para todas las personas, sin importar su género”.

- “Gracias a este proyecto hemos podido desarrollar una idea amigable con el medio ambiente que trata de sanar parte del daño hecho por la raza humana a nuestros mares. Han sido vitales nuestros conocimientos adquiridos en esta jornada junto a grandes personas y empresarios, además de los amplios conocimientos otorgados por la asignatura de OGE. Todo esto junto a muchas ganas de ayudar al medioambiente, ha dado frutos en nuestro producto y proyecto. Hemos aprendido a trabajar en equipo y bajo presión y creemos que el resultado final, aun estando muy distante de la perfección, ha salido coherentemente bien”.
- “Para las organizaciones navales, la necesidad de proteger y preservar los ecosistemas marinos, reducir la contaminación y prevenir la sobreexplotación de los recursos marinos, en línea con el ODS 14 (vida submarina)”.
- “El cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) por parte de la industria y el sector naval es fundamental para lograr el desarrollo sostenible. Al implementar acciones concretas, estas organizaciones pueden hacer una contribución significativa a algunos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible”.
- “En resumen, las organizaciones comerciales e industriales tienen un papel importante que desempeñar en el logro de los ODS. Las estrategias que promueven la energía limpia, la eficiencia, la innovación, la fabricación y el consumo, así como los esfuerzos para mitigar el cambio climático y proteger los ecosistemas marinos, contribuyen al desarrollo sostenible y una vida mejor para todos”.
- “En cuanto al aprendizaje, el proyecto ha resaltado la importancia de integrar los ODS en la estrategia empresarial desde el inicio. Al hacerlo, se ha podido diseñar un modelo de negocio sostenible que promueva la inclusión social, la preservación del medio ambiente y la conciencia ambiental entre los usuarios”.

A lo largo del proyecto, hemos trabajado en la implementación de iniciativas para contribuir a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), centrándonos en los ODS 14, 12 y 8. A través de nuestras metas y objetivos específicos, hemos buscado minimizar el impacto ambiental en los ecosistemas marinos, promover el uso responsable de productos y minimizar la huella ambiental, y fomentar el empleo local y el desarrollo de habilidades. Durante este proceso, hemos obtenido varios aprendizajes significativos.

Algunos de los principales aprendizajes son:

- La importancia de la sostenibilidad: Hemos comprendido la necesidad de adoptar prácticas sostenibles en nuestras operaciones, desde la selección de ingredientes y materiales hasta la gestión de residuos. La sostenibilidad no solo es crucial para el medio ambiente, sino que también puede ser una ventaja competitiva y mejorar nuestra reputación en el mercado.
- La relevancia de la educación y la concienciación: Hemos reconocido la importancia de educar a nuestros clientes y a la comunidad surfista sobre la importancia de la vida submarina y la necesidad de tomar medidas responsables. La con-

cienciación es fundamental para lograr cambios de comportamiento y promover un consumo responsable.

- La necesidad de alianzas y colaboraciones: Hemos aprendido que abordar los desafíos de manera efectiva requiere la colaboración con expertos, organizaciones y partes interesadas relevantes. Mediante alianzas estratégicas, podemos acceder a conocimientos especializados, recursos adicionales y redes de apoyo que fortalecen nuestra capacidad para alcanzar los objetivos establecidos.
- Nuestra contribución a través de este proyecto se centra en implementar prácticas y procesos que minimicen el impacto ambiental en los ecosistemas marinos, promover un consumo responsable y fomentar el empleo local. A través de la producción de una parafina sin contaminantes, la concienciación de clientes y la comunidad surfista, y el fomento de empleo y desarrollo de habilidades, buscamos hacer nuestra parte para avanzar hacia un futuro más sostenible.
- En resumen, este proyecto nos ha enseñado la importancia de la sostenibilidad, la educación y la colaboración, y nos ha brindado la oportunidad de contribuir activamente a la consecución de los ODS. Estamos comprometidos a seguir trabajando en estas áreas y a utilizar nuestros recursos y conocimientos para generar un impacto positivo en nuestro entorno y en la sociedad en general.

4. CONCLUSIONES Y ACTUACIONES FUTURAS

El equipo de profesores comprometidos con el Proyecto y aplicando el ODS 17 “Alianzas para conseguir los objetivos” generó sinergias con distintas actuaciones de interés que se programaban durante la duración del curso. Destacando la participación del Proyecto en el Iº Congreso RIME celebrado en la Escuela Superior de Ingeniería los días 17 al 19 de mayo con las siguientes actuaciones: promover que las conferencias plenarias de los días 17 y 18 se dedicaran a los ODS bajo los títulos “Los ODS en el ámbito universitario” y “Competencias en la Dirección de Proyectos. ODS”. Además, de la contribución de 7 estudiantes del Máster de Fabricación Industrial que participaron con distintas ponencias y otros 3 estudiantes presentaron sus trabajos en formato póster.

- Póster: Análisis de aplicaciones móviles enfocadas en los ODS. 17 ODS trabajadores. En este trabajo se hace una revisión de las aplicaciones móviles actualmente existentes enfocadas a la promoción y cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU.
- Póster: El enfoque orientado a las personas en Lean Manufacturing. ODS 9 - Industria, Innovación e Infraestructuras. Lean Manufacturing como estrategia de fabricación y estilos de gestión más ampliamente aceptados por organizaciones de todo el mundo para mejorar su rendimiento.
- Póster: Influencia de la integridad personal en el liderazgo. ODS 4, 8, 10 y 17. El objetivo de este trabajo consiste en desarrollar un modelo de gestión que permita asegurar la integridad personal dentro de la organización.

Asimismo, el equipo de profesores implicados en el Proyecto participó en la “I Jornada de difusión sobre proyectos relacionados con la Sostenibilidad y con la implementa-

ción de los Objetivos de Desarrollo Sostenible en la docencia reglada de la UCA", organizada por la Delegación del Rector para el Desarrollo Estratégico de la Universidad de Cádiz el 28 de junio en la Escuela Superior de Ingeniería, Puerto Real.

Por último, de cara al futuro, se presentó un nuevo Proyecto en la II convocatoria Proyecto sobre la implementación de la sostenibilidad y los ODS en la docencia reglada universitaria curso 2023/2024, titulado: "Practicando el ODS 17 "Alianzas para lograr los objetivos": Las ONGs, las Empresas y las Ingenierías de la UCA hacia los retos ODS en la Universidad de Cádiz" implicando a un mayor número de profesores, titulaciones y asignaturas, así como a empresas y ONG.

5. REFERENCIAS

- ALLEN, C., METTERNICHT, G., & WIEDMANN, T. (2016). National pathways to the Sustainable Development Goals (SDGs): A comparative review of scenario modelling tools. *Environmental Science & Policy*, 66, 199-207.
- ADDAS, A., KIBSEY, S. D., NG, G., & WALKER, T. (2016). Entrenando a la próxima generación de gerentes del riesgo de desastres a través de la investigación y enseñanza en sostenibilidad. *AD-Minister*, (28), 157-176.
- BAS VILIZZIO, M., CAMACHO, H., CARABANTES ALARCÓN, D., DE LUCA, M. P., DUSSEL, I., REINOSO, A. F., ... & LEOPOLDO MERCADO, L. P. (2021). La educación superior en Iberoamérica en tiempos de pandemia. Impacto y respuestas docentes. Fundación Carolina.
- BORGNAPKE, K. (2004). Ethnographic studies and analysis of a recurrent theme: Learning by Doing. *European Educational Research Journal*, 3 (3), 539-565.
- BOT, L., GOSSIAUX, P. B., RAUCH, C. P., Y TABIOU, S. (2005). Learning by Doing: a teaching method for active learning in scientific graduate education. *European Journal of Engineering Education*, 30, 105-119.
- GRIGGS, D., STAFFORD-SMITH, M., GAFFNEY, O., ROCKSTRÖM, J., OHMAN, M. C., SHYAMSUNDAR, P., & NOBLE, I. (2013). Sustainable development goals for people and planet. *Nature*, 495(7441), 305-307.
- KNOWLES, M. P., Y SUH, S. (2005). Performance systems analysis: Learning by Doing. *Performance Improvement*, 44 (4), 35-42.
- LANGE, T., Y PUGH, G. (1997). High-tech investment and Learning by Doing: an alternative training strategy. *Education + Training*, 39 (8), 316-321.
- MONTIEL, I., CUERVO-CAZURRA, A., PARK, J. (2021). Implementing the United Nations' sustainable development goals in international business. *Journal of International Business Studies*, 52, 999-1030.
- SCHANK, R. C. (2002). *Designing World-Class E-Learning: How IBM, GE, Harvard Business School and Columbia University Are Succeeding at e-Learning*. USA: McGraw-Hill.
- SMART, K. L., Y CSAPO, N. (2007). Learning by Doing: engaging students through learner-centered activities. *Business communication Quarterly*, 70 (4), 451-457.

LA ESCUELA INCLUSIVA: INMIGRACIÓN-INTEGRACIÓN COMO TEMA TRANSVERSAL EN GEOMETRÍA Y EL CURRÍCULO DE DIDÁCTICA DE LAS MATEMÁTICAS PARA MAESTROS EN FORMACIÓN

ÁNGEL ENRIQUE SÁNCHEZ COLÍN¹

1. INTRODUCCIÓN – 2. MARCO TEÓRICO – 3. METODOLOGÍA – 4. RESULTADOS –
5. CONCLUSIONES – 6. REFERENCIAS

1. INTRODUCCIÓN

En didáctica de las matemáticas es poco común tratar los temas transversales dentro del currículo para maestros en formación y menos aún el tema de la inmigración, asumido como una crisis que persiste desde hace mucho tiempo en gran parte del mundo. Ulrika (2024), nos invita a hacer una reflexión al proporcionar la cifra de ~270 millones de personas (cerca del 3.5% de la población mundial) que son migrantes y han cruzado las fronteras internacionales. También hace referencia al artículo 13 de la declaración universal de los derechos humanos: <<Toda persona tiene derecho a salir de cualquier país, incluso el propio, y a regresar a su país>> (Naciones Unidas, 1948). En las mejores circunstancias, es imperativo obedecer y respetar las leyes de emigración e inmigración correspondiente a cada Estado porque tiene la soberanía de autorizar la entrada.

Todos los factores políticos, económicos, sociales y culturales que se movilizan por la inmigración repercuten en los sistemas educativos. En las escuelas es muy común contar con alumnado de diferente procedencia, por lo que, su integración en las aulas se está convirtiendo en un foco de atención para las instituciones escolares.

Cada tres años, los informes del Programa para la Evaluación Internacional de los Estudiantes (*PISA*, Programme for International Student Assessment, en inglés) revelan que un alto porcentaje de la población estudiantil inmigrante presenta menor rendimiento académico en matemáticas, comparado con el de los nativos de cada país en estudio (Guiannelli y Rapallini, 2016). En España, por ejemplo, la media de la puntua-

¹ Grupo de investigación: Didáctica de las Matemáticas, Facultad de Ciencias de la Educación (Universidad de Cádiz).

ción obtenida en matemáticas por los estudiantes nativos está ligeramente por encima de los 500 puntos; mientras que, la media de los que son inmigrantes es inferior a 450 puntos (Rosich Sala y López Serentill, 2013).

El incremento del alumnado inmigrante está conduciendo a una educación intercultural dentro del modelo de escuela inclusiva, en la que se puede atender a la diversidad de culturas y lenguas. Por tanto, el profesorado en todos los niveles educativos debe estar preparado para afrontar el reto de acomodar los derechos individuales de cada alumno con los derechos colectivos (Arredondo et al., 2019; Civil, 2012; Fernández González y Darretxe Urrutxie, 2011; Osibodu y Yaro, 2023). Además, deben adquirir las competencias adecuadas en un ámbito multidisciplinar que proporcione un aporte a su formación.

En este estudio se presenta una práctica educativa de destreza, visualización, representación geométrica, y de interpretación visual, diseñada para transformar una imagen figurativa en una abstracción de contenido geométrico. Su objetivo principal se enfoca en sensibilizar y despertar la conciencia de los profesores en formación ante la situación actual de los estudiantes inmigrantes, y reforzar sus competencias actitudinales para afrontar situaciones reales en un futuro próximo durante su desempeño profesional.

La práctica fue realizada por estudiantes de tercer año del grado en educación primaria, en la Facultad de Ciencias de la Educación, de la Universidad de Cádiz.

2. MARCO TEÓRICO

El objetivo de desarrollo sostenible N°4 (ODS 4) consiste en <<garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos>> (Naciones Unidas, 2015). El modelo de escuela inclusiva se caracteriza entre otras cosas, por atender a la diversidad. Esto implica que el profesorado de todos los niveles educativos, además de su especialidad en la disciplina, posean una capacitación con enfoque de justicia social, encaminada a contrarrestar las desigualdades y fortalecer la equidad que se menciona en el ODS 4. Para atender a la diversidad es indispensable que el profesorado desarrolle las competencias necesarias para abordar diferentes situaciones en las que pudieran encontrarse los estudiantes, como pueden ser: alguna discapacidad, su orientación sexual, que provengan de pueblos indígenas, que sean afrodescendientes, o inmigrantes de cualquier país. Paz Maldonado (2018), propone al menos diez competencias básicas y transversales para atender a la diversidad en educación superior:

1. Planificar el proceso educativo en base a las necesidades del estudiantado. 2. Implementar metodologías que promuevan el respeto, cooperativismo y eviten la discriminación. 3. Evaluar de acuerdo a las condiciones de cada estudiante. 4. Capacidad comunicativa. 5. Efectuar innovaciones tecnológicas. 6. Renovar constantemente la práctica pedagógica. 7. Considerar las diferencias del estudiantado. 8. Conciencia y sensibilidad social. 9. Promover la participación del estudiantado en los diferentes espacios de aprendizaje. 10. Pensamiento reflexivo y crítico. (Paz Maldonado, 2018: 124).

Además, añade recordar el compromiso que se adquiere en nuestra profesión junto con la empatía, capacidad de escucha, motivar y canalizar las situaciones difíciles en el aula. Los programas de educación intercultural para atender a la diversidad en la sociedad del siglo XXI comenzaron a proponerse en la década de los 90 (Delors, 1996). En estos programas, la interculturalidad actúa como un eje transversal en todas las etapas educativas para potenciar el aprendizaje interdisciplinar en el currículo. La intercultural-

ralidad debe entenderse como la interacción entre dos o más culturas. Por consiguiente, la matemática intercultural establece conexiones culturales con otras disciplinas como la biología, la música, el arte, la historia, la geografía, la antropología y otras ciencias sociales con el fin de conducir al estudiante a la construcción de nuevos significados en la matemática universal que conocemos (Bizarro Flores, 2020; Palacios-Hidalgo y Cimas, 2021). Estos significados nuevos, pueden integrarse en el marco de un sentido espacial generalizado, en el que se produce una relación entre la visualización espacial y el aprendizaje de la geometría (Fernández, 2013; Gutiérrez, 2006; Presmeg, 2006).

3. METODOLOGÍA

En este estudio participaron 63 estudiantes del tercer año del grado en educación primaria que cursaban la asignatura Didáctica de las Matemáticas II. Durante este curso, atendieron a los contenidos del currículo en el que se incluye el razonamiento geométrico, y se les presentó un modelo de sentido espacial como referente teórico (Roura y Ramírez, 2021). La metodología empleada para este estudio es de tipo exploratorio-cualitativo. Los instrumentos de análisis fueron las respuestas a dos ejercicios. El primer ejercicio consistió en transformar una imagen figurativa en una representación geométrica abstracta. El soporte de la entrega fue en papel, pudiendo utilizar lápices de grafito y colores. Las dimensiones para cada representación fueron de 8 x 10 cm. El segundo ejercicio consistió en la interpretación visual y escribir un discurso propio de la misma imagen proporcionada. La entrega fue en papel, escrito con bolígrafo.

Los participantes se dividieron en tres grupos de 21 integrantes cada uno. Se proporcionaron tres imágenes distintas, alusivas a inmigrantes en América, Europa y el sur de Asia, respectivamente. Todos los ejercicios fueron realizados de manera individual. Las categorías establecidas para analizar las respuestas a los dos ejercicios se muestran desglosadas en la Tabla 1.

Tabla 1. Categorías para el análisis del discurso y la transformación geométrica

DISCURSO / TRANSFORMACIÓN	DESCRIPCIÓN
EMPÁTICO	MUESTRA ACTITUDES DE EMPATÍA Y CONCIENCIA DE LA SITUACIÓN REAL.
ESCOLAR	ESCRIBE COMO SI FUERA LA RESPUESTA A UNA PREGUNTA DE EXAMEN.
INDIFERENTE	SU DISCURSO ESTÁ FUERA DE CONTEXTO CON RESPECTO A LA IMAGEN.
ACADÉMICO-CURRICULAR	MUESTRA INTERÉS POR LA PRÁCTICA EDUCATIVA EN SU DESARROLLO PROFESIONAL.
DISCRIMINATORIO	SE INCLUYEN COMENTARIOS DISCRIMINATORIOS HACIA LA INMIGRACIÓN.
ABSTRACCIONES CORRECTAS	COMPRENDE LOS PASOS PARA LA TRANSFORMACIÓN GEOMÉTRICA EN LÍNEAS (1-D), FORMAS (2-D) Y VOLUMEN (3-D). REALIZA UNA REPRESENTACIÓN ABSTRACTA COHERENTE CON LA IMAGEN.
ERRORES Y DIFICULTADES	DIFICULTAD PARA VISUALIZAR Y REPRESENTAR LA COMPOSICIÓN DE LA IMAGEN CON ELEMENTOS GEOMÉTRICOS. INCOHERENCIA ENTRE LA REPRESENTACIÓN GEOMÉTRICA Y LA IMAGEN.

4. RESULTADOS











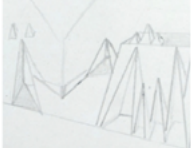
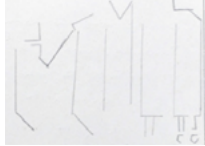





En el primer ejercicio, cada participante realizó tres transformaciones de la imagen proporcionada, correspondientes con: línea (1-D), forma (2-D) y volumen (3-D). En la Ta-

bla 2 se muestran algunos ejemplos que alcanzaron un grado de abstracción geométrica adecuado y coherente con la imagen representada. En las filas 2, 4 y 6 de esta misma tabla se indican algunos errores y dificultades que los participantes mostraron al realizar la transformación. Lo errores más comunes consistieron en la falta de coherencia con la imagen proporcionada y las dificultades para representar la imagen en 3-D.

En el segundo ejercicio, cada participante escribió un discurso propio de la imagen proporcionada. Es importante resaltar que de los 63 participantes solamente uno incluyó de manera indirecta, comentarios de tipo discriminatorio hacia la inmigración. En la Figura 1 se incluyen algunos fragmentos de los discursos que presentaron.

En la Tabla 3 se muestran los resultados del análisis para la transformación geométrica y el discurso escrito.

Tabla 2. Transformación de imágenes figurativas en abstracciones geométricas

ITEM	ABSTRACCIONES GEOMÉTRICAS		
	1-D	2-D	3-D
 HTTPS://ES.EURONEWS.COM/2023/08/23/ESTAN-OBLIGADOS-POR-LEY-LOS-GOBIERNOS-Y-LAS-ONG-A-SALVAR-A-LOS-INMIGRANTES-EN-EL-MAR			
ERRORES Y DIFICULTADES: INCOHERENCIA ENTRE LA IMAGEN Y SU REPRESENTACIÓN GEOMÉTRICA.			
 HTTPS://ELTIEMPOLATINO.COM/2024/03/04/INMIGRACION-TIEMPO-COMUNIDAD-LATINA/POBLACION-INMIGRANTE-EN-EEUU-2024/			
ERRORES Y DIFICULTADES: INCOHERENCIA ENTRE LA IMAGEN Y SU REPRESENTACIÓN GEOMÉTRICA.			
			

ITEM	ABSTRACCIONES GEOMÉTRICAS		
	1-D	2-D	3-D
 <p>HTTPS://WWW.NATIONALGEOGRAPHIC.ES/HIS-TORIA/2020/05/NOS-TRATAN-COMO-A-PE-RROS-CALLEJEROS-TRABAJADORES-MIGRAN-TES-HUYEN-CIUDADES-INDIA</p>	 	 	 
ERRORES Y DIFICULTADES: DIFICULTAD EN LA REPRESENTACIÓN EN 3-D.			

Tabla 3. Resultados del análisis para el discurso y la transformación geométrica

TIPO DE DISCURSO	ÁFRICA No. DE PARTICIPANTES	AMÉRICA No. DE PARTICIPANTES	UR DE ASIA No. DE PARTICIPANTES	TOTAL	PORCENTAJE
EMPÁTICO	6	7	5	18	28,6%
ESCOLAR	12	10	9	31	49,2%
INDIFERENTE	1	2	4	7	11,1%
ACADÉMICO-CURRICULAR	1	2	3	6	9,5%
DISCRIMINATORIO	1			1	1,6%
TRANSFORMACIÓN GEOMÉTRICA					
ABSTRACCIONES CORRECTAS	10	13	12	35	56%
ERRORES Y DIFICULTADES	11	8	9	28	44%

La inmigración no es un fenómeno nuevo; ha sido parte de la historia de la humanidad desde siempre. Detrás de cada persona que llega a un nuevo país hay un motivo, un deseo de mejorar su vida y la de su familia. Pero la integración no es un proceso automático; requiere apoyo, comprensión y, sobre todo, educación.

Aquí es donde entra la escuela inclusiva. Esta es un modelo educativo que pretende garantizar el acceso, el aprendizaje y la participación de todos los estudiantes, sin importar sus habilidades, antecedentes culturales o sociales y cualquier otra diferencia. La escuela

b) Podemos observar que en España la tasa de inmigrantes es cada vez mayor y que la sociedad española hoy en día está constituida, en un gran porcentaje, por personas inmigrantes. Por desgracia, en la sociedad también existen personas racistas que intentan perjudicar la vida de estas personas. Por ello, es muy importante fomentar la educación en valores. Esta educación fomenta valores como la tolerancia, empatía, respeto y entendimiento, valores imprescindibles para convivir en sociedad y para la socialización entre personas. La educación en valores, además, protege a las minorías

Inmigrantes en el mar".

He tratado muchas veces este tema con mis amigos, y una de las frases que suelo escuchar muchas veces es "no pueden caber todos aquí, ¡¿has visto el tamaño de África?!".

Sin embargo, aún enfrentamos desafíos. La discriminación, las barreras legales y la falta de acceso a oportunidades justas siguen afectando a muchos inmigrantes. Es crucial reconocer que la inmigración no es una amenaza, sino una fuerza de progreso. La historia de EE.UU. está construida sobre la contribución de aquellos que han llegado con sueños y determinación.

b) La imagen un grupo de personas con mochilas, aparentemente migrantes, caminando juntos. Esto nos lleva a reflexionar sobre la movilidad humana, la crisis migratoria y las condiciones de vida de muchas personas del mundo. Desde una perspectiva matemática y geométrica, esta imagen nos permite analizar cómo el mundo real puede traducirse a formas básicas, ayudándonos a comprender la estructura del espacio y relación con los objetos.

Además, la descomposición en diferentes dimensiones, nos muestra cómo las imágenes pueden representarse y simplificarse, lo que es útil en áreas como el diseño gráfico.

Figura 1. Fragmentos de los discursos presentados por los participantes

5. CONCLUSIONES

La práctica educativa realizada favoreció que 18 participantes mostraran características de empatía en su discurso y que al menos 6 participantes consideraran esta práctica para fines académico-curriculares en su futuro desempeño profesional. Al principio les resultaba difícil expresarse por escrito, pero conforme transcurría el tiempo fueron adquiriendo confianza para concluir el ejercicio. Esto pudo ser debido a que no habían tenido la experiencia con este tipo de prácticas durante sus estudios previos. Cerca de la mitad de los participantes consideraron esta práctica como un simple instrumento escolar para su evaluación, pero la mayoría mostró cambios actitudinales hacia el tema de la inmigración, los cuales, fueron muy notorios porque mostraron sensibilidad y activación de su consciencia al responder verbalmente a la pregunta ¿qué les había parecido la práctica? Sus respuestas confirmaron que las competencias adquiridas les permitirán abordar la atención a la diversidad al desempeñarse como futuros maestros.

En la visualización espacial, la imagen es de carácter protagonista debido a su representación en el proceso para manipularla y en la habilidad para crearla, imaginarla y procesarla. En el aprendizaje de la geometría, los objetos espaciales físicos o representados en cualquier dimensión y las relaciones que hay entre ellos, pueden manipularse para generar conocimiento matemático. Por tanto, la visualización puede ser considerada como un proceso para construir imágenes mentales, pudiendo ser de un concepto o de un objeto físico. Su finalidad es conducirnos a la comprensión de las matemáticas que se estén empleando para nuestro aprendizaje.

La matemática intercultural desarrollada en esta práctica permitió establecer relaciones entre imágenes figurativas y objetos geométricos, para generar conocimientos y significados nuevos, refiriéndose a las características de una situación actual que se vive en nuestra sociedad. Se abordaron temas transversales como la inmigración y la escuela inclusiva. Los resultados obtenidos revelaron que las capacidades individuales de los futuros maestros podrían proporcionar una pequeña aportación a las necesidades que demanda la atención a la diversidad en nuestro tiempo.

6. REFERENCIAS

- ARREDONDO, E. H., MÁRQUEZ TORRESA, M. Y GARCÍA-GARCÍA, J. I. (2019) La inmigración desde la mirada del profesor de matemáticas del sur de Chile. *Estudios Pedagógicos* 45 (3), 145-161.
- BIZARRO FLORES, W. H. (2020) Matemática intercultural en la transformación de la práctica pedagógica y la mejora de los aprendizajes. *Voces de la educación*, 5(9), 3–25.
- CIVIL, M. (2012) Mathematics teaching and learning of immigrants students: an overview of the research field across multiple settings. En: *Opening the cage: critique and politics of mathematics education*. Ed. Por Skovsmose, O. y Greer, B. Rotterdam: Sense Publishers, 127–142.
- DELORS, J. (1996) La educación encierra un tesoro, Informe a la UNESCO de la comisión internacional sobre la educación para el siglo XXI [en línea] disponible en <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000109590_spa> [consulta: 30 marzo 2025].

- FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, A. Y DARRETXE URRUTXIE, L. (2011) La escuela inclusiva: realidad intercultural. *Revista Iberoamericana de Educación*, 55(2). 1-11.
- FERNÁNDEZ, T. (2013) La investigación en visualización y razonamiento espacial. Pasado, presente y futuro. En: *Investigación en Educación Matemática XVII*. Ed. por Berciano, A., Gutiérrez, G., Estepa, A. y Climent, N. Bilbao: SEIEM, 19-42.
- GIANNELLI, G. C. Y RAPALLINI, CH. (2016) Immigrant student performance in Math: Does it matter where you come from? *Economics of Education Review*, 52, 291-304.
- GUTIÉRREZ, A. (2006) La investigación sobre enseñanza y aprendizaje de la geometría. En: *Geometría para el siglo XXI*. Ed. por Flores, P., Ruiz, F., De la Fuente, M. Badajoz, España: Federación Española de Sociedades de Profesores de Matemáticas y Sociedad Andaluza de Educación Matemática Thales, 13-58.
- NACIONES UNIDAS. (1948) Universal declaration of human rights [en línea] disponible en <<https://www.un.org/en/aboutus/universal-declaration-of-human-rights>> [consulta: 30 marzo 2025].
- NACIONES UNIDAS (2015) Objetivo de desarrollo sostenible número 4 [en línea] disponible en <<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/education/>> [consulta: 30 marzo 2025].
- OSIBODU, O. Y YARO, K. (2023) Forgrounding black african immigrants in mathematics education research. *PROMETEICA, Revista de Filosofía y Ciencias*, 27, 803-812.
- PALACIOS HIDALGO, F. J. Y CIMAS, J. G. (2021) Educación matemática intercultural: concepto y potencial didáctico. En: *De la emoción al conocimiento: Ecosistemas emergentes de aprendizaje lingüístico*. Madrid: La Fábrica, 121-127.
- PAZ MALDONADO, E. (2018) Competencias del profesorado universitario para la atención a la diversidad en la educación superior. *Revista Latinoamericana de Educación Inclusiva*, 12(2), 115-131.
- PRESMEG, N. C. (2006) Research on visualization in learning and teaching mathematics. En: *Handbook of research on the psychology of mathematics education: Past, present and future*. Ed. Por Gutiérrez, A. y Boero, P. Rotterdam: Sense Publishers, 205-235.
- ROSHICH SALA, N. Y LÓPEZ SERENTILL, P. (2013) Integración del alumnado inmigrante. Estudio comparativo según su procedencia. *Números*, 84, 47-63.
- ROURA, R. Y RAMÍREZ, R. (2021) Sentido espacial en futuros maestros. En: *Investigación en Educación Matemática XXIV*. Ed. por Diago, P. D., Yáñez D. F., González-Astudillo, M. T. y Carrillo, D. Valencia: SEIEM, 537-544.
- ULRIKA, R. (2024) Mathematics education in times of migration is not a single story(ine). *Quaderni di Ricerca in Didattica, Numero speciale*, 13 (202), 29-39.

RIESGOS PSICOSOCIALES EN LA ERA DIGITAL: LA EDUCACIÓN ENTRE EL DESAFÍO Y LA SOLUCIÓN PARA UN FUTURO SOSTENIBLE

BARRENA-MARTÍNEZ, J.¹; FONCUBIERTA-RODRÍGUEZ, M.J.¹ Y GILABERT-VILLARD, J.L.²

1. INTRODUCCIÓN – 2. METODOLOGÍA – 3. REVISIÓN DE LA LITERATURA –
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN – 5. CONCLUSIONES – 6. REFERENCIAS

Resumen

La era digital ha transformado profundamente el ámbito laboral, planteando retos significativos. Este estudio analiza los riesgos psicosociales emergentes derivados del uso intensivo de tecnologías digitales, concretamente, en uno de los colectivos más afectados, el de la educación. En el contexto de la crisis económica actual, y en consonancia con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU, la OIT y la UE, se examina cómo el proceso de la digitalización en el trabajo influye en la gestión de Recursos Humanos.

Se subraya la importancia de implementar programas de formación orientados a ciberseguridad, gestión de conflictos y prácticas éticas, entre otros, dirigidos al colectivo de trabajadores de la educación. Se propone basar la estrategia en la formación del colectivo; y en dotar y fortalecer las capacidades de los responsables del sector en nuevos liderazgos y gestión del cambio, como estrategia clave para mitigar estos riesgos. El objetivo es convertir los centros educativos en espacios saludables que fomenten un ambiente seguro y equitativo, priorizando el bienestar y la productividad de los docentes, mejorando la calidad de la enseñanza. Con ello, se estará contribuyendo al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) 3 “Salud y Bienestar”, 4 “Educación de calidad” y 8 “Trabajo decente y crecimiento económico”.

Este enfoque integral, alineado con recomendaciones internacionales, tiene como objetivo reducir desigualdades, fomentar competencias digitales y prevenir los riesgos psicosociales en los docentes. Su aplicación impulsará el crecimiento profesional, beneficiará a las futuras generaciones y fortalecerá la cohesión social, preparando a las comunidades educativas para los retos de la digitalización.

1 Departamento Organización de Empresas, Universidad de Cádiz.

2 SEJ058: “Cátedra de Estudios Jurídicos y Económicos del Campo de Gibraltar”.

Palabras clave: Riesgos psicosociales; transformación digital; liderazgo educativo; ODS; bienestar laboral; política de formación y capacitación.

1. INTRODUCCIÓN

La transformación digital está remodelando la sociedad, afectando tanto a los ámbitos laborales como educativos (Hashim et al., 2022). Aunque ha mejorado la productividad y accesibilidad, también ha traído consigo riesgos psicosociales que impactan en el bienestar de los trabajadores, especialmente en el sector educativo. En este contexto, la educación juega un doble papel: por un lado, es vulnerable a los efectos negativos de la digitalización, pero por otro, es clave para contrarrestar estos riesgos. Este estudio analiza dichos riesgos y propone soluciones prácticas, contribuyendo a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), enfocándose en la salud y sostenibilidad global.

2. METODOLOGÍA

La metodología adoptada en este estudio consiste en una revisión de la literatura disponible, complementada con directrices emitidas por organismos internacionales, como la ONU, la OIT y la UE. El análisis se enfoca en los riesgos psicosociales asociados a la digitalización en el sector educativo, además de las medidas recomendadas para enfrentarlos. El estudio también propone una agenda de investigación futura que explore la efectividad de las estrategias y acciones propuestas en diferentes contextos educativos.

3. REVISIÓN DE LA LITERATURA

3.1. El llamamiento de los organismos supranacionales por el bienestar y el trabajo decente para un crecimiento inclusivo y sostenible (ODS-3, ODS 4 y ODS-8)

La Agenda 2030 de la ONU resalta la importancia de promover la salud laboral (ODS-3), la educación de calidad (ODS-4) y el crecimiento económico inclusivo (ODS-8). Sin embargo, la crisis económica global ha profundizado las desigualdades, impulsando a muchos trabajadores hacia el empleo informal y la pobreza extrema, lo que ha debilitado las protecciones de salud (ONU, 2023). En este contexto, la OIT y la OMS enfatizan la necesidad de crear entornos laborales seguros, con especial atención a la salud mental.

En paralelo, la Unión Europea, a través de su Marco Estratégico 2021-2027, busca mejorar la prevención de accidentes y crisis sanitarias, poniendo el foco en los riesgos psicosociales que se han agravado por la COVID-19 (Parlamento Europeo, 2023). Además, la brecha digital, que afecta de manera desproporcionada a mujeres y jóvenes, está incrementando las desigualdades y reduciendo la productividad (Afzal et al., 2023). La ONU subraya la importancia de adaptarse a las nuevas tecnologías y fortalecer las competencias digitales para cerrar esta brecha (OMS, 2021). Debido a los motivos previamente señalados, alcanzar los ODS vinculados con la salud laboral, la educación y el

crecimiento económico demanda un trabajo conjunto para mitigar los impactos de la crisis y disminuir la brecha digital.

3.2. Riesgos psicosociales asociados a la digitalización y la automatización laboral

La automatización y robotización en los mercados laborales occidentales ha transformado sectores con trabajadores de baja y media cualificación (Foro Económico Mundial, 2023; McKinsey Global Institute, 2023). En este contexto, factores como las relaciones laborales, la autonomía y la gestión del cambio pueden generar estrés y riesgos psicosociales si no se gestionan adecuadamente. Sin embargo, la resiliencia y el liderazgo saludable juegan un papel crucial en la mitigación de estos riesgos, promoviendo así el bienestar de los empleados (Foncubierta-Rodríguez et al., 2020).

Por otro lado, la digitalización y el trabajo remoto han incrementado el sedentarismo, lo que representa un desafío para la salud pública; no obstante, incorporar actividad física en el entorno laboral mejora la productividad y reduce el absentismo (Foncubierta-Rodríguez et al., 2024).

A su vez, la digitalización ha traído consigo nuevos riesgos, como el tecnoestrés y el agotamiento profesional, especialmente durante la pandemia, además de intensificar la rotación y abandono de las organizaciones. Asimismo, la vigilancia digital y el uso de inteligencia artificial han incrementado la presión sobre los trabajadores, afectando sobre su bienestar y derecho a la desconexión digital (Malo, 2023).

Hacia una empresa saludable, abarcando también la salud psicosocial y mental de los empleados

Según la OMS, un entorno laboral saludable es aquel en el que empleados y directivos colaboran para garantizar la salud, seguridad y bienestar de los trabajadores, abarcando su bienestar físico y psicosocial (Organización Mundial de la Salud, 2010). Las organizaciones deben no solo asegurar la seguridad de sus empleados, sino también fomentar un entorno sostenible que mejore la calidad de vida y potencie la productividad. La EU-OSHA destaca que los riesgos psicosociales surgen de deficiencias en la gestión laboral, como el estrés y la falta de apoyo, por ello, aquellas organizaciones que desean ser consideradas “*saludables*” deben abordar estos riesgos y promover prácticas que favorezcan el bienestar integral.

Nuevo entorno digital: desafíos psicosociales emergentes y su impacto en el profesorado

La era digital ha generado una serie de riesgos psicosociales emergentes, particularmente en la profesión docente (Gutiérrez-Hernández et al., 2024), debido a la rápida digitalización y la integración de tecnologías de la información, aceleradas durante la pandemia de la COVID-19, afectando al nivel de bienestar percibido de los trabajadores; y que han generado nuevas formas de trabajo (Foncubierta-Rodríguez et al., 2020).

Entre los principales desafíos se encuentran la ciberseguridad, la automatización y la presión derivada del trabajo remoto, lo que ha impactado negativamente en el bienestar de los educadores. Estos cambios han llevado a muchos docentes a trabajar horas adicionales, a menudo desde sus hogares, y a adaptarse rápidamente a nuevas herramientas tecnológicas. Además, problemas como el uso inadecuado de dispositivos móviles en el aula, el ciberacoso y el sexting, entre otros, han incrementado significativamente su carga laboral, generando altos niveles de estrés y agotamiento (Gavilán-Martín, 2020), por ello, existe una tendencia a la prohibición a la utilización de su uso en los centros educativos. Todos estos cambios han generado un factor de riesgo psicosocial en el trabajo del docente que puede afectar en su desempeño, salud y seguridad (Huang y Leung 2020). Esta situación puede derivar en el síndrome de burnout, aumentando el riesgo de abandono de la profesión, considerándose el “*engagement*” como un aspecto positivo y óptimo del desarrollo profesional que puede ayudar a prevenir esta consecuencia, y en el que los recursos personales juegan un papel crucial para su mejora (Vicente de Vera García, 2022).

Por otro lado, la inteligencia artificial plantea tanto oportunidades como riesgos en el ámbito educativo. Si bien estas tecnologías pueden mejorar la personalización y eficiencia de los procesos de enseñanza, también requieren un enfoque ético para evitar consecuencias negativas en la comunidad educativa.

En este contexto, es esencial promover la resiliencia de los docentes y fomentar un uso ético y responsable de las herramientas digitales para salvaguardar el bienestar de los educadores.

La gestión del trabajo y la rendición de cuentas en educación son clave para reducir la carga administrativa de los docentes y mejorar la enseñanza. Sin embargo, la automatización podría reforzar prácticas obsoletas, en este sentido, la inteligencia artificial puede evitar la consolidación de modelos educativos desactualizados (European Commission, Joint Research Centre et al., 2020).

La felicidad del docente: clave para incrementar la productividad, la eficacia laboral y la calidad de la enseñanza

El bienestar docente está estrechamente relacionado con su productividad y eficacia, ya que influye en su motivación, compromiso y en la creación de un clima organizacional positivo (Anaya-Nieto y López-Martín, 2014). Por ello, quienes gozan de un bienestar integral suelen dedicar más tiempo a planificar estrategias pedagógicas, participar en actividades extracurriculares y experimentar menos estrés. Como resultado, no solo disminuye el riesgo de agotamiento profesional, sino que también se facilita una toma de decisiones más efectiva. Además, un entorno laboral saludable fortalece las relaciones interpersonales, mejora la comunicación y fomenta el trabajo en equipo, lo que impulsa la creatividad y la innovación. Por otro lado, la resiliencia de los docentes les permite afrontar desafíos con una actitud positiva, reduciendo así el absentismo y la rotación, y mejorando su salud física y mental (Foncubierta-Rodríguez y Sánchez-Montero, 2019).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los hallazgos de este estudio confirman que la digitalización ha desencadenado diversos riesgos psicosociales, entre ellos el tecnoestrés y el incremento de la carga laboral,

especialmente en el colectivo docente. Factores como la automatización y el trabajo remoto han contribuido al sedentarismo y la ansiedad, afectando de manera significativa la salud mental. No obstante, también se han identificado oportunidades, como la posibilidad de personalizar la educación mediante tecnologías avanzadas.

La educación se posiciona como una herramienta esencial para prevenir y mitigar los riesgos psicosociales emergentes de la era digital. Es indispensable implementar estrategias en la gestión de los Recursos Humanos que favorezcan entornos laborales saludables y productivos. Según Gavilán-Martín (2020), diversos estudios sugieren el diseño de programas formativos dirigidos a los docentes, con el objetivo de identificar y abordar estos problemas en los distintos niveles educativos.

Las acciones propuestas en este trabajo, orientadas al nivel micro, están encaminadas a fomentar ambientes laborales más saludables mediante capacitaciones específicas. Se recomienda formar a educadores y responsables de las instituciones educativas en áreas como ciberseguridad, mediación y gestión de conflictos, y sobre problemáticas como el sexting, el grooming y la adicción a videojuegos, entre otras. Para los directivos, es crucial estar capacitado en liderazgo, inteligencia artificial, automatización y uso responsable de redes sociales. Además, resulta vital la planificación de proyectos socioeducativos y la promoción de hábitos saludables que fortalezcan el bienestar físico y emocional de la comunidad educativa, contribuyendo al salario emocional de los trabajadores (Gallup, 2023).

Estas medidas, apoyadas por la colaboración de distintos actores, tienen el potencial de afrontar eficazmente los retos psicosociales emergentes, beneficiando tanto a la comunidad educativa como a la sociedad en su conjunto.

5. CONCLUSIONES

La transformación digital presenta tanto retos como oportunidades para el ámbito educativo, mejorando la calidad pedagógica y el bienestar docente. Es esencial que los equipos directivos implementen estrategias de gestión de Recursos Humanos para crear “*centros educativos saludables*”, promoviendo un liderazgo activo. Esto beneficiará a los educadores y a las generaciones futuras al prepararlas para los riesgos psicosociales en un entorno cambiante. La cuarta revolución industrial está remodelando la educación y la formación continua, por lo que es fundamental proporcionar a los trabajadores habilidades y resiliencia para afrontar los nuevos desafíos laborales. Se propone un estudio cuantitativo y cualitativo para identificar riesgos psicosociales y evaluar cómo la formación docente ayuda a mitigarlos, incorporando perspectivas internacionales e interdisciplinarias.

6. REFERENCIAS

- AFZAL, A., KHAN, S., DAUD, S., AHMAD, Z. & BUTT, A. (2023). Addressing the digital divide: Access and use of technology in education. *Journal of Social Sciences Review*, 3(2), pp. 883–895. <https://doi.org/10.54183/jssr.v3i2.326>
- ANAYA-NIETO, D. & LÓPEZ-MARTÍN, E. (2014). Satisfacción laboral del profesorado en 2012-13 y comparación con los resultados de 2003-04. Un estudio de ámbito nacional. *Revista de Educación (Madrid)*, 365. <https://doi.org/10.4438/1988-592X-RE-2014-365-266>

- EU-OSHA, S.F. Psychosocial risks and stress at work. European Agency for Safety and Health at Work. Recuperado el 10 de junio de 2024, de: <https://osha.europa.eu/en/themes/psychosocial-risks-and-mental-health/research>
- FONCUBIERTA-RODRÍGUEZ, M.J. & SÁNCHEZ-MONTERO, J.M. (2019). Towards happiness in workplace: Taking care of motivations and eliminating “digital fears”. *Challenges. Revista de Ciencias de la Administración y Economía*, 9(18), pp. 239-257. <http://dx.doi.org/10.17163/ret.n18.2019.04>
- FONCUBIERTA-RODRÍGUEZ, M.J., POZA-MÉNDEZ, M. & HOLGADO-HERRERO, M. (2024). Workplace health promotion programs: The role of compliance with workers’ expectations, the reputation and the productivity of the company. *Journal of Safety Research*, 89, pp. 56–63. <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2024.02.008>
- FONCUBIERTA-RODRÍGUEZ, M.J. & SILVA-ESPINOSA, J.A. (2020). Cuestión de emociones y sensaciones. Un nuevo liderazgo para una nueva era. En: Ravina-Ripol, R., Tobar Pesantez, L.B., Nuñez-Barriopedro, E. & Galiano-Coronil, A. (Coord.), *La Brújula del Siglo XXI: El Happiness Management*, pp. 141–174. Tirant lo Blanch.
- FORO ECONÓMICO MUNDIAL (2023). Informe sobre el futuro del empleo 2023. Recuperado el 10 de junio de 2024, de: https://www.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs_2023.pdf
- GALLUP (2023). State of the global workplace. Recuperado el 16 de junio de 2024, de: <https://www.2468group.com/wp-content/uploads/2023/07/state-of-the-global-workplace-2023-download.pdf>
- GAVILÁN-MARTÍN, D., ET AL. (2020). Los peligros ocultos de la red en el ámbito escolar: ciberbullying, grooming y sexting. En: Colomo-Magaña, E., et al. (Coords.), *La tecnología como eje del cambio metodológico*, pp. 1314-1316. UMA Editorial. Recuperado el 14 de junio de 2024, de: <https://rua.ua.es/dspace/handle/10045/109592>
- GUTIÉRREZ-HERNÁNDEZ, M.G., MALDONADO-MACÍAS, A.A. & SIBAJA TERÁN, B. (2024). Organización del tiempo durante el teletrabajo como riesgo psicosocial en docentes. *CULCYT. Cultura Científica y Tecnológica*, 21(1), pp. E2-E8. <https://doi.org/10.20983/culcyt.2024.1.2e.1>
- HASHIM, S., OMAR, M.K., AB JALIL, H. & MOHD SHAREF, N. (2022). Tendencias en tecnologías e inteligencia artificial en la educación para el aprendizaje personalizado: Revisión sistemática de la literatura. *Revista Internacional de Investigación Académica en Educación y Desarrollo Progresistas*, 11(1). <https://doi.org/10.6007/ijarped/v11-il/12230>
- HUANG, C. & LEUNG, L. (2020). Mobile phone usage and teacher stress in the classroom. *Journal of Educational Research*, 113(2), pp. 148-158.
- MALO, M. (2023). Aportaciones de la Inteligencia Artificial en materia preventiva y nuevos riesgos emergentes. En: Rodríguez de Galdeano, B. & Egúsquiza, M. (Eds.), *Inteligencia artificial y prevención de riesgos laborales: Obligaciones y responsabilidades*. Tirant lo Blanch.
- McKINSEY GLOBAL INSTITUTE (2023). Generative AI and the future of work in America (Informe). Recuperado el 10 de junio de 2024, de: <https://www.mckinsey.com/~media/mckinsey/mckinsey%20global%20institute/our%20research/generati>

[ve%20ai%20and%20the%20future%20of%20work%20in%20america/generative-ai-and-the-future-of-work-in-america-vfl.pdf](#)

NACIONES UNIDAS (2015). Resolución aprobada por la Asamblea General el 25 de septiembre de 2015, 70/1. *Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible*. Recuperado el 10 de junio de 2024, de: <https://undocs.org/en/A/RES/70/1>

PARLAMENTO EUROPEO (2023). Fichas temáticas sobre la Unión Europea. La seguridad y la salud en el trabajo. Recuperado el 10 de junio de 2024, de: <https://www.europarl.europa.eu/factsheets/es/sheet/56/la-salud-y-la-seguridad-en-el-trabajo>

VICENTE DE VERA GARCÍA, I. (2022). Factores psicosociales y experiencia de engagement en el trabajo: los recursos personales como antecedentes del engagement. *Foro de educación*, 20(2), pp. 275–294. <https://doi.org/10.14516/fde.837>

WORLD HEALTH ORGANIZATION (2010). *Entornos laborales saludables: fundamentos y modelo de la OMS: contextualización, prácticas y literatura de apoyo*. Organización Mundial de la Salud. Recuperado el 8 de junio de 2024, de: <https://iris.who.int/handle/10665/44466>

WORLD HEALTH ORGANIZATION (2021). *Global strategy on digital health 2020–2025*. World Health Organization. Recuperado el 8 de junio de 2024, de: <https://iris.who.int/handle/10665/344251>

LA INVERSIÓN SOSTENIBLE: UNA ALTERNATIVA RESPONSABLE A LOS AHORROS

SEBASTIÁN PÉREZ FERRÓN¹

1. INTRODUCCIÓN – 2. MARCO TEÓRICO – 3. ESTUDIO – 4. CONCLUSIONES – 5. REFERENCIAS

Resumen

Desde hace un tiempo, la palabra sostenibilidad ha entrado en nuestro entorno económico, tanto a nivel empresarial como a nivel gubernamental y de Organización.

Esta palabra ha provocado que el público tenga una percepción determinada a una forma de hacer, de trabajar, de conseguir objetivos, en pocas palabras, una percepción relacionada con la calidad, destreza, habilidad y buen hacer.

Este trabajo presenta la inversión en mercados financieros a través del instrumento financiero “*Fondos de Inversión*”, consiguiendo el sentido de instrumentos sostenibles debido a su determinada forma de gestionarse, y cómo autores e investigadores, con sus trabajos, han acuñado determinados nombres relacionadas con el cumplimiento de estas formas, y cómo las autoridades competentes han adaptado y transformado en norma de obligado cumplimiento estos conceptos.

Así mismo, se analizan 18 fondos de inversión con características sostenibles, demostrando que la limitación del abanico inversor no solo no afecta a la rentabilidad del producto sino la mejora.

1. INTRODUCCIÓN

La sostenibilidad se basa en el principio de asegurar las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las generaciones futuras, siempre sin renunciar a la protección del medioambiente, el crecimiento económico y el desarrollo social.

Por tanto, a nivel empresarial, todas las empresas que se consideran sostenibles están apoyando el crecimiento económico, el medio ambiente y el bienestar social, modificando sus estrategias y pensando en la rentabilidad a largo plazo.

¹ Departamento Organización de Empresas, Universidad de Cádiz.

La Unión Europea se ha unido a esta corriente sostenible a través del Pacto Verde Europeo (2019), definido como un conjunto de iniciativas políticas para la neutralidad climática en 2050 y actuando en cinco ámbitos, en el que se destaca el punto 4: “Necesidad de crear nuevos instrumentos de inversión verde y mercados financieros líquidos y profundos que impulsen las finanzas sostenibles”.

Las finanzas, los productos e instrumentos financieros, hasta ahora basados exclusivamente en criterios financieros de Rentabilidad, Riesgo y Liquidez introducen, además, en su desarrollo y decisiones, otros tipos de criterios no financieros, acordes con los objetivos de sostenibilidad.

Para realizar esta adaptación sin precedentes a los mercados sostenibles, es fundamental la colaboración de tres sectores clave. En primer lugar, el sector público que juega un papel crucial al establecer un marco normativo adecuado, ofrecer incentivos fiscales, proveer bienes públicos y asumir parte del riesgo asociado a las inversiones privadas. En segundo lugar, el sector privado que debe liderar con inversiones significativas y desarrollar innovaciones tecnológicas en los ámbitos agroalimentario, industrial y de servicios. Y finalmente, el sector financiero que tiene la responsabilidad de movilizar el ahorro y proporcionar los recursos necesarios para financiar estos proyectos (Izquierdo, 2022).

En este contexto, las finanzas sostenibles adquieren un papel relevante, ya que los instrumentos financieros que incorporen criterios no financieros permitirán a las empresas que cumplan con estos requisitos, acceder a fuentes específicas de financiación (Pérez F., 2009).

La forma de canalizar el ahorro a la empresa y transformarlos en financiación, bajo unos criterios determinados, se consigue con determinados instrumentos financieros, en el que este trabajo va a destacar los fondos de inversión.

Según la Comisión Nacional del Mercado de Valores en 2024, define Fondos de Inversión como:

“Instituciones de Inversión Colectiva (IIC) y consisten en un patrimonio formado por las aportaciones de un número variable de inversores, denominados partícipes. El fondo lo crea una entidad, la gestora, que es la que invierte de forma conjunta esas aportaciones en diferentes activos financieros (renta fija, renta variable, derivados o cualquier combinación de estos, etc.) siguiendo unas pautas fijadas de antemano.

Así, cada partícipe es propietario de una parte del patrimonio del fondo, en proporción al valor de sus aportaciones. Los aumentos o disminuciones del valor del patrimonio se atribuyen proporcionalmente a los partícipes.

Los fondos están regulados por una normativa que pone los límites a la forma en que la sociedad gestora puede invertir el dinero, con el fin de asegurar un nivel mínimo de diversificación, liquidez y transparencia.

Tanto el tipo de activos en los que invierte (política de inversión) como el resto de las características del fondo, están recogidas en un documento llamado folleto informativo y el resumen del mismo se llama Datos Fundamentales para el Inversor (CNMV, 2024)”.

Destaca en la definición, que los fondos están compuestos de participaciones alícuotas (aportaciones) que cualquiera puede acceder a ellos (partícipes), que tienen

una administración controlada y una gestión activa basada en la política de inversión y folleto informativo.

Los fondos dan la posibilidad al partícipe de invertir en diferentes activos financieros en el mismo producto, diversificando la inversión.

De esta forma, se puede utilizar este instrumento financiero para canalizar el ahorro a la inversión, recibiendo aquellas empresas que demuestren y ejecuten determinados comportamientos basados en criterios de sostenibilidad.

2. MARCO TEÓRICO

Los criterios de sostenibilidad han ido apareciendo, desarrollándose e implementándose en función de investigaciones y necesidades del mercado.

La primera referencia sobre sostenibilidad en los fondos de inversión aparece en el año 1973, con la creación de los fondos éticos en Reino Unido. En España aparecen en 1994, pero no se regulan por la CNMV hasta 1999, año en que la demanda insista en estos productos (Argandoña *et al*, 2000).

La CNMV normaliza estos fondos de inversión y los clasifica en dos categorías.

Fondos éticos: Fondos con una determinada forma de invertir basada en la responsabilidad social y fundamentado en la exclusión de determinados sectores que no cumplieran características responsables (industria militar, industria tabaquera, industria textil...).

Fondos solidarios: Parte de la comisión de gestión del fondo se comparte y se destina a organismos solidarios.

El partícipe puede elegir qué tipo de inversión quiere y de esta forma ayudar a canalizar el dinero a sectores acordes con su forma de pensar.

La CNMV normalizó y controló que los fondos cumplieran con la política establecida, de tal forma, que aquellos fondos que cumplieran con estos requisitos debían obligatoriamente llevar las palabras ético o solidario en la nomenclatura del fondo, para una mayor transparencia y localización por parte del inversor.

Estos fondos se basaron principalmente en los estudios de Button que, en 1988, analizó el dilema ético al que se enfrentan los inversores cuando intentan obtener el máximo rendimiento financiero sin respaldar sectores o actividades que consideran cuestionables. Esta forma de inversión se basa en la selección estratégica de activos con el fin de evitar financiar industrias como el tabaco, las armas, el alcohol o aquellas con prácticas laborales poco éticas, alineando así las inversiones con valores morales.

El propósito central del estudio de Button fue determinar si es posible equilibrar la rentabilidad financiera con la exclusión de sectores que no coinciden con los principios del inversor. En particular, investigó si los inversores podían eliminar ciertas industrias de sus carteras sin afectar de manera considerable a la consecución de objetivos de rentabilidad.

Los resultados de la investigación indican que, aunque eliminar determinados sectores puede generar una ligera reducción en la rentabilidad, esto no es necesariamente significativo. Button concluyó que se puede estructurar una cartera de acuerdo con

principios éticos sin comprometer los beneficios financieros. No obstante, el estudio también resaltaba la importancia de la gestión activa de profesionales, como parte para compensar la falta de sectores para invertir.

Cowton, en 1994, descubrió que, aunque la aplicación de principios éticos y sociales puede reducir el conjunto de opciones de inversión, esto no implicaba necesariamente una menor rentabilidad. En algunos casos, en su análisis demostró que incluso superaban en rentabilidad. El estudio también identificó el principal desafío que tenían los gestores de fondos para aplicar criterios éticos y era la dificultad de acceder a información al no estar obligada, por parte de las empresas, a presentarla.

Destacó que este tipo de inversión comenzaba a demandarse y destacó la oportunidad, y posibilidad de atraer a un grupo de inversores interesados tanto en el impacto social como en el rendimiento financiero.

El trabajo de Cowton marcó un hito, ya que su análisis aportó una visión más clara sobre la integración de criterios éticos en la inversión y los retos que esto conlleva. Sus hallazgos evidenciaron que es posible alinear las decisiones de inversión con valores éticos sin comprometer la rentabilidad.

Mackenzie y Lewis (1999) llevaron a cabo un estudio con el objetivo de analizar y clasificar las diferentes maneras en que los inversores pueden equilibrar sus criterios financieros con los criterios éticos. Su investigación resulta fundamental para comprender la diversidad de enfoques en la inversión responsable, así como el impacto que estas estrategias pueden tener tanto en la rentabilidad como en el ámbito social. Los autores identifican distintas formas de integrar consideraciones éticas en la toma de decisiones de inversión, cada una con características y desafíos particulares:

- Inversiones de Exclusión o Negativas: Consiste en evitar la inversión en sectores o empresas que no cumplen con ciertos criterios éticos, como la industria armamentística, del tabaco o la energía nuclear. Aunque esto puede reducir las oportunidades de inversión, quienes lo adoptan priorizan la coherencia con sus valores por encima de posibles beneficios financieros.
- Inversiones de Inclusión o Positivas: Prioriza la selección de empresas que, además de cumplir con estándares éticos básicos, destacan en áreas como la sostenibilidad ambiental, la equidad laboral y la responsabilidad social. Estas inversiones se orientan hacia empresas que generan un impacto positivo en la sociedad y el entorno.
- Inversiones de Impacto: Busca generar beneficios tanto financieros como sociales o ambientales. Los inversores que optan por esta estrategia apoyan proyectos diseñados específicamente para abordar desafíos sociales o ecológicos, como el desarrollo de energías renovables o la creación de viviendas accesibles.
- Inversiones de Responsabilidad Social: Este término abarca una gama más amplia de inversiones que, si bien buscan retornos financieros, también tienen en cuenta el comportamiento corporativo en términos de prácticas éticas, sostenibilidad y gobernanza.

Estas inversiones utilizan una combinación de exclusión, inclusión y criterios de impacto para construir carteras.

Como resultado, esta investigación destacó que no hay una única forma de combinar objetivos éticos y financieros. En cambio, los inversores pueden elegir entre diversos enfoques según sus valores personales proporcionando rentabilidad y satisfacción.

Estos últimos estudios amplían el abanico de posibilidades de inversión y en 2004 un informe llamado “Who Care Wins” elaborado por la ONU centraliza todos las investigaciones anteriores y unifica en un solo término la utilización de criterios Ambientales, Sociales y de Gobernanza en criterios no financieros o criterios ASG, y aquellos instrumentos financieros que la aplican, pasaran a denominarse Inversión Socialmente Responsable o ISR, por lo que la nomenclatura de los fondos de inversión cambia, desapareciendo del nombre las palabras *éticos o solidarios* e introduciendo en la denominación el acrónimo *ISR* o las letras *Inversión Socialmente Responsable*.

En el año 2008, Renneboog *et al*, analizan cómo los inversores institucionales integran los criterios ASG: ambientales (prácticas laborales, derechos humanos, diversidad, inclusión, igualdad), sociales (impacto ambiental, gestión de recursos, sostenibilidad), y de gobernanza (ética y responsabilidad empresarial, transparencia) en sus decisiones de inversión y evalúan el impacto de estas prácticas en el rendimiento de las carteras y el comportamiento de los inversores.

Este estudio demuestra que, aunque no había una relación directa entre rentabilidad y aplicación de criterios ASG, si aparecieron fondos que se comportaban en algunos casos mejor, en otros igual y, en menor medida, peor, pero lo destacable del estudio es que los inversores de este tipo de fondos suelen tener una mayor conciencia social y ambiental que los inversores de fondos convencionales. Están dispuestos a aceptar un posible menor rendimiento financiero a cambio de invertir en empresas con prácticas más responsables, aceptando en estos productos una mayor duración, transformando las inversiones en Largo Plazo.

El problema, tanto de esta investigación como de las anteriores, fue la falta de información ASG por parte de las empresas, ya que se necesitaba una normalización y una obligación en la transparencia de datos hasta ahora inexistente, por lo que era complicado verificar si las empresas aplicaban dichos criterios.

En 2008, crisis financiera evidencia la importancia de contar con un sistema financiero más responsable y sostenible. Uno de los factores clave que impulsó esta necesidad fue la ausencia de transparencia y la dificultad para rastrear el origen y la calidad de los activos involucrados en la crisis.

A partir de entonces se toman medidas y en el mismo año, la Unión Europea introduce el *Reglamento de Divulgación de Finanzas Sostenibles* (SFDR-siglas en inglés) estableciendo el marco normativo necesario para la aplicación de criterios no financieros (ASG), que incluye el marco regulador de objetivos medioambientales, ambos de obligado cumplimiento en todos los fondos de inversión de los países de la UE, y lo más importante, que la aplicación y control de estas normativas, proporcionarían, a partir de ahora, el nombre de *sostenible* en las inversiones.

Ante la emergente gran demanda de estos productos entre los inversores, se permitió que en su nomenclatura se compaginaran las siglas o palabras *ISR* con la palabra *Sostenible*, siendo la nomenclatura de fondos aceptada a día de hoy.

El Reglamento necesitaba de información por parte de las empresas, que, a su vez, fue el principal problema de los estudios relacionados con la sostenibilidad hasta este momento y, a raíz de ello, surgen las *Agencias de Calificación ASG*, que evalúan la actuación de las empresas en términos de sostenibilidad y gestión responsable, la exposición a riesgos no financieros, su capacidad de gestionarlos y el desarrollo e impacto positivo del negocio en aspectos sociales, medioambientales y de gobierno corporativo (Izquierdo, 2022).

Éstas crean un **Rating** (calificación, puntuación) de dicha evaluación que son aprovechados por los gestores de fondos e inversores para obtener información sobre el desempeño en sostenibilidad de las compañías y facilitan las decisiones de inversión responsable.

Además, el Reglamento, de forma no obligada, aconseja a las empresas presentar una memoria como elemento formal que recoja la información de la empresa en las tres dimensiones de la sostenibilidad, esto es, la económica, la medioambiental y la social. La memoria de sostenibilidad incorpora de forma completa y estructurada la información relativa a estas tres dimensiones. Esta memoria puede integrarse en la Memoria Anual, a sus Cuentas o independiente de su Memoria Anual (Rodríguez, 2020).

La memoria de sostenibilidad será de presentación obligatoria a partir del 1 de enero de 2025 y pasará a llamarse *Memoria de Sostenibilidad* o *Estado de Información no Financiero* y se encuadrará en la memoria de la empresa, como parte de las Cuentas Anuales.

En el informe de Spainsif (Plataforma de encuentro y referencia en materia de finanzas e inversión sostenibles en España) de 2023 y basado en datos de Inverco (Asociación de Instituciones de Inversión Colectiva y Fondos de Pensiones que agrupa a la práctica totalidad de las Instituciones de Inversión Colectiva (IIC) en España), la inversión en fondos sostenibles ha pasado del 2018 del 37% de todos los fondos gestionados en España al 55% en 2022, lo que demuestra que el inversor prefiere invertir en fondos sostenibles antes que los convencionales que se basan solo en criterios financieros.

La aparición de una mayor oferta en fondos sostenible y ASG, provocó en 2021 la ampliación del *Reglamento de Divulgación de Finanzas Sostenibles*, e introdujo directrices más estrictas y detalladas para mejorar la transparencia y la responsabilidad en el ámbito de las inversiones. Esta ampliación obliga a gestores de activos, empresas de inversión y otros participantes del mercado financiero a divulgar información sobre las características ambientales, sociales y de gobernanza de sus productos de una determinada forma consiguiendo una mayor claridad en la relación entre inversores, fondos y empresas.

En consecuencia, a partir de ahora, los fondos pueden clasificarse en una de las dos categorías establecidas por el reglamento, según los criterios definidos en los artículos 8 y 9.

El artículo 8 promueve la inversión en un fondo lleve un alto porcentaje en iniciativas ASG y un pequeño porcentaje en inversiones convencionales.

El artículo 9 promueve la inversión 100% en iniciativas ASG en el Fondo.

La inversión sostenible en fondos, desde el año 2020 ha estado por encima de la inversión convencional basadas exclusivamente en criterios financieros de rentabilidad, riesgo y liquidez. Esto ha provocado, que parte del ahorro este premiando a empresas que se esfuerzan en la consecución de objetivos sociales, medioambientales y de buen gobierno, preferiblemente sobre la búsqueda del máximo beneficio.

Las posibilidades de inversión de un Fondo son infinitas y si éstos buscan el máximo beneficio, en contra de otros criterios, pueden ser muy peligrosos porque donde quieran que inviertan exigirán rentabilidades inmediatas frente a otras consideraciones.

Este tipo de fondos son llamados “fondos buitres” y, ya solo su nombre denota connotaciones negativas, frente a la positividad con que se perciben los fondos ISR y Sostenibles.

Por esta razón, el público puede aprovechar su ahorro en posicionarse en productos que busquen las inversiones responsables y la sostenibilidad, ya que con ello apoyan a las empresas que cumplan con dichos criterios.

El inversor-ahorrador debe acudir a la gestora de fondos y analizar en qué fondo le gustaría participar. Dichos fondos tienen que tener de cara al público, su folleto informativo o su política de inversión, y es en este documento donde se encuentra toda la información necesaria para tener la seguridad y certeza que se invierte sus ahorros de una forma sostenible y responsable.

El documento de política de inversión o folleto debe contener toda la información sobre las características del instrumento financiero, en este caso, del fondo de inversión.

El contenido indica la forma de invertir que tiene que cumplir el gestor o gestores del fondo, siendo de obligado cumplimiento, además de estar vigilado por la CNMV incurriendo en sanciones para la gestora en caso de incumplimiento.

3. ESTUDIO

Todos los anteriores autores, reglamentos y normativas han proporcionado las herramientas necesarias para la creación de determinados productos o instrumentos financieros, logrando que cumplan unas características determinadas que obligatoriamente deben aparecer en su folleto:

- En el nombre del fondo deben aparecer las palabras “sostenible” y/o “inversión socialmente responsable (ISR)”- en algunos fondos creados a principios de siglo, se les permite mantener en su nomenclatura la palabra “ético”.
- Qué artículo va a utilizar para la inversión (art.8 ó 9).
- Si cumple la condición de solidario o no (reparte su comisión con Organismos de corte social y humanitario).
- Su vocación (su nivel de riesgo, por lo que su conocimiento permite al inversor saber si el fondo se adapta a sus expectativas y necesidades). Renta Fija, Renta Variable, RF mixta, RV mixta, ...

- El índice de referencia (es un comparador o estándar contra el cual se puede medir la rentabilidad de una inversión).
- Qué criterios ASG integra:
 - Exclusión: Eliminación determinadas inversiones y sectores
 - Best-in-Class: Mejores empresas dentro de cada industria o sector no sostenible (solo artículo 8).
 - Inversiones temáticas: Áreas que se espera que impulsen cambios significativos.
 - Screening basado en Normas: Normas y estándares internacionales.
 - Integración de factores ASG en el análisis financiero: Incorporar obligatoriamente factores ASG para comparar rentabilidad frente a criterios convencionales.
 - Inversiones de Impacto: Inversiones para generar un impacto social y ambiental.
 - Engagement: Acuerdo gestor del fondo y Consejo de administración de la empresa a invertir, en el que se compromete, por una parte, la empresa a actuar de manera sostenible y responsable y por otra el fondo como apoyo a la financiación para conseguirlo.
 - Voting: La gestora del fondo forma parte del Consejo de Administración de la empresa, por lo que, desde dentro, se obliga a comprometerse a aplicar criterios ASG como estrategia empresarial y recibir así la financiación del fondo.

En el Trabajo Fin de Grado de Francisco Pérez (2024), destaca un análisis de dieciocho fondos de inversión con características sostenibles y responsables, estudiados a lo largo del periodo de enero de 2020 a julio 2024. El estudio valora la rentabilidad de estos fondos frente a los convencionales, aplicando para ello determinadas variables y llegando a las siguientes conclusiones:

Según artículos SFDR

En el 78% de los fondos se aplicó el artículo ocho, mientras que en el resto el artículo nueve, siendo la conclusión, que el gestor prefiere tener la posibilidad de tener un abanico superior de posibles inversiones (en inversiones no ASG) frente al nueve que solo son ASG.

El 50% de los fondos en ambos artículos obtuvieron rentabilidades por encima de la media, por lo que, la elección por artículo no influye en la obtención de mayor rentabilidad.

Según sí o no Solidario

Solo el 39% de fondos analizados son solidarios. Es posible que la gestora se centre más en fondos donde toda la comisión sea para ella y no en fondos donde tenga que

repartir. Solo el 29% de los fondos solidarios están por encima de la media en rentabilidad frente al 71% por debajo. Esta es la única variable analizada cuyos resultados están por debajo de la media.

Según Rentabilidad

El 80 % de este tipo de fondos han conseguido una rentabilidad igual o superior al resto de fondos. Por tanto, este tipo de inversión influye positivamente en la rentabilidad.

Según Posición

El 85% de los fondos analizados están por encima de la media de rentabilidad en sus respectivas vocaciones inversoras.

Según Ratio de Sharpe

Mide la rentabilidad del fondo por riesgo asumido. El 86% de los fondos con estas características tienen una mayor rentabilidad por riesgo asumido frente a los convencionales. Este resultado indica el carácter defensivo de estas inversiones, así como el menor riesgo que asumen.

4. CONCLUSIONES

El presente trabajo pone de manifiesto la creciente importancia de los productos de inversión sostenibles en el contexto de la nueva economía, caracterizada por una transformación profunda en los criterios que guían las decisiones de los inversores. A medida que las dinámicas económicas globales evolucionan, también lo hacen las prioridades de los participantes en los mercados financieros. Ya no basta con ofrecer rentabilidad financiera; los inversores actuales, especialmente institucionales y de las nuevas generaciones, exigen que sus inversiones estén alineadas con principios éticos, sociales y ambientales.

En este escenario, el aumento significativo en la captación de capital por parte de productos financieros responsables refleja una tendencia clara: los instrumentos que incorporan criterios ASG (Ambientales, Sociales y de Gobernanza) están desplazando progresivamente a aquellos que se rigen exclusivamente por indicadores financieros tradicionales. Esta transformación del paradigma inversor implica que los gestores de fondos y entidades financieras se vean obligados a desarrollar productos que respondan a estos nuevos estándares de exigencia y transparencia.

Diversas investigaciones académicas y trabajos de expertos han contribuido decisivamente a consolidar esta evolución, proporcionando el sustento teórico y empírico necesario para fundamentar un marco normativo que favorezca el desarrollo de las inversiones sostenibles. Estos estudios han evidenciado tanto la viabilidad como la rentabilidad de los enfoques basados en criterios ASG, lo que ha facilitado su adopción progresiva en los mercados financieros globales.

De manera particular, la evidencia empírica sugiere que los fondos que integran factores ASG no solo cumplen con objetivos de sostenibilidad, sino que, en muchos casos, presentan rentabilidades superiores a las de los fondos tradicionales. Este fenómeno

puede atribuirse a una mejor gestión del riesgo, mayor resiliencia frente a crisis y una visión estratégica más a largo plazo. Así, estos productos no solo canalizan capital hacia iniciativas responsables, sino que también recompensan a los inversores con rendimientos competitivos.

En conclusión, el avance hacia una economía más inclusiva, equitativa y sostenible encuentra en los productos de inversión ASG un vehículo clave. Su consolidación no solo representa una respuesta ética y ambiental, sino también una apuesta estratégica que redefine el modo de invertir en el siglo XXI.

5. REFERENCIAS

- ARGANDOÑA, A., & LÓPEZ, D. S. (2000). *Los fondos éticos y la promoción de la ética inversora*. Cátedra “Economía y Ética”.
- BUTTON, J (1988). The corporate social performance–financial performance link. *Strategic management journal*, 18(4), 303-319.
- COMISIÓN NACIONAL DEL MERCADO DE VALORES (CNMV) (2024). *Fondos de Inversión*. Consultado febrero 2025 de <https://www.cnmv.es/portal/inversor/>
- COWTON, C. J. (1994). The development of ethical investment products. Blackwell Publishing.
- EUROSIF, EUROPEAN SRI STUDY (2010), Paris: Eurosif, 2010, Consultado febrero, 2024 from www.eurosif.org/research/eurosif-sristudy/european-sri-study-2010
- IZQUIERDO, M. D. (2022). La nueva regulación europea impulsora de la investigación en el campo de las finanzas sostenibles. *Organizaciones éticas y finanzas responsables: memoria académica curso 2021-2022* (pp. 63-80). Universidad Pontificia Comillas.
- MACKENZIE, C., Y LEWIS, A. (1999). Moralidad y mercados: el caso de la inversión ética. *Business Ethics Quarterly*, 9(3), 439-452.
- PÉREZ CALVO, F. (2024). *Fondos de Inversión Sostenibles: Una alternativa ética para el inversor moderno*. [TFG]. Universidad de Cádiz.
- PÉREZ FERRÓN, S. (2009). *Análisis cualitativo y cuantitativo de un fondo de inversión ético*. [TFM]. Trabajo de investigación. Universidad de Cádiz.