

ACTAS DEL **34º CONGRESO** **DE JÓVENES INVESTIGADORES**

CEULAJ, MOLLINA 29 Y 30 DE JUNIO DE 2023



Actas 34º Congreso Jóvenes Investigadores

Directora General del Instituto de la Juventud
Margarita Guerrero Calderón

Secretario General de Universidades
Francisco García Pascual

Director Científico del Certamen
Dr. Óscar Moreno Díaz

Coordinadoras de la publicación
María Fernanda Martín Nieto
Adela Ibarra Sierra

Diseño gráfico y maquetación
Meg Gasiba

Textos
Autores de los proyectos seleccionados
© de los textos e imágenes, sus autores

Edita
INJUVE (Instituto de la Juventud)
C/ José Ortega y Gasset, 71, Madrid
www.INJUVE.es

Catálogo General de Publicaciones Oficiales
<https://publicacionesoficiales.boe.es>

NIPO: 16024005X
Madrid, 2024

ÍNDICE

- 06 - Prólogo

- 08 - Presentación del Certamen

- 13 - CIENCIAS SOCIALES Y JURÍDICAS

- 14- Bioética y protección de la dignidad humana en la investigación y la asistencia sanitaria

- 26- Efectos de los bici-pupitres sobre estudiantes con Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad

- 38 - ¿Son las empresas de economía social una buena forma de emprendimiento en Castilla-La Mancha? Las cooperativas agro-alimentarias como modelo de creación de empleo y fijación de la población

- 50 - Efecto de la ansiedad sobre las vías moduladoras del dolor

- 60 - El veto parental: ¿demanda de las familias o política en las aulas?

- 74 - Análisis de la elección de los estudios desde un enfoque de género

- 85 - ARTES Y HUMANIDADES

- 87 - ¿Es adecuado hablar de “Reconquista” en la historia de España? Respuesta a través del análisis dialógico intencionalista

- 99 - Constelaciones asociadas al mito del Perseo: representación en el cielo según criterios históricos y astronómicos

- 110 - ¿España democrática? La diferencia entre la idea y la realidad del poder del demos

- 125 - La valoración de los hechos desde la posverdad. Una superación de los valores veritativos clásicos

- 136 - María Magdalena: la construcción el estereotipo femenino en la historia del arte

ÍNDICE

- 146 - CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA VIDA

- 148 - Estudio sobre encapsulación molecular de Isorapontigenina en “anillos únicos moleculares”
- 161 - Micorremediación como alternativa sostenible para el tratamiento de las colillas de cigarrillos
- 172 - Las nutrias reaparecen en las costas de A
- 184 - Morfología y ecología de una población española de *Colpodidium Caudatum* (Ciliophora, Colpodidiidae) encontrada por primera vez en Europa
- 198 - Las nanopartículas de plata en el mundo de las bacterias
- 208 - La bomba biológica, el pulmón verde del planeta
- 220 - Relación biótica entre abejas y agricultura: eficiencia en polinización de cultivos
- 232 - Evaluación de la foto-identificación como herramienta para el seguimiento de poblaciones de anfibios
- 244 - Análisis de la población de células macrogliales retinianas en un modelo animal de sepsis
- 256 - Estimulación multisensorial: un viaje a través de la memoria
- 266 - Estudio antropométrico de la composición corporal para diagnóstico del riesgo asociado a la obesidad en la población adolescente
- 278 - Asociación de la dispepsia con el estrés, la ansiedad y la depresión
- 290 - Informe antropológico de la colección medieval de la plaza de la Horta (Zamora)
- 303 - Parada cardíaca extrahospitalaria en Navarra: técnicas de reanimación y elaboración del duelo
- 314 - La vida tras el cáncer infantil: estudio sobre la calidad de vida y efectos tardíos en supervivientes de la Región de Murcia

ÍNDICE

- 327 - TECNOLOGÍA E INGENIERÍA

- 328 - Desarrollo de un software para el análisis de migración celular en cultivos
- 340 - Cálculo del factor *CdA* mínimo para estabilizar rotacionalmente un globo sonda en su ascensión a través de la atmósfera, y su
- 352 - Evaluación de resistencia a enfermedades de las principales especies de leguminosas cultivadas en España
- 364 - “Ver, conocer y fotografiar”. La participación ciudadana en la creación de un banco de aves en las Bardenas Reales
- 376 - Inteligencia artificial y paneles solares bifaciales para la optimización del autoconsumo energético
- 388 - Prototipo de extrusión de botellas de plástico PET en filamento reciclado rPET para una ecoimpresión 3D sostenible

- 401 - CIENCIAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y MATEMÁTICAS

- 402 - Puzle de escutoideos. De la morfología epitelial al reenfoque de los sólidos geométricos
- 414 - Comprobación de una nueva teoría sobre la formación del sistema solar a partir del estudio de sus asteroides
- 426 - Hacia la habitabilidad en Marte: El impacto de los *Dust Devils*
- 439 - Método Low-Cost de recuperación de la tinta usada de los rotuladores de pizarras blancas
- 451 - Investigaciones matemáticas sobre átomos y coloraciones bloqueadoras
- 462 - Caracterización fotométrica de un aula del IES Saavedra Fajardo
- 472 - ¡Un pHmetro para mi cole!
- 484 - Pompas ... más que un entretenimiento



PRÓLOGO

El éxito o el fracaso de una iniciativa depende de numerosos factores: su calidad, su viabilidad, la dedicación por parte de las partes involucradas o la existencia de un entorno favorable. El *Certamen Jóvenes Investigadores* es el claro ejemplo del trabajo bien hecho, no en vano recogemos en estas páginas el resultado de su XXXIV^a edición. Sin duda, estamos ante un acontecimiento definitivamente asentado en el tiempo, que cuenta con el respaldo de una comunidad sólida y comprometida con su pervivencia.

La fase final del certamen, desarrollada durante los días 29 y 30 de junio de 2023 en el Centro Eurolatinoamericano de Juventud (CEULAJ) de Mollina, Málaga, volvió a confirmar el carácter excepcional de las investigaciones realizadas. Año tras año se demuestra que la edad temprana no es ningún impedimento para presentar un trabajo sólido, consistente e innovador; antes al contrario, la precocidad de las personas investigadoras añade esa dosis necesaria de entusiasmo para abordar temáticas de estudio atractivas y actuales. En este sentido, debemos agradecer siempre la labor que realiza el profesorado al tutorizar a sus alumnos y alumnas. Con su acompañamiento y su dedicación se asegura el correcto desarrollo de las investigaciones y el apoyo a lo largo de todo el proceso académico. Asimismo, el esfuerzo y la apuesta decidida de los centros educativos por continuar alimentando el *Certamen Jóvenes Investigadores* es una condición necesaria e indispensable que no debe quedar en el olvido. Sirvan estas líneas para rendirles el homenaje que merecen.

Resulta especialmente gratificante observar la inercia positiva que adquiere la iniciativa que nos ocupa. De manera paulatina se generan una serie de mecanismos que permiten mejorar anualmente el formato. Es emocionante comprobar cómo antiguos participantes no se desentienden de la experiencia, sino que, al contrario, vuelven a ella y aportan sus conocimientos allí donde puedan resultar más necesarios. Gracias a la longevidad del propio certamen, quienes fueron jóvenes investigadores en su día son ahora tutores y acompañantes de las siguientes generaciones, generándose así un círculo virtuoso que afianza los lazos existentes entre la comunidad participante.

Igualmente imprescindible resulta la labor del jurado, en tanto órgano encargado de valorar, en base a criterios científicos y académicos, la consistencia de los proyectos presentados. Esta difícil tarea se ve, no obstante, recompensada por la oportunidad de conocer de primera mano las propuestas presentadas. El carácter multi e interdisciplinar de las investigaciones añade todavía más interés a la evaluación, que requiere de un equipo diverso y heterogéneo como es el formado

PRÓLOGO



por el jurado. Si bien la decisión final no resulta sencilla, el simple hecho de alcanzar esta última fase es ya todo un premio que debe valorarse como corresponde.

La investigación supone adentrarse en un camino incierto pero apasionante. Como podrán atestiguar los y las participantes, el esfuerzo realizado durante todo el curso académico acaba dando sus frutos. El resultado no debe verse reflejado en la obtención o no de un premio determinado, sino en la satisfacción del personal investigador ante el trabajo bien hecho. La formulación de unas hipótesis concretas o el empleo de unas metodologías rigurosas va planteando obstáculos al alumnado, que se ve impelido a buscar soluciones válidas para llegar a unas conclusiones empíricamente demostrables. No es una tarea fácil, pero este certamen pretende plantar una semilla en las generaciones sucesivas, de la que terminen brotando carreras investigadoras y vocaciones latentes en la juventud de todos los puntos de nuestro territorio. Las categorías del concurso, desde las ciencias naturales y la tecnología hasta las ciencias sociales y las humanidades, así lo permiten. Las personas jóvenes interesadas encontrarán aquí una amplia gama de posibilidades que les permitirán ajustarse a aquello que más interés les despierte. Esa es, sin duda, una de las fortalezas de esta iniciativa.

Finalmente, cabe agradecer la predisposición mostrada una vez más por las Administraciones Públicas que colaboran y hacen posible la realización de las sucesivas ediciones del certamen. Tanto el Ministerio de Universidades como el Ministerio de Derechos Sociales y Agenda 2030, a través del Instituto de la Juventud (INJUVE), son piezas indispensables sin las cuales no podríamos estar disfrutando de este evento año tras año. Por muchas más ediciones.



ÓSCAR MORENO

DIRECTOR CIENTÍFICO

Este año hemos celebrado la trigésimocuarta edición del Certamen Jóvenes Investigadores, que ha culminado en el congreso de finalistas celebrado, como es habitual, en el Centro Euro-Latinoamericano de Juventud del INJUVE en Mollina (Málaga), donde nos sentimos como en casa. Me gustaría agradecer el trabajo y la entrega de las personas que hacen posible este Certamen y su congreso, que pertenecen a la Subdirección General de Formación del Profesorado Universitario y Gestión de Programas de Ayuda (Ministerio de Universidades) y a la División de Programas del Instituto de la Juventud (Ministerio de Derechos Sociales y Agenda 2030). También quiero agradecer la difícil tarea que han llevado a cabo los evaluadores y los miembros del jurado del Certamen, formado por Marisol Martín González, profesora de investigación del CSIC y que ha actuado como presidenta, y por los vocales de las diversas áreas: Edurne Alonso Arana, Núria Crivillers Crusella, Alberto Olmo Fernández, Ágatha Ortega Cera y Andrés Payá Rico.

En el congreso de este año hemos pedido a los finalistas que expliquen sus investigaciones de una manera un poco más divulgativa, para que puedan ser mejor entendidas, y por tanto más disfrutadas, por todos los públicos. Nos parecía especialmente importante que las presentaciones pudieran ser seguidas por todos los jóvenes finalistas, independientemente de su área, como una manera más de crear comunidad y sinergias entre futuros científicos. Y es que en la investigación científica hay algo que resulta casi tan importante como el propio conocimiento que se crea, y es la manera de difundirlo. La divulgación científica permite además que los avances, sobre todo los relativos a ciencia básica, acaben formando parte de la cultura general, en igualdad de condiciones que otras creaciones de la humanidad.

En este punto merece la pena recordar la figura de un gran divulgador de la ciencia, Isaac Asimov, que era bioquímico de formación, pero divulgó sobre todas las ciencias naturales y también sobre ciencias sociales y humanidades. Quizá para las nuevas generaciones Asimov no sea tan conocido, porque no llegó a tiempo para hacer vídeos en redes sociales, pero fue muy prolífico escribiendo libros de divulgación y de ciencia ficción. Precisamente en una conferencia sobre su obra de ficción, celebrada en los años 80 del siglo pasado, Asimov pidió a su audiencia que imaginara un dispositivo de almacenamiento de información totalmente transportable, que pudiera iniciarse y detenerse a voluntad, que pudiera de hecho permanecer sin actividad cuando se aparta la mirada y recuperarla cuando se le vuelve a prestar atención, permitiendo así al



usuario acceder al contenido de una manera sencilla y efectiva, y además sin necesidad de cables. Asimov, además de un gran divulgador, fue un visionario, pero no por lo que contó en esta historia, ya que lo que estaba describiendo era nada más y nada menos que el libro tradicional, es decir, en papel.

Hoy en día estamos tan rodeados de tecnología que tendemos a pensar que nada era posible antes de su existencia y que todo en ella son ventajas, pero nada más lejos de la realidad. Quizá Asimov no predijo el desarrollo de los teléfonos (mal llamados) inteligentes, pero sí algo mucho más abstracto y revolucionario, la (verdadera) inteligencia artificial, que fue protagonista de muchas de sus novelas de ciencia ficción. Suyas son las famosas tres leyes de la robótica, que intentan establecer las bases de un comportamiento ético para las máquinas inteligentes. Algo que no debe ser muy sencillo, dado que ni siquiera los humanos tenemos siempre claras las reglas que debemos seguir en nuestras interacciones mutuas o con la naturaleza. En lo que seguramente sí acertó Asimov fue en el siguiente diagnóstico: "El aspecto más triste de la vida actual es que la ciencia gana en conocimiento más rápidamente que la sociedad en sabiduría".

Es posible que la inteligencia artificial generativa reemplace próximamente a los humanos en muchas tareas, pero habrá otras que tardará mucho tiempo en poder realizar, y una de ellas es en la que se han involucrado los jóvenes participantes de este Certamen, y a la que muchos se dedicarán en el futuro: la investigación científica. El motivo es que para llevarla a cabo se requieren grandes dosis de curiosidad, creatividad e incluso sentido de la belleza. María Montessori, famosa pedagoga, además de médico, antropóloga y filósofa, decía al respecto que "necesitamos especialmente de la imaginación en las ciencias. No todo es matemáticas y no todo es simple lógica, también se trata de un poco de belleza y poesía".

Las investigaciones premiadas en esta edición del Certamen Jóvenes Investigadores reúnen todos esos ingredientes, además de las sensibilidades, inquietudes y modos de entender el pasado, el presente y el futuro que tienen sus jóvenes autores. Para realizar sus trabajos han contado con la inestimable ayuda de sus tutores y tutoras, cuyo éxito como docentes, como decía también María Montessori, consiste en buena parte en que los estudiantes trabajen casi como si ellos no existieran, porque ya les han dotado previamente de la guía, las competencias y el entusiasmo necesarios para sacar adelante las tareas. Se puede decir que el papel de los docentes se parece al de los ruedines de una bicicleta, cuya función se ve cumplida en el momento en que dejan de ser necesarios, porque la persona ya es capaz de seguir su camino en equilibrio y sin desviarse.

Como decía antes, los aspectos éticos de la inteligencia artificial suponen un reto para el futuro, pero los de las actividades humanas, incluyendo la ciencia, son una preocupación en el presente. Precisamente ese es el tema del trabajo



que ha recibido el premio especial del jurado en esta edición, titulado "Bioética y protección de la dignidad humana en la investigación y la asistencia sanitaria", realizado por Alba Pérez López (IES Profesor Ángel Ysern, Navalcarnero, Madrid).

Los primeros premios en el ámbito de las ciencias naturales y la tecnología han sido otorgados a los trabajos "Micorremediación como alternativa sostenible para el tratamiento de las colillas de cigarrillos", de Claudia Aliaga Gimeno (Colegio Alemán de Valencia, Valencia), "Puzle de escutoides, de la morfología epitelial al reenfoque de los sólidos geométricos", de Elena López López (IES Dr. Pedro Guillén, Archena, Murcia), "Desarrollo de un software para el análisis de migración celular en cultivos", de Cristina Martínez Toledo (IES Alkala-Nahar, Alcalá de Henares, Madrid), "Estudio de encapsulación molecular de isorapontigenina en anillos únicos moleculares", de Patricia Sánchez Salmerón (IES Dr. Pedro Guillén, Archena, Murcia) y "Las nutrias reaparecen en las costas de A Coruña y Sada", de Aarón Deus Torío y Mencía Cardesín Rial (IES Eusebio da Guarda, A Coruña). En el ámbito de las ciencias sociales y las humanidades, los primeros premios han sido para los trabajos "¿Es adecuado hablar de 'Reconquista' en la historia de España?", de Andrey Parrilla Prokopyev (Colegio Internacional SEK-Alborán, El Ejido, Almería) y "Efectos de los bici-pupitres sobre estudiantes con trastorno por déficit de atención e hiperactividad", de Claudia de la Merced García y Esther Planillo Jarauta (IES Valle del Ebro, Tudela, Navarra).

Como se puede deducir de los títulos de estos trabajos y del resto de premiados, se trata de investigaciones a menudo interdisciplinares, con impacto en diversos ámbitos tanto básicos como aplicados, y que tratan temas novedosos y de gran actualidad. Invito a conocer más detalles sobre todos ellos en los resúmenes que reunimos en este libro, con el interés añadido de que puedan servir de inspiración para los participantes de las próximas ediciones del Certamen Jóvenes Investigadores, a quienes estamos deseando conocer.

Óscar Moreno

CIENCIAS SOCIALES Y JURÍDICAS

- 14 - PREMIO ESPECIAL DEL CERTAMEN "JÓVENES INVESTIGADORES" |

Bioética y protección de la dignidad humana en la investigación y la asistencia sanitaria

ALBA PÉREZ LÓPEZ

- 26 - PRIMER PREMIO |

Efectos de los bici-pupitres sobre estudiantes con Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad

CLAUDIA DE LA MERCED GARCÍA Y ESTHER PLANILLO JARAUTA

- 38 - SEGUNDO PREMIO |

¿Son las empresas de economía social una buena forma de emprendimiento en Castilla-La Mancha? Las cooperativas agro-alimentarias como modelo de creación de empleo y fijación de la población

FELIPE HERNÁNDEZ MARÍN

- 50 - TERCER PREMIO |

Efecto de la ansiedad sobre las vías moduladoras del dolor

BRUNO BOLAÑO MOLEZÚN

ACCÉSIT |

- 60 - El veto parental: ¿demanda de las familias o política en las aulas?

ATANTXA YELO GARRIDO

- 74 - Análisis de la elección de los estudios desde un enfoque de género

MARÍA ARTEAGA ÚCAR Y ELSA AVIZCURI GARCÍA



Bioética y protección de la dignidad humana en la investigación y la asistencia sanitaria

/ PREMIO ESPECIAL DEL CERTAMEN "JÓVENES INVESTIGADORES" Y ESTANCIA CSIC

AUTORA | ALBA PÉREZ LÓPEZ

COORDINADORA | PILAR MANCEBO PÉREZ

CENTRO | IES PROFESOR ÁNGEL YSERN

CIUDAD | NAVALCARNERO-MADRID

RESUMEN |

El presente estudio tiene como objetivo principal estudiar el grado de conocimiento y concienciación sobre las pautas bioéticas establecidas a nivel internacional, europeo y nacional que tratan de proteger la dignidad humana. Así, en primer lugar, realiza una revisión histórica acerca de algunos de los acontecimientos que llevaron a crear normas bioéticas, así como una revisión de las pautas bioéticas y la legislación española correspondiente. En segundo lugar, el estudio ofrece los resultados del trabajo de campo realizado a partir de tres instrumentos de elaboración propia. Por un lado, un estudio cualitativo basado en entrevistas personales realizadas a un total de 11 personas (profesionales de la bioética, miembros de comités de ética de la investigación y asistenciales y a investigadores). Por otro lado, un cuestionario realizado a un total de 102 profesionales sanitarios, de los cuales 46 ejercen como médicos y 56 como enfermeros. Por último, un cuestionario dirigido a un total de 366 personas mayores de edad, residentes en España y con distintos niveles de estudios. Los resultados han sido analizados teniendo en cuenta distintas variables (género, edad, profesión y nivel de estudios).

Palabras clave: pautas bioéticas, consentimiento informado, Comités de Ética, protección del paciente.



ABSTRACT |

The main objective of this study is to study the degree of knowledge and awareness of the bioethical guidelines established at international, European and national level that seek to protect human dignity. Thus, in the first place, it carries out a historical review about some of the events that led to the creation of bioethical norms as well as a review of the bioethical guidelines and the corresponding Spanish legislation. Secondly, the study offers the results of the fieldwork carried out from three instruments of own elaboration. On the one hand, a qualitative study based on personal interviews with a total of 11 people (bioethics professionals, members of Research Ethics and Care Committees and researchers). On the other hand, a questionnaire was carried out to a total of 102 health professionals, of which 46 work as doctors and 56 as nurses. Finally, a questionnaire aimed at a total of 366 people of legal age, residents in Spain and with different levels of education. The results have been analyzed considering different variables (gender, age, profession and level of education).

Keywords: bioethical guidelines, informed consent, Ethics Committees, protection of the patient.



1. INTRODUCCIÓN

Con el incipiente avance tecnológico de los últimos años, se han puesto de manifiesto nuevos problemas éticos en el ámbito de la investigación y la medicina. En este sentido, es preciso realizar un estudio que permita delimitar las deficiencias del sistema y, así, establecer los mecanismos de control pertinentes.

2. ANTECEDENTES

La bioética es una reflexión moral sobre la vida, cuyo cometido es defender la importancia del juicio moral en relación con las ciencias de la vida. Así, la bioética plantea problemas a la biología y a la investigación con seres humanos con el fin de poner un límite a las nuevas tecnologías y a la medicina aplicadas a seres humanos. Trata, por tanto, de ofrecer una solución que permita el desarrollo científico y tecnológico, es decir, el valor científico de una investigación, respetando siempre los derechos humanos y la dignidad de los participantes, esto es: el valor social de una investigación. Los cuatro principios bioéticos (principio de autonomía, principio de beneficencia, principio de no maleficencia y principio de justicia), presentados en el Informe Belmont en 1978, son precisamente un hito que trata de orientar la investigación y la práctica médica.

Los Juicios de Núremberg supusieron un impulso a la legislación en este respecto, actualmente regida por las Pautas Éticas Internacionales para la Investigación relacionada con la salud con seres humanos y la Declaración de Helsinki a nivel internacional, el reglamento No 536/2014, a nivel europeo, y, en España, la Ley 14/2007, de 3 de julio, de investigación biomédica. Todas ellas buscan la protección de la dignidad humana, en base a los cuatro principios bioéticos.

En los últimos años se han realizado diversas investigaciones con la intención de establecer el nivel de conocimiento de los profesionales y estudiar en qué medida podemos, como sociedad, establecer unas normas que protejan a toda la población. Cabe mencionar los siguientes trabajos: Ruiz Montilla (2021), Hernández González et al. (2014), Orgando Díaz y García Pérez (2005), Correal Muñoz y Arango Restrop (2014), López Camps et al. (2017), Otero Pérez (2021) y Giménez et al. (2015). De todos estos estudios puede deducirse que, a pesar de la evolución en la protección del paciente y de los participantes de las investigaciones, aún es necesaria mayor formación y concienciación.

3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

La presente investigación parte de la hipótesis de que, a pesar de la evolución en los últimos años, el grado de conocimiento y concienciación de las pautas bioéticas relativas a la protección de la dignidad humana son insuficientes por parte del profesional sanitario e investigador y por parte de la población general. Por ello se plantean los siguientes cuatro objetivos:

1. Conocer el grado de conocimiento y concienciación de las pautas bioéticas relativas a la protección de los pacientes y los participantes de una investigación por parte del personal investigador y sanitario y por parte de la población general, así como su evolución en los últimos años.

2. Estudiar el grado de conocimiento acerca del consentimiento informado y los aspectos que involucran a personas en situación de vulnerabilidad.

3. Conocer cómo se desarrolla una investigación con seres humanos y cómo se aplican los protocolos para la selección de participantes.

4. Comprender las funciones fundamentales que desempeñan en la práctica los comités de ética de la investigación y los comités de ética asistencial, así como el grado de conocimiento sobre ellas por parte del profesional investigador y sanitario.

4. MATERIALES Y MÉTODO

La investigación se llevó a cabo, por un lado, a partir de la realización de un estudio cualitativo basado en entrevistas semiestructuradas de elaboración propia a personas pertenecientes a comités de ética de la investigación y asistenciales, así como a personal investigador. Las entrevistas se realizaron de junio a septiembre de 2022. Por otro lado, la segunda parte de la investigación se realizó a partir de dos cuestionarios anónimos de elaboración propia, difundidos de julio a septiembre de 2022, utilizando las redes sociales. El primer cuestionario iba dirigido a personal sanitario, más específicamente a médicos y enfermeros, y contaba con un total de 22 preguntas, mientras que el segundo cuestionario iba dirigido a la población general mayor de edad residente en España, y contaba con 17 preguntas. El muestreo es aleatorio simple.

Las entrevistas se realizaron de manera presencial y telemática, y en ellas participaron un total de 11 especialistas. Los entrevistados pertenecen a distintas instituciones, entre ellas la Universidad Autónoma de Madrid, el Hospital Clínico San Carlos, el Hospital Puerta de Hierro, el Centro de Investigación Alberto Sols, el Centro de Investigación Sant Joan de Déu, el Centro Nacional de Biotecnología, la Fundación Jiménez Díaz y la Universidad Complutense de Madrid.



Tabla 1

Perfil de la muestra de los participantes en el estudio cuantitativo.

	PERSONAL SANITARIO (102)	POBLACIÓN GENERAL (366)
MUJERES	70,6%	65,8%
HOMBRES	29,4%	33,6%
OTRO		0,5%
18-30	17,6%	21,9%
31-40	28,4%	15,8%
41-50	26,5%	34,2%
>50	27,5%	28,1%
MÉDICOS	45,1%	
ENFERMEROS	54,9%	
PRIMARIA		2,7%
SECUNDARIA		3,82%
GRADO MEDIO		6,6%
GRADO SUPERIOR		13,4%
BACHILLERATO		8,7%
UNIVERSIDAD		64,48%

Las entrevistas se grabaron, con el consentimiento previo de cada participante, y se transcribieron en función de los objetivos planteados. Se analizaron las respuestas teniendo en cuenta su experiencia profesional y personal. Por otra parte, para estudiar los resultados de ambos cuestionarios, se procedió al análisis de las preguntas, agrupadas de acuerdo a los objetivos establecidos. En el análisis se han buscado las diferencias entre las variables de género, edad, profesión o nivel de estudios, de las cuales se expondrán las más significativas; se ha realizado la prueba estadística Chi-cuadrado para el estudio de la dependencia entre las variables, estableciendo un nivel de significación de 0,05.

5. RESULTADOS

5.1. CONOCIMIENTO Y CONCIENCIACIÓN DE LAS PAUTAS BIOÉTICAS

Todos los entrevistados conocen, en rasgos generales, qué es la bioética. Además, la mayoría está de acuerdo en que es una disciplina de gran importancia y eficacia. El personal sanitario posee un alto nivel de conocimiento sobre los principios bioéticos, mientras que la población general y los investigadores no lo tienen.

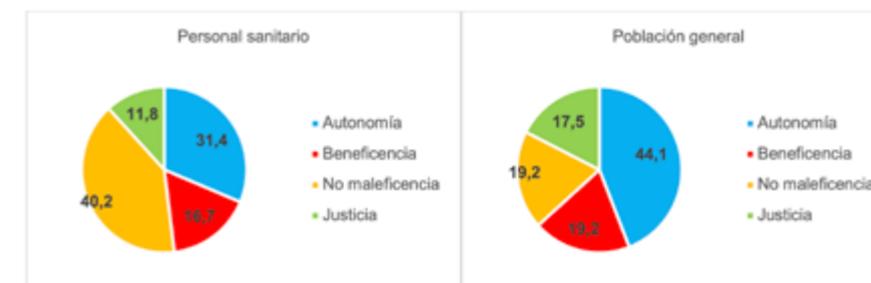
Por otra parte, a pesar de que en torno al 50% del personal sanitario y de la población general responde todas las opciones correctas con respecto al procedimiento de una investigación clínica, un porcentaje elevado de estos considera erróneamente que se debe dar una compensación económica a los participantes de una investigación. En relación al principio bioético que debe prevalecer en caso de conflicto, un 40,2% del personal sanitario considera que el más im-



portante es el de no maleficencia, frente al 44,1% de la población general, que considera que el más importante es el principio de autonomía.

Figura 1

Comparación en porcentaje de las respuestas con respecto al principio ético que debe prevalecer.



Respecto a la evolución en el conocimiento sobre las pautas bioéticas y la protección del paciente, la mayoría de los participantes de este estudio está de acuerdo con la evolución en dichos aspectos. Además, la diferencia entre las edades en la población general es estadísticamente significativa ($p=0,002$), siendo las personas mayores de 50 años las que más de acuerdo están con esta evolución.

Por otro lado, entre el 60% y el 80% de los entrevistados y encuestados considera que se sobrepasarían los límites éticos si estos no estuvieran recogidos en la ley. Además, las diferencias a este respecto entre médicos (30,4%) y enfermeros (10,7%) son estadísticamente significativas ($p=0,034$), siendo los médicos los que menos confían en los profesionales. Entre la población general, la diferencia en cuanto al género también es significativa ($p=0,008$), ya que el doble de hombres (10,6%) que de mujeres (5,8%) desconfía, en este aspecto, de los profesionales. Por último, en torno al 60-75% de los entrevistados y encuestados considera que, aunque ambos valores son importantes, debe prevalecer siempre el valor social de una investigación.

5.2. FORMULACIÓN DE UN CONSENTIMIENTO INFORMADO Y LOS ASPECTOS Y CUESTIONES QUE INVOLUCRAN A PERSONAS VULNERABLES

En relación a este objetivo, cabe mencionar que únicamente el 24,5% del personal sanitario supo responder todas las opciones correctas sobre los aspectos que deben incluirse en el consentimiento informado; además, la mayoría de ellos no considera importante que el paciente sepa dónde se van a almacenar sus muestras.

Dado que la finalidad del consentimiento informado es proteger a las personas más vulnerables, se planteó la pregunta acerca de los problemas éticos que pueden surgir cuando un familiar debe firmar en nombre de otra persona. Respecto a esto, en torno al 30% de los encuestados y todos los entrevistados consideran que estas situaciones sí que plantean problemas éticos. Cabe mencionar la evolución respecto a la edad en este aspecto, ya que cuanto más mayor es una persona, menos problemática considera esta situación. En la siguiente



tabla se presentan las diferencias de médicos y enfermeros sobre los problemas éticos que se plantean cuando un familiar firma el consentimiento informado en nombre de otra persona.

Tabla 2

Comparativa por profesión sanitaria acerca de los problemas éticos que se plantean cuando un familiar firma un consentimiento informado en nombre de otra persona.

	SÍ	NO	EN ALGUNOS CASOS	NO SÉ/ NO CONTESTO
MÉDICOS	41,3%	6,5%	52,2%	0%
ENFERMEROS	28,6%	12,5%	46,4%	12,5%
TOTAL	34,3%	9,8%	49%	6,9%

Por otra parte, el 76% de la población general encuestada ha firmado alguna vez un consentimiento informado. Con respecto a este, un 38,1% considera que tuvo tiempo suficiente para leer el documento, un 56,8% piensa que el lenguaje era sencillo y fácil de entender y un 45,4% considera que la información estaba bien explicada. Por otra parte, cabe destacar que un 61,8% del personal sanitario admite que el consentimiento informado no se adapta en ningún caso. Por último, el personal investigador admite que no realizan ellos mismos los consentimientos informados, sino que se toma un modelo de referencia.

5.3. EL DESARROLLO DE UNA INVESTIGACIÓN CON SERES HUMANOS Y LA SELECCIÓN DE PARTICIPANTES

Respecto a la selección de participantes, los entrevistados explican que esta siempre se hace a través de anuncios publicitarios en hospitales o a través de médicos y otros profesionales sanitarios. Por otro lado, aunque existen cuatro fases clínicas, los investigadores solo consideraban las tres primeras, siendo la última, la fase de comercialización, una de las más importantes, ya que es la etapa en la que se estudian los efectos a largo plazo en toda la población.

5.4. FUNCIONES Y CONOCIMIENTO DE LOS COMITÉS DE ÉTICA DE INVESTIGACIÓN Y DE LOS COMITÉS DE ÉTICA ASISTENCIAL

Respecto a este último objetivo, el análisis de las entrevistas permite concluir que las funciones principales de un comité de ética de investigación son analizar cada proyecto y dar garantía pública de que se van a respetar los límites éticos. Por otra parte, las funciones principales de los comités de ética asistencial son evaluar la práctica clínica y escoger la mejor opción para los pacientes. Por último, en ambos tipos de comités es fundamental la función de divulgar información en el centro al que pertenecen.

Por otra parte, en torno al 15% del personal sanitario ha consultado alguna vez un comité de ética asistencial. Además, teniendo que elegir en un listado de opciones sobre qué consultarían a un comité de ética asistencial, solo un 1,96% de ellos supo responder todas las opciones correctas. La mayoría los encuestados consideran, a este respecto, que una de las funciones de este tipo de comités es decidir por los médicos o por los pacientes; sin embargo, no es obligatorio



seguir las recomendaciones del comité de ética, dado que su evaluación es un consejo con altos conocimientos sobre legislación y bioética.

Figura 2

Consultas realizadas por personal sanitario a un comité de ética asistencial.



Pregunta: ¿Ha consultado alguna vez un comité de ética?

6. DISCUSIÓN

Los resultados del presente estudio pueden contrastarse con otros realizados previamente. En comparación con Montilla (2021), nuestra investigación llega a la conclusión de que, al igual que sostiene su tesis doctoral, hay un alto nivel de conocimiento por parte del personal sanitario sobre los aspectos teóricos de la bioética; sin embargo, en contraposición a los resultados de su trabajo, en nuestro estudio se han obtenido niveles muy bajos sobre el conocimiento de las funciones de un comité de ética asistencial por parte del profesional sanitario encuestado.

En consonancia con el estudio de Hernández González et al. (2014), el presente estudio también ha obtenido un alto porcentaje de formación en los profesionales sanitarios, aunque nuestro trabajo ha obtenido valores superiores. También en consonancia con López Camps et al. (2017), este estudio permite deducir que no siempre se realizan los procesos del consentimiento informado de manera correcta: en escasas ocasiones se adapta el consentimiento informado a quien lo va a firmar y a veces el vocabulario no es sencillo de entender por el paciente; además, no siempre el personal sanitario explica todos los aspectos de manera clara y precisa.

Por otra parte, frente a los resultados obtenidos por Correal Muñoz y Arango Restrop (2014), los profesionales sanitarios encuestados presentan un alto nivel de formación bioética, aunque es cierto que ellos mismos consideran que es necesaria más formación en este campo. Por otra parte, nuestro estudio no ha obtenido resultados tan positivos como los de la tesis de Otero Pérez (2021).

Por último, de acuerdo con el estudio realizado por Giménez et al. (2015), la mayoría de los entrevistados consideran que debe seguir habiendo una evolución con respecto a la protección del paciente. Por otra parte, la segunda conclusión de su estudio también concuerda con el nuestro, ya que un 58,2% de los encuestados (en el cuestionario de la población general) considera que, aun-



que existan tratamientos o intervenciones eficaces, se debe seguir investigando con seres humanos para impulsar el conocimiento científico.

7. CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos propuestos anteriormente, el presente estudio permite llegar a las siguientes conclusiones.

En primer lugar, respecto al objetivo 1, se concluye, por una parte, que todos los participantes del estudio consideran fundamental la aplicación de normas éticas en la investigación y la asistencia sanitaria. Por otro lado, también se concluye, teniendo en cuenta los datos obtenidos, que los entrevistados y el personal sanitario tienen un buen nivel de conocimiento, así como un alto grado de formación en estos aspectos; al contrario, los investigadores y la población general carecen de un conocimiento suficiente a este respecto. Por último, se concluye que, a pesar de la gran evolución respecto al conocimiento y la concienciación de estas pautas éticas, sigue siendo necesario seguir avanzando en estos aspectos legislativamente.

En segundo lugar, respecto al objetivo 2, se puede concluir que el consentimiento informado no lo redactan los propios investigadores, sino que se utiliza un modelo y que en los hospitales este documento tampoco se adapta a cada individuo. Por otra parte, salvo los miembros de los comités de ética, que conocen bien el documento (a pesar de no haber recibido una formación específica sobre ello), el resto de encuestados y entrevistados muestran escaso conocimiento al respecto. Además, cabe destacar que los aspectos que involucran a personas vulnerables son conflictivos. De este modo, se puede concluir que el proceso del consentimiento informado no se realiza correctamente, desprotegiendo así a las personas vulnerables.

En tercer lugar, teniendo en cuenta el objetivo 3, se concluye que en general no es considerada la fase de comercialización, que es fundamental, puesto que en ella se estudian los efectos a largo plazo en la población general. También se concluye que la forma habitual de buscar participantes para una investigación es mediante la recomendación de un médico o mediante anuncios en hospitales.

Por último, respecto al objetivo 4, se ha establecido como función principal de los comités de ética de la investigación dar garantía pública de que se van a respetar todas las pautas éticas, y de los comités de ética asistencial, proteger al paciente frente a situaciones problemáticas. Sobre todo, cabe mencionar la función de divulgar información en el centro al que pertenecen. Además, los datos recogidos en el cuestionario dirigido al profesional sanitario demuestran desconocimiento sobre las funciones de los comités de ética asistencial.

Por todo ello, podemos concluir que la hipótesis de partida se confirma parcialmente. Respecto al grado de conocimiento sobre las pautas bioéticas rela-



tivas a la protección de la dignidad humana, se demuestra que dicho nivel de conocimiento y concienciación es insuficiente y escaso por parte del profesional investigador y por parte de la población general; sin embargo, el personal sanitario tiene un nivel suficiente de conocimiento y concienciación de las pautas bioéticas, habiendo además quedado demostrado que se ha producido una evolución respecto al conocimiento y a la protección del paciente en los últimos años.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asociación Médica Mundial (1983). *Declaración de Helsinki. Adoptado por la 3a Asamblea General de la AMM Londres, Inglaterra, octubre 1949 y enmendado por la 22a Asamblea Médica Mundial Sydney, Australia, agosto 1968, y la 35a Asamblea Médica Mundial Venecia, Italia, octubre 1983.* <https://www.wma.net/es/polices-post/declaracion-de-helsinki-de-la-amm-principios-eticos-para-las-investigaciones-medicas-en-seres-humanos/>
- Carrillo-González, S. (2013). "Situación actual de los comités de bioética clínico-asistenciales en la ciudad de Cartagena". *Persona y bioética*, 13 (1), pp. 96-110.
- Consejo de Organizaciones Internacionales de las Ciencias Médicas (CIOMS), Organización Mundial de la Salud (OMS). (2017). "Pautas éticas internacionales para la investigación relacionada con la salud con seres humanos". https://cioms.ch/wp-content/uploads/2017/12/CIOMS-EthicalGuideline_SP_INTERIOR-FINAL.pdf
- Correal-Muñoz, C. A. y Arango-Restrepo, P. (2014). "Aspectos bioéticos en la salud comunitaria". *Persona y Bioética*, 18 (2), pp. 194-212.
- Giménez, N.M. et al. (2016). "Ensayos clínicos y consentimiento informado: visión de investigadores, pacientes y médicos de familia". *Atención Primaria*, 48, pp. 518 - 526.
- Gómez Sánchez, P.I. (2009). "Principios básicos de bioética". *Revista Peruana de Ginecología y Obstetricia*, 55, pp. 230-233.
- Hernández González, A. et. al. (2014). "Conocimientos sobre ética asistencial de los residentes de pediatría". *Revista de Pediatría*, 80 (2), pp. 106-113.
- Ley 14/2007, de 3 de julio, de Investigación biomédica. Jefatura del Estado «BOE» núm. 159, de 04 de julio de 2007 Referencia: BOE-A-2007-12945. Ley 14/2007, de 3 de julio, de Investigación biomédica. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2007-12945>



- López Camps, V. et. al. (2017). "Encuesta nacional sobre los indicadores de calidad en Bioética de la SEMICYUC, en los servicios de Medicina Intensiva en España". *Medicina Intensiva*, 41 (9), pp. 523-531.
- Orgando Díaz, B. y García Pérez, C. (2005). "Necesidades de formación en bioética en la Comunidad de Madrid". *Atención Primaria*, 35 (5), pp. 240-245.
- Peña, F. Y. (2015). "Introducción a la ética en investigación: conceptos básicos y revisión de la literatura". *Revista de Medicina*, 23 (2), pp.78-86.
- Pérez, M. O. (2021). *Análisis de la percepción del consentimiento informado de la cirugía y de la anestesia por pacientes de cirugía otorrinolaringológica*. Tesis no publicada. Universitat de València.
- Real Decreto 1090/2015, de 4 de diciembre, por el que se regulan los ensayos clínicos con medicamentos, los Comités de Ética de la Investigación con medicamentos y el Registro Español de Estudios Clínicos. <https://www.boe.es/boe/dias/2015/12/24/pdfs/BOE-A-2015-14082.pdf>
- REGLAMENTO (UE) No 536/2014 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 16 de abril de 2014 sobre los ensayos clínicos de medicamentos de uso humano, y por el que se deroga la Directiva 2001/20/CE. https://health.ec.europa.eu/system/files/2016-11/reg_2014_536_es_0.pdf
- Ruiz Montilla, M.J. (2021). *Cuestionario sobre conocimientos en bioética y actitud moral en alumnos universitarios y profesionales sanitarios*. Tesis doctoral no publicada. Universidad de Lleida.
- Sádaba, J. (2004). *Principios de bioética laica*, España, Barcelona. Gedisa.



Efectos de los bici-pupitres sobre estudiantes con Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad

/ PRIMER PREMIO

AUTORAS | CLAUDIA DE LA MERCED GARCÍA Y ESTHER PLANILLO JARAUTA

COORDINADORA | SILVIA RODRÍGUEZ DIEZ

CENTRO | IES VALLE DEL EBRO

CIUDAD | TUDELA-NAVARRA

RESUMEN |

La bibliografía especializada coincide en afirmar que la actividad física moderada tiene beneficios en la concentración en tarea y en el control cognitivo de las personas con Trastorno por Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH). **Objetivos.** Evaluar el impacto de la instalación de pedaleras en el aula sobre el rendimiento académico y la capacidad de atención (sostenida y selectiva) de estudiantes diagnosticados con TDAH. **Métodos.** Estudio de tipo descriptivo, transversal y prospectivo mediante intervención desarrollada durante 14 semanas con una muestra de 13 estudiantes de 11 a 14 años. Se tomaron medidas en fase pre y post intervención (ADHD-RS-V, d2 Test of Attention, Trail Making Test, Conner's Teacher Rating Scale) y se siguió un protocolo de observación en el aula. **Resultados.** Se compararon los resultados que midieron la capacidad de atención (TMT, d2) en fases pre y post intervención, intra e inter grupos, mediante pruebas de U de Mann-Whitney y de Wilcoxon, sin obtenerse significación estadística. Tampoco en los resultados académicos. **Conclusión.** El presente estudio ha sido pionero en investigar el efecto que la actividad física moderada y espontánea tiene sobre partes de la función ejecutiva (FE) afectadas por el TDAH en el ambiente real de aula.



ABSTRACT |

The specialized bibliography agrees that moderate physical activity has benefits on task concentration and cognitive control of people with Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD). **Objectives.** To evaluate the impact of installing pedalboards in the classroom on academic performance and attention span (sustained and selective) of students diagnosed with ADHD. **Methods.** Descriptive, cross-sectional and prospective study using an intervention developed over 14 weeks with a sample of 13 students aged 11 to 14 years. Measurements were taken in the pre- and post-intervention phase (ADHD-RS-V, d2 Test of Attention, Trail Making Test, Conner's Teacher Rating Scale) and a classroom observation protocol was followed. **Results.** The results that measured attention capacity (TMT, d2) in pre- and post-intervention phases, intra and inter groups, were compared using Mann-Whitney U and Wilcoxon tests, without obtaining statistical significance. Nor in academic results. **Conclusion.** The present study has been a pioneer in investigating the effect that moderate and spontaneous physical activity has on parts of the executive function (EF) affected by ADHD in the real classroom environment



1. INTRODUCCIÓN

La prevalencia en el diagnóstico de trastorno de déficit de atención e hiperactividad (TDAH) se sitúa en torno al 5% de los escolares y al 2,5% de los adultos (Ministerio de Educación, 2022). Anteriormente se ha hipotetizado sobre la influencia que la actividad física tendría sobre las personas diagnosticadas con TDAH y ha habido ejemplos de intervención en algunos centros educativos anglosajones (Canadá, EEUU e Inglaterra), en concreto, utilizando pedaleras bajo los pupitres de clases o dispositivos de bici-pupitre. La revisión sistemática más reciente disponible, de Polo-Recuero et al., (2021), detectó seis investigaciones sobre el uso de bici-pupitres en el aula, sin embargo, en su mayoría se basaron en muestras de estudiantes universitarios (ninguno con alumnado de menos de 13 años), y en ningún caso tuvieron como objeto de estudio el TDAH.

Sin embargo, no se dispone de evidencia sobre si se producen efectos sobre los síntomas del TDAH ni en el rendimiento académico y la cognición (Esteban Bustamante et al., 2019; Rollo et al., 2019; Guirado et al., 2021; Polo-Recuero et al., 2021; Xie et al., 2021). El único estudio similar al nuestro conocido hasta la fecha es el de Ruiter et al. (2022). Aunque su planteamiento es distinto. En la bibliografía existen dos enfoques principales sobre la relación entre actividad física y cognición (Mavilidi et al., 2018): uno que asocia el ejercicio aeróbico crónico con cambios a largo plazo sobre la cognición y otro que plantea cambios instantáneos en esta tras actividad aeróbica aguda. El estudio de Ruiter et al. (2022) se basó en este segundo supuesto. El nuestro ha intentado abarcar ambas orientaciones al observar por un lado el comportamiento en tarea dentro del aula y por otro los efectos registrados en fase pre y post intervención transcurridas 14 semanas.

La finalidad de esta investigación ha sido analizar si pedalear dentro del aula mejora la capacidad de atención del alumnado con TDAH (desempeño en tarea) y si a medio plazo influye sobre su rendimiento académico. Según los criterios de la Declaración SPIRIT 2013 y la CONSORT-SPI 2018, se decidió aumentar el número de variables observadas para descartar su posible influencia sobre la dependiente, que son aquellas que estudios previos han demostrado que influyen en el curso del TDAH: el tratamiento farmacológico, la asistencia a terapia de hijos y de progenitores, las comorbilidades, los antecedentes familiares de trastorno mental, así como la evolución de los síntomas del TDAH. Además, siguiendo a Takacs y Kassai (2019, p. 653), se han obtenido datos informados tanto por familiares como por profesores, ya que ambos disponen de una observación cotidiana sobre el sujeto.



2. MÉTODOS

2.1. DISEÑO

Se llevó a cabo un estudio de tipo descriptivo, transversal y prospectivo, que evaluó el impacto de la instalación de bici-pupitres o pedaleras en aulas con alumnado diagnosticado de TDAH sobre su capacidad de atención (sostenida y selectiva) y, por ello, en su rendimiento académico. Se diseñó una intervención de 14 semanas de duración, como recomienda la bibliografía especializada, formando dos grupos de estudio: uno experimental (con TDAH y pedalera) y otro control (con TDAH y sin pedalera), de la misma etapa educativa e igual tamaño. La asignación de los participantes fue por conveniencia siguiendo el criterio de interferir lo menos posible en el desarrollo del curso académico, realizando el seguimiento en el número de clases más reducido (concentrando estudiantes observados en un mismo lugar).

El participante podía decidir cuándo usar el bici-pupitre a lo largo de la jornada escolar y durante las 14 semanas, salvo en las asignaturas de Matemáticas e Inglés, donde se le solicitaba que pedaleara en todas las sesiones. Estas dos materias objetivo se eligieron por considerarse que implican un desempeño en tarea más probable respecto a otras, por conveniencia ya que se impartían en el aula que tenía instalado el bici-pupitre o la pedalera, y porque además existe indicios previos sobre mejoras en el desempeño en Matemáticas con intervenciones basadas en actividad física entre alumnado infantil diagnosticado de TDAH (Davis et al., 2011).

Previamente, se obtuvo el consentimiento informado de las familias para que sus hijos e hijas participaran en el estudio, se comunicó personalmente a cada una de ellas sobre las características y condiciones de la intervención, se elaboró y envió a los equipos docentes afectados una guía con instrucciones; los observadores fueron entrenados en el protocolo de toma de medidas en el aula, y se dedicaron las dos semanas anteriores al inicio de la intervención a favorecer la adaptación de los participantes y del resto de compañeros.

Los criterios de inclusión fueron: (a) tener un diagnóstico TDAH, (b) estar o no medicado, (c) no tener una situación física que impidiese al pedaleo, (d) estar cursando 5º o 6º de Primaria, 1º de ESO o 2º de ESO en Tudela, (e) firma de los padres del consentimiento informado, (f) autorización del centro educativo para llevar a cabo la intervención. La edad de los participantes, entre los 11 y los 14 años, fue seleccionada siguiendo la última modificación de la guía clínica DSM-V, que adelantó a los doce años la aparición de los síntomas TDAH. Para reclutar sujetos se solicitó la colaboración de los equipos directivos de centros escolares del entorno y de la Asociación Navarra de apoyo a personas con TDAH de la Ribera y sus familias (ANDAR).



2.2. INSTRUMENTOS PARA LA FASE PRE Y POST INTERVENCIÓN

- a. Entrevista con padres basada en el *Clinical Interview-Parent Report Form* (Barkley y Murphy, 2006).
- b. Nivel de actividad física mediante la versión española del *Physical Activity Questionnaire for Children* (PAQ-C) y *for Adolescents* (PAQ-A) (Manchola-González et al., 2015 y 2017).
- c. Función ejecutiva (FE).
 - a.) *d2 Test of Attention* (Brickenkamp y Zillmer, 1998; adaptación española de Seisdedos Cubero, 2009).
 - d.) *Trail Making Test* (TMT) (Reitan y Wolfson, 1995; traducción de Portellano y Martínez Arias, 2014).
- d. Comportamiento: *Conner's Teacher Rating Scale* (versión revisada de 28 ítems) (CTRS-R). Fue validado y modificado por Farré-Riba y Narbona (1997).
- e. E.Resultados académicos: calificaciones en cada evaluación de todas las asignaturas cursadas por cada participante.
- f. F. Satisfacción: cuestionarios de diseño propio aplicados a los participantes, sus familias y profesores, utilizando como modelos el *Treatment Satisfaction and Value of Coaching Questionnaire* (Andersen et al., 2022), y las preguntas planteadas por Bul et al. (2015).

2.3. OBSERVACIÓN EN EL AULA

Se diseñó un sistema de observación basado en el método de Mahar et al. (2006) para evaluar la concordancia interobservadores, mediante dos momentos distintos dentro del período de la intervención, durante una sesión entera de clase en cada caso, y con dos jueces distintos. Para cada evento observado se seleccionaron ocho estudiantes, al participante con dispositivo de pedaleo y aleatoriamente a otros siete estudiantes sin pedalera, y la toma de datos se realizaba durante un minuto por sujeto, alternándose intervalos de cinco segundos de observación, seguidos de otros cinco para registrar lo sucedido en el período, en cuatro ciclos de observación alternos. De este modo, en total se registraban cuatro minutos de cada estudiante, pero ni el profesor o profesora ni los participantes sabían qué alumnos eran observados en un momento dado (Whitcomb y Merrell, 2013, p. 138). De cada intervalo de cinco segundos el investigador anotaba en una tabla si el comportamiento del alumno o alumna podía describirse de este modo: 'C' o concentrado en la tarea, 'M' o fuera de la tarea motoramente (inquieto, moviéndose), 'R' o fuera de la tarea ruidosamente (hablando) o 'P/O' o pasivo/otro fuera de la tarea (como ausente). Adicionalmente se consignaba si los estudiantes pedaleaban o no. Mediante auricular cada uno era avisado transcurridos cinco segundos mediante la aplicación para Android de *IntervalTimer*. Las entradas y salidas del aula de los dos jueces se hacían coincidir con timbres que señalizaban el inicio y fin de la sesión, se colocaban al final del aula, sin interrumpir el canal visual profesor-estudiante;



todo ello para mitigar la reactividad de la observación (Whitcomb y Merrell, 2013, p. 179).

2.4. TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

Las medidas procedentes de los cuestionarios y de las observaciones fueron almacenados en una base de datos para realizar posteriormente su análisis estadístico con el programa IBM SPSS Statistics en su versión 25.0. Las variables cualitativas se expresaron en distribuciones de frecuencia (recuento) y en porcentajes; y las cuantitativas mediante la media, con su desviación estándar y los intervalos de confianza al 95%. Para establecer la distribución normal de estas últimas se utilizaron las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y de Shapiro-Wilk, y la de Levene para analizar la homogeneidad. Las asociaciones entre variables se comprobaron con pruebas t de Student y su equivalente no paramétrico, la U de Mann-Whitney. La comparación entre los resultados pre y post intervención fueron evaluados mediante Wilcoxon. Para todas las pruebas se utilizó como el valor p de referencia inferior a 0,05.

3. RESULTADOS

El tamaño muestral diseñado ($n=14$) quedó finalmente integrado por 13 participantes (uno de los sujetos no cumplía todos los criterios de inclusión porque tenía 8 años). El grupo control constó de 6 estudiantes y el experimental de 7. La edad media del total de la muestra ($n=13$) fue de 12,38 años ($DT=1,19$; $\pm 0,72$), siendo de 12,67 años ($DT=1,03$; $\pm 1,08$) en los controles y de 12,14 años ($DT=1,35$; $\pm 1,24$) en el experimental. La distribución por sexos y niveles educativos se muestra en la Tabla 1. Nadie sufría comorbilidades, tres participantes declararon antecedentes familiares de algún trastorno, cuatro estaban recibiendo tratamiento farmacológico antes de la intervención (30,77%), todos ellos Concerta®, a una dosis media de 39,50 mg ($DT=26,40$; $\pm 42,01$), de los cuales tres quedaron encuadrados en el grupo control, y seis asistían a terapia (46,15%). El nivel medio de actividad física en fase pre intervención fue de 2,26 puntos ($DT=0,49$; $\pm 0,35$); detectándose mediante una prueba t de Student una diferencia estadísticamente significativa al compararse los grupos control (1,72 puntos; $DT=0,35$; $\pm 0,86$) y experimental (2,49 puntos; $DT=0,32$; $\pm 0,30$).

La Tabla 1 muestra los datos sobre sintomatología TDAH. Se compararon los resultados intra grupos en fase previa a la intervención y se obtuvo significación estadística en la dimensión inatención y en el resultado global del ADHD-RS-V de familias. Mediante pruebas de correlación de Pearson se evaluó la asociación entre los resultados obtenidos en este cuestionario, tanto de familias como de escuela, con las puntuaciones de CTRS-R, tanto para el total de la muestra como de acuerdo a las dimensiones de ambos cuestionarios. En el total de la muestra ($n=13$) no se encontró significación estadística entre los valores registrados por las familias y el CTRS-R, pero sí entre este último y el ADHD-RS-V para la escuela, en el puntaje total ($r=0,885$; $p=0,001$), en la dimensión de in-



atención ($r=0,976$; $p=0,000$), hiperactividad ($r=0,904$; $p=0,000$), y entre el resultado en ADHD-RS-V y el trastorno de conducta evaluado según CTRS-R ($r=0,741$; $p=0,014$). Por último, se comprobaron mediante t de Student para muestras relacionadas si los resultados habían experimentado algún cambio significativo antes y después de las 14 semanas, únicamente sobre la muestra de 6 participantes que completó el programa (distribuidos 3-3 en los grupos), sin poder rechazarse la hipótesis nula en ningún caso ni grupo ($p > 0,05$).

El cuestionario d2 permite medir la atención sostenida y selectiva. La media en la Efectividad Total (TOT), que fue 265,10 ($DT=54,39$; $\pm 38,91$) para el conjunto de los participantes, fue significativamente diferente en los grupos, de acuerdo al resultado en la U de Mann-Whitney ($p=0,017$). Aunque no existía este nivel de significación al comparar las medias del Índice de Concentración (CON), que es una medida complementaria a TOT. Tampoco se obtuvo en el Índice de Variación (VAR) ni en el porcentaje de error (E%). Al ser cotejados los resultados que midieron la capacidad de atención (TMT, d2) en fases pre y post intervención, intra e inter grupos, mediante pruebas de U de Mann-Whitney y de Wilcoxon, no se obtuvo significación estadística.

Los resultados académicos del alumnado que completó la intervención ($n=6$) fueron sometidos a un análisis pormenorizado y se aplicaron estadísticos deductivos sin detectarse diferencias

El método de observación previsto solo pudo ser aplicado de manera íntegra en uno de los centros educativos (IES Valle del Ebro), es decir, con dos oleadas en dos asignaturas, Inglés y Matemáticas. Aunque el grado de concordancia interobservadores fue medio (29-41% y 0,21-0,40 en Kappa), los datos recogidos no se consideraron concluyentes porque fueron observados una gran cantidad de factores que podían influir en la concentración en tarea de un estudiante, con o sin pedalera.

Finalmente, respecto a la satisfacción, la media en las 8 respuestas de la escala de Likert (representando '1' la mínima satisfacción y '5' la máxima) fue de 3 puntos ($DT=5,29$; $\pm 13,14$) en el grupo experimental, de 2,12 ($DT=0,53$; $\pm 20,67$) entre el profesorado y de 4,1 ($DT=1,23$; $\pm 9,65$) en las familias.

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Como se había previsto y de la misma manera que sucede en los estudios similares (Ruiter et al., 2022), no se obtuvieron resultados con base estadística. Esto es algo que se advierte en las revisiones sistemáticas disponibles y se atribuye a la dificultad que entraña medir fenómenos que no son directamente observables, donde intervienen múltiples factores que pueden influir (Rollo et al., 2019; Takacs y Kassai, 2019; Guirado et al., 2021; Polo-Recuera et al., 2021). Takacs y Kassai (2019, p. 691) advierten que en estos casos unos resultados no significativos deben interpretarse con precaución (cf. Álava et al., 2021, p. 136);



porque podrían atribuirse a análisis de bajo poder estadístico y no a un efecto realmente nulo.

La revisión de Esteban Bustamante et al. (2019, p. 51) informa de un promedio de mejora en el comportamiento centrado en tarea, respecto al grupo control y a las medidas basales, en intervenciones basadas en actividad física, del 10%. En nuestro caso ha sido superior. Por un lado, se registró una mejora del 22,75% en el tiempo dedicado para realizar la Parte B del TMT entre la fase pre y post intervención, aunque para la Parte A fue similar (36,33 y 37,88 segundos respectivamente). Por otro, el margen de mejora en el grupo control entre ambas fases fue mayor (un 29,17%). Además, en d2 el volumen de procesamiento aumentó tras las 14 semanas un 44,36% (frente a un 9,42% en el control para el mismo período), un 37,04% la efectividad total (TOT) (el 27,93% en el control), si bien el porcentaje de errores aumentó. Se apreció que un mayor Índice de Concentración en d2 unido a un valor más elevado en la Efectividad Total de la prueba iban aparejados a un menor tiempo de ejecución en el TMT.

El protocolo de observación diseñado siguiendo a Mahar et al. (2006) tiene potencial, pero fue ineficaz para extraer datos objetivos sobre el objeto de estudio. La influencia de la pedalera sobre el comportamiento en tarea de alumnado diagnosticado con TDAH se percibió mediatizada por otros condicionantes adicionales, como la hora en la que tenía lugar la sesión, el ambiente general en el aula o la naturaleza de las tareas de aprendizaje propuestas, entre otros. Sin embargo, consideramos que lograr la observación directa en un ambiente real sigue siendo relevante para la investigación y que estas debilidades observadas podrían constituir una base de referencia para planificar un protocolo alternativo.

5. CONCLUSIONES

El presente estudio ha sido pionero al intentar aportar evidencia sobre los beneficios que la actividad física moderada, espontánea y autorregulada, tiene sobre el desempeño en tarea y el control cognitivo en estudiantes con TDAH. Precisamente es probable que este carácter precursor del estudio explique la ausencia de evidencia estadística en los resultados. Consideramos que investigaciones de este tipo se encuentran todavía en fase exploratoria y que por ello su principal aportación son las evidencias obtenidas sobre el diseño de la intervención, porque esto posibilitaría mejorar los resultados proporcionados por futuros estudios. Además, estas intervenciones representan oportunidades para implementar la actividad física, de tipo moderado, en entornos escolares; con vistas a acumular evidencia respecto a posibles mejoras cognitivas en el desempeño de tareas para el alumnado.

6. AGRADECIMIENTOS

Para el desarrollo de la intervención y en general del estudio, se ha podido colaborar con Recicleta Ribera y con ANDAR, Asociación Navarra de apoyo a



personas con TDAH de la Ribera y sus familias. Además, ha sido determinante la participación de las familias, que acogieron muy positivamente la investigación, lo cual las autoras quieren reconocer y agradecer.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Álava, S. et al. (2021). "Atención Sostenida y Selectiva en subtipos de TDAH y en Trastorno de Aprendizaje: una comparación clínica". *Electronic Journal of Research in Education Psychology*, 19(53), pp. 117-144.
- Andersen, A. C. et al. (2022). "Cognitive behavioural group therapy for adolescents with ADHD: a study of satisfaction and feasibility". *Nordic Journal of Psychiatry*, 76(4), pp. 280-286.
- Barkley, R. A., y Murphy, K. R. (2006), *Attention-deficit hyperactivity disorder: A clinical workbook*, New York, Guilford Press.
- Bul, K. C. et al. (2015). "Development and user satisfaction of 'Plan-It Commander', a serious game for children with ADHD". *Games for health journal*, 4(6), pp. 502-512.
- Davis, C. L. et al. (2011). "Exercise improves executive function and achievement and alters brain activation in overweight children: a randomized, controlled trial". *Health psychology*, 30(1), p. 91.
- Esteban Bustamante, E. et al. (2019). "Actividad física y TDAH: evidencia sobre el desarrollo, efectos neurocognitivos a corto y largo plazo y sus aplicaciones". *Revista de Ciencias del Ejercicio y la Salud*, 17(1), pp. 32-59.
- Farre-Riba, A., y Narbona, J. (1997). "Conners' rating scales in the assessment of attention deficit disorder with hyperactivity (ADHD)". *Revista de neurología*, 25(138), pp. 200-204.
- Guirado, T. et al. (2021). "Effects of classroom active desks on children and adolescents' physical activity, sedentary behavior, academic achievements and overall health: a systematic review". *International journal of environmental research and public health*, 18(6), p. 2828.
- Mahar, M. T., et al. (2006). "Effects of a classroom-based program on physical activity and on-task behavior". *Medicine and science in sports and exercise*, 38(12), p. 2086.



- Manchola-Gonzalez, J. D., Bagur-Calafat, C., y Girabent-Farrés, M. (2015). "Validation of the PAQ-C questionnaire to assess physical activity in Spanish older children". *Physiotherapy*, 101, e945-e946.
- Manchola-González, J. D., Bagur-Calafat, C. y Girabent-Farrés, M. (2017). "Reliability Spanish Version of Questionnaire of Physical Activity PAQ-C". *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 17(65), pp. 139-152.
- Mavilidi, M. F. et al. (2018). "A narrative review of school-based physical activity for enhancing cognition and learning: The importance of relevancy and integration". *Frontiers in psychology*, 9, p. 2079.
- Polo-Recuero, B. et al. (2021). "The Effects of Bike Desks in Formal Education Classroom-Based Physical Activity: A Systematic Review". *Sustainability*, 13(13), p. 7326.
- Portellano, J. A., y Martínez Arias, R. T. (2014), *Test de los Senderos*, Madrid, TEA Ediciones.
- Rollo, S. et al. (2019). "The effects of classroom-based dynamic seating interventions on academic outcomes in youth: A systematic review". *Learning Environments Research*, 22(2), pp. 153-171.
- Ruiter, M. et al. (2022). "Effects of Desk-Bike Cycling on Phonological Working Memory Performance in Adolescents With Attention Deficit Hyperactivity Disorder". *Frontiers in Education*, 7, pp. 1-7.
- Seisdedos Cubero, N. (2009), *Test de Atención d2 de Rolf Brickenkamp*, Madrid, TEA Ediciones.
- Takacs, Z. K., y Kassai, R. (2019). "The efficacy of different interventions to foster children's executive function skills: A series of meta-analyses". *Psychological bulletin*, 145(7), p. 653.
- Xie, Y. et al. (2021). "Effectiveness of Physical Activity Intervention on ADHD Symptoms: A Systematic Review and Meta-Analysis". *Frontiers in psychiatry*, 12, p. 1744.
- Whitcomb, S. A., y Merrell, K. W. (2013). *Behavioral, social, and emotional assessment of children and adolescents*, London: Routledge.



Instrumento	Dimensión	Control (n=6)			Experimental (n=7)			Control (n=3)			Experimental (n=3)		
		Media	DT	IC95%	Media	DT	IC95%	Media	DT	IC95%	Media	DT	IC95%
ADHD RS-V familia	Inatención (I)	17,33	2,94	±3,09	11,25	4,50	±7,16	18,00	4,36	±10,83	14,25	9,54	±15,1
	Hiperactividad (H)	15,00	6,54	±6,87	5,50	6,45	±10,27	12,33	7,37	±18,31	4,75	4,86	±7,73
	Global (I+H)	32,33	8,85	±9,28	16,75	10,14	±16,14	30,33	10,02	±24,88	19,00	10,98	±17,4
ADHD RS-V escuela	Inatención (I)	13,67	4,04	±10,04	12,57	4,79	±4,43	14,08	7,06	±17,53	12,83	5,55	±13,7
	Hiperactividad (H)	5,00	2,65	±6,57	9,29	4,68	±4,33	4,83	4,19	±10,42	5,75	4,32	±10,7
	Global (I+H)	18,67	6,51	±16,17	21,86	7,69	±7,12	19,00	11,36	±28,21	18,33	9,29	±23,0
CTRS-R	Hiperactividad (H)	4,00	2,00	±4,97	6,14	3,53	±3,26	4,50	3,03	±7,53	1,75	0,75	±1,86
	Déficit de atención	9,00	2,00	±4,97	8,00	3,06	±2,83	8,83	3,33	±8,27	6,50	2,63	±6,54
	H+DA	13,00	3,46	±8,61	14,14	5,76	±5,32	13,33	6,35	±15,78	8,33	3,06	±7,59
	Trastorno conducta	5,67	3,51	±8,73	10,14	6,64	±6,14	7,75	6,71	±16,68	2,77	1,36	±3,38
	Global	31,67	10,21	±25,38	38,43	17,74	±16,41	34,67	19,63	±48,76	19,67	7,10	±17,6

Tabla 1. Sintomatología TDAH según cuestionario en el total de la muestra y por grupos en fase pre y post intervención
Fuente. Elaboración propia.

Dimensión	Pre intervención						Post intervención					
	Control			Experimental			Control			Experimental		
	Media	DT	IC _{95%}	Media	DT	IC _{95%}	Media	DT	IC _{95%}	Media	DT	IC _{95%}
Elementos procesados (TR)	403,33	75,27	186,97	272,00	35,51	88,21	441,33	14,47	35,94	392,67	71,23	176,96
Efectividad Total (TOT)	327,00	16,09	39,98	252,00	28,21	70,09	418,33	32,25	80,12	345,33	76,89	191,01
d2												
Índice Concentración (CON)	95,00	26,85	66,70	97,67	13,61	33,82	159,33	24,01	59,64	114,67	61,01	151,56
Índice Variación (VAR)	33,67	4,04	10,04	13,67	4,04	10,04	14,33	7,10	17,62	15,00	3,46	8,61
Porcentaje de errores (E%)	17,70	11,21	27,85	7,11	4,80	11,93	5,27	5,06	12,56	11,52	14,55	36,13
TMT												
Parte A: tiempo	46,67	2,31	5,74	36,33	14,74	36,62	36,99	16,17	40,17	37,88	7,25	18,01
Parte A: errores	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Parte B: tiempo	107,00	28,83	71,61	91,67	22,81	56,67	75,80	25,52	63,39	70,81	18,63	46,28
Parte B: errores	1,00	1,00	2,48	0,33	0,58	1,43	0	0	0	0,33	0,58	1,43
Tiempo B - A	60,33	28,57	70,98	55,33	34,27	85,13	39,00	11,27	28,00	32,33	17,62	43,76
Errores B - A	1,00	1,00	2,48	0,33	0,58	1,43	0	0	0	0,33	0,58	1,43

Tabla 1. Resultados en Función Ejecutiva (FE) por grupos en fase pre y post intervención (n=6).
Fuente. Elaboración propia.



¿Son las empresas de Economía Social una buena forma de emprendimiento en Castilla-La Mancha? Las cooperativas agro-alimentarias como modelo de creación de empleo y fijación de la población

/ SEGUNDO PREMIO

AUTOR | FELIPE HERNÁNDEZ MARÍN

COORDINADORA | MARÍA ELENA VINEGRA ESTRADER

CENTRO | COLEGIO NUESTRA SEÑORA DE LOS INFANTES

CIUDAD | TOLEDO

RESUMEN |

Este trabajo tiene como objetivo estudiar el efecto del emprendimiento en el desempeño de las cooperativas agro-alimentarias de Castilla-La Mancha. El emprendimiento se analiza a través de la orientación emprendedora, que se define a partir de la innovación, la proactividad y la asunción de riesgos. Las cooperativas agro-alimentarias, como empresas de Economía Social, poseen una especial relevancia en las zonas rurales de Castilla-La Mancha, al estar presentes en 1 de cada 3 municipios de esta Comunidad. Para realizar dicho análisis se utilizó un método de ecuaciones estructurales de segunda generación (PLS-SEM) a través del software 4.0.8.7, aplicado a 136 cooperativas agro-alimentarias de Castilla-La Mancha en el verano de 2022. Este trabajo presenta las siguientes aportaciones: 1) Es el primer trabajo que analiza la influencia de la orientación emprendedora en Castilla-La Mancha; 2) El modelo propuesto incluye variables e indicadores fiables y válidos, siendo la bondad de ajuste del modelo adecuada; 3) El emprendimiento influye positivamente y de manera significativa en el desempeño de las cooperativas agro-alimentarias, ya que de manera conjunta la innovación, la proactividad y la asunción de riesgos explican el 41,55% de la varianza del dicho desempeño; 4) La innovación es la dimensión que más influye en el desempeño de las cooperativas agro-alimentarias al determinar el 44,2% de la varianza de su desempeño. Con este trabajo queda demostrado que el emprendimiento afecta positivamente al desempeño de las cooperativas agro-alimentarias, convirtiéndose éstas en una fórmula adecuada para crear empleo y combatir la despoblación en la región.

Palabras clave: Emprendimiento, Innovación, Proactividad, Asunción de Riesgos, Desempeño, Cooperativas Agro-alimentarias, Castilla-La Mancha, Empleo, Despoblación, PLS-SEM.



ABSTRACT |

The objective of this research is to study the effect of entrepreneurship on the performance of the agro-food cooperatives of Castilla-La Mancha. Entrepreneurship is analysed through entrepreneurial orientation, which is defined by innovation, proactivity and risk-taking. Agro-food cooperatives, as Social Economy enterprises, are particularly relevant in the rural areas of Castilla-La Mancha, as they are present in 1 out of every 3 municipalities in this Community. To carry out this analysis, a second generation structural equation method (PLS-SEM) was used through the software 4.0.8.7, applied to 136 agro-food cooperatives of Castilla-La Mancha in the summer of 2022.

This study presents the following contributions: 1) It is the first work that analyses the influence of entrepreneurial orientation in Castilla-La Mancha; 2) The proposed model includes reliable and valid variables and indicators, being the goodness of fit of the model adequate; 3) Entrepreneurship has a positive and significant influence on the performance of the agro-food cooperatives, since innovation, proactivity and risk-taking together explain 41.55% of the variance of this performance; 4) Innovation is the dimension that most influences the performance of the agro-food cooperatives, accounting for 44.2% of the variance of their performance. This study demonstrates that entrepreneurship has a positive effect on the performance of agro-food cooperatives, making them an appropriate formula to create employment and combating depopulation in the region.

Keywords: Entrepreneurship, Innovation, Proactivity, Risk-taking, Performance, Agro-food cooperatives, Castilla-La Mancha, Employment, Depopulation, PLS-SEM.



1. INTRODUCCIÓN

La motivación principal de este trabajo es mostrar que la Economía Social, en concreto, las cooperativas agroalimentarias, son una forma de empresa adecuada para emprender, logrando crear empleo y, con ello, poder reducir el desempleo. El paro sigue siendo un grave problema, sobre todo en determinadas zonas con una escasa población. Castilla-La Mancha no es ajena a este problema. La Encuesta de Población Activa (EPA) muestra que en el tercer trimestre de 2022 el paro en Castilla-La Mancha ascendió al 14,40% del total de la población activa. Esta cifra se eleva al 19,80% en el caso de las mujeres y al 51,4% en el caso de personas con menos de 20 años. La aportación más relevante de este trabajo es comprobar que las cooperativas agroalimentarias, por su carácter agrario y rural, son una forma de empresa que crea empleo y fija población en zonas que sufren un elevado grado de despoblación.

El emprendimiento ha despertado el interés de gobiernos, académicos y de la población en general. Los gobiernos lo ven como un factor clave (Mas-Tur y Ribeiro-Soriano, 2014) para impulsar el crecimiento económico y la generación de empleo (Wong et al., 2005). En el ámbito académico, en los últimos años se observa cómo el emprendimiento y la orientación emprendedora son dos conceptos clave de la literatura de gestión empresarial (Miller, 1983; Covin y Slevin, 1991; Rauch et al., 2009; Covin y Miller, 2014).

Ha surgido un intenso debate sobre cómo medir el emprendimiento. En este trabajo hemos seguido las recomendaciones de Zahra (2005); Naldi et al., (2007) y Kellermanns et al. (2012), entre otros, que afirman que el comportamiento emprendedor de las empresas puede ser medido a partir de la orientación emprendedora. La orientación emprendedora es un atributo de las empresas que refleja lo que significa "ser emprendedor" (Covin y Wales, 2019). A pesar de las numerosas reformulaciones de la orientación emprendedora, en este trabajo hemos seguido la propuesta original Miller (1983) y Covin y Slevin (1991) por ser la más utilizada en la literatura especializada.

Los datos necesarios para realizar esta investigación se obtuvieron de un cuestionario enviado por mail a los presidentes de los Consejos Rectores de cooperativas agro-alimentarias de Castilla-la Mancha asociadas a cooperativas agro-alimentarias. Para el análisis de dichos datos y la contrastación de las hipótesis se ha utilizado un modelo de ecuaciones estructurales por mínimos cuadrados parciales de segunda generación PLS-SEM (Partial Least Squares-Structural Equation Modelling) a través del programa informático Smart-PLS en su versión 4.0.8.7 (Ringle et al., 2022), libre para estudiantes.

2 .ANTECEDENTES

La lucha contra el paro ha provocado que diferentes gobiernos hayan buscado y aplicado fórmulas para resolver este problema. Una de ellas es favorecer el



emprendimiento, sobre todo de determinadas formas de empresas como pueden ser las de Economía Social.

El emprendimiento empresarial puede ser entendido como la búsqueda de oportunidades (Ireland et al., 2003) con el fin de lograr una ventaja competitiva (Kuratko y Audretsch, 2009) sostenible en un entorno empresarial en constante cambio (Sirivanh et al., 2014). El emprendimiento puede ser analizado a través de la orientación emprendedora (Zahra, 2005; Naldi et al., 2007; Kellermanns et al., 2012). La orientación emprendedora ha recibido una gran atención en la literatura de gestión empresarial (Lomberg et al., 2017).

La orientación emprendedora ha sufrido múltiples reformulaciones desde su concepción original, convirtiéndose en un concepto dinámico. Así, el primer autor en hablar de orientación emprendedora fue Miller, para quien la orientación emprendedora puede entenderse como aquel comportamiento de la empresa caracterizado por la innovación, la proactividad y la asunción de riesgos (Miller, 1983: 771). Más tarde algunos autores completaron la anterior definición indicando que la orientación emprendedora depende del grado en que se favorece el cambio y la innovación, se es autónomo y se compite con otras empresas (Wiklund y Shepherd, 2005; George y Marino, 2011). En este sentido, Engelen et al. (2015) definen la orientación emprendedora como la capacidad de la empresa para llevar a cabo actividades relacionadas con la innovación, su capacidad para asumir riesgos y ser pioneros en nuevas acciones.

En los últimos años se ha producido un consenso sobre cómo medir la orientación emprendedora. En este trabajo consideramos que la orientación emprendedora se puede medir a través de tres dimensiones: innovación, proactividad y asunción de riesgos. La innovación se caracteriza por una tendencia a apoyar nuevas ideas, la experimentación y el uso de procesos creativos (Miller y Friesen, 1983; Kropp et al., 2006; Chandra et al., 2009). La proactividad se refiere a la búsqueda de la ventaja de los pioneros, anticipándose a los deseos y a las necesidades futuras del mercado (Covin y Slevin, 1989; Lumpkin y Dess, 1996) e introduciendo nuevos productos y servicios antes que los competidores (Rauch et al., 2009). Por último, la asunción de riesgos implica la implementación de acciones audaces que precisan niveles significativos de recursos, sin ninguna certeza acerca de la obtención de beneficios posibles (Lumpkin y Dess, 1996; Kraus et al., 2012).

Las cooperativas agro-alimentarias, como empresas de Economía Social persiguen objetivos económicos y sociales, siendo necesario medir el desempeño de una forma diferente a cómo se hace en las empresas de capital, De la revisión de la literatura encontramos trabajos que miden el desempeño utilizando indicadores financieros o contables (Chrisman, Chua, y Sharma, 2003; Molina-Parra et al., 2017) o el crecimiento de la empresa o la rentabilidad (Van Praag y Versloot, 2007; Manzano-García y Ayala-Calvo, 2020). Sin embargo, en los últimos años, la tendencia ha sido utilizar medidas subjetivas o basadas en la

percepción del grado de satisfacción con el cumplimiento de dichos indicadores financieros (Lian y Yen, 2017; Manzano-García y Ayala-Calvo, 2020). En este estudio, utilizamos esta opción para medir el desempeño de las cooperativas agro-alimentarias, es decir, según el grado de satisfacción con el cumplimiento de indicadores financieros.

3. HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

La orientación emprendedora refleja el éxito de la empresa (Kraus et al., 2012) que se concreta en un mayor desempeño (Guerras y Navas, 2022). Por lo tanto, existe una relación positiva entre la orientación emprendedora y el desempeño, que ya ha sido analizada en trabajos previos (Miller, 1983; Covin y Slevin, 1989; Zahra, 1991; Zahra y Covin, 1995; Lumpkin y Dess, 1996; Barringer y Bluedon, 1999; Wiklund, 1999; Wiklund y Shepherd, 2005; Davis et al., 2010; Frank et al., 2010). En el ámbito de la Economía Social esta relación ha sido escasamente analizada, siendo más escasos los trabajos que tratan de analizar esta relación en las cooperativas agro-alimentarias. Por este motivo, este trabajo constituye una verdadera oportunidad de investigación para analizar el emprendimiento en las cooperativas agro-alimentarias.

La revisión de la literatura nos permite enunciar las siguientes hipótesis:

H1: la orientación emprendedora influye positivamente en el desempeño de las cooperativas agro-alimentarias de Castilla-La Mancha.

Esta hipótesis se puede desagregar en tres sub-hipótesis:

H1.1: la innovación influye positivamente en el desempeño de las cooperativas agro-alimentarias de Castilla-La Mancha.

H1.2: la proactividad influye positivamente en el desempeño de las cooperativas agro-alimentarias de Castilla-La Mancha.

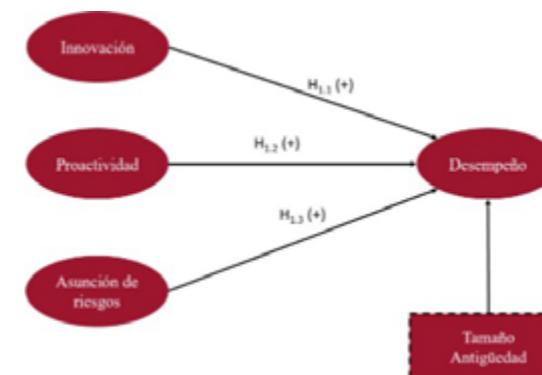
H1.3: la asunción de riesgos influye positivamente en el desempeño de las cooperativas agro-alimentarias de Castilla-La Mancha.

Esta hipótesis se puede ver en el modelo de investigación que se propone en la Figura 1.



Figura 1

Modelo de investigación propuesto. Fuente: Elaboración propia.



El objetivo de este trabajo de investigación es analizar cómo la capacidad emprendedora se traduce en una mejora del desempeño de las cooperativas agro-alimentarias, a través de la innovación, la proactividad y la asunción de riesgos, permitiendo generar empleo y fijando la población del territorio donde se ubican.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. DATOS

Este estudio se ha centrado en las cooperativas agro-alimentarias de Castilla-La Mancha. En esta Comunidad Autónoma hay activas 555 cooperativas agro-alimentarias, que asocian a más de 162.000 socios, logrando una facturación de 2.500 M/€ en 2020.

Castilla-La Mancha se caracteriza por una elevada vertebración social de este tipo de cooperativas, ya que el 82% de las cooperativas agro-alimentarias están integradas en Cooperativas Agro-alimentarias de Castilla-La Mancha. En esta entidad están asociadas 456 cooperativas, siendo 437 cooperativas de primer grado y 19 de segundo grado, que poseen una facturación anual media de 2.238 millones €/año. Cooperativas Agro-alimentarias de Castilla-La Mancha asocian 160.989 personas. Por sectores, las cooperativas integradas pertenecen al sector del vino, aceite, cultivos herbáceos, ajo, melón y sandía, frutas de hueso, hortalizas, champiñones y hongos, ganadería, producción ecológica, de crédito, etc. Como puede verse presentan un alto sesgo rural, por ser este el espacio donde se desarrollan mayoritariamente.

Los datos para realizar esta investigación se han obtenido de un cuestionario enviado a los presidentes de los Consejos Rectores de Cooperativas Agro-alimentarias de Castilla-La Mancha. La elección de este tipo de cooperativas se debe a que las cooperativas agro-alimentarias son un elemento de vertebración económica y social en muchas zonas rurales, que están afectadas por la elevada



despoblación. La creación y mantenimiento de este tipo de empresas en zonas rurales permitiría fijar población y evitar la emigración de personas a otros municipios. Los datos de las cooperativas agro-alimentarias fueron facilitados por Cooperativas Agro-alimentarias. Contestaron al cuestionario enviado por mail a 36 presidentes de las cooperativas agroalimentarias, lo que supone una tasa de respuesta del 33,77% y un error muestral de 7,05%. El trabajo de campo se realizó durante los meses de verano de 2022. En la Tabla 1 aparecen los datos de la ficha técnica del trabajo de campo.

Tamaño de la muestra	456
Ámbito de aplicación	Castilla-La Mancha
Respuestas obtenidas	136
Procedimiento muestral	Muestreo por conveniencia. Investigaciones exploratoria
Nivel de confianza	95%, $p=50\%$; $\alpha=0.05$
Error muestral	7,05
Trabajo de campo	junio-julio de 2022

Dado que la muestra es relativamente pequeña, se calculó la potencia estadística de la muestra a través del programa G*Power (Faul et al., 2009). Dicha potencia obtuvo un valor de 0,9774, superior al umbral mínimo establecido por Cohen (1992) de 0,80, lo que nos permite afirmar que la muestra utilizada en esta investigación posee una potencia estadística adecuada.

4.2. TÉCNICAS DE ANÁLISIS

Para el análisis de los datos y la contrastación de las hipótesis se ha utilizado la técnica estadística multivariante de ecuaciones estructurales Partial Least Square (PLS) de segunda generación, a través del software SmartPLS v. 4.0.8.7 (Ringle et al., 2022).

4.3. MEDIDAS DE LAS VARIABLES

Todos los ítems de la orientación emprendedora y del desempeño se han medido a través de una escala Likert de 7 puntos que iba de 1 (totalmente en desacuerdo) a 7 (totalmente de acuerdo).

4.3.1. VARIABLE INDEPENDIENTE: LA ORIENTACIÓN EMPRENDEDORA

Para medir la orientación emprendedora hemos utilizado 9 ítems que integran la innovación, la proactividad y la asunción de riesgos, según la escala propuesta por Miller (1983) modificada por Covin y Slevin (1989) y Covin y Miller (2014).

Tabla 1

Ficha técnica del trabajo de campo. Fuente. Elaboración propia.



4.3.2. VARIABLE DEPENDIENTE: EL DESEMPEÑO

En esta investigación hemos medido el desempeño de la empresa según la escala propuesta por Wiklund y Sheperd (2003); Naldi et al. (2007); Chirico et al. (2011); Kellermanns et al. (2012) y Kraus et al. (2012) y compuesta por 4 ítems.

4.3.3. VARIABLE DE CONTROL: TAMAÑO Y ANTIGÜEDAD

Como variables de control, siguiendo a Chrisman et al. (2005) se ha propuesto el tamaño (número de empleados) y antigüedad (número de años desde su constitución).

5. RESULTADOS

Para analizar los resultados se han seguido las recomendaciones de Barclay et al., (1995) y de Hair et al. (2017) de evaluar primero el modelo de medida para posteriormente evaluar el modelo estructural.

5.1. EVALUACIÓN DEL MODELO DE MEDIDA

Antes de proceder a la evaluación del modelo de medida debemos examinar qué tipo de variables son las que hemos utilizado en el modelo. Según las características de las variables consideradas, la innovación, la proactividad, la asunción de riesgos y el desempeño son variables reflectivas, ya que los diferentes ítems utilizados para su medición representan los efectos de la variable medida. Se trata de medidas con una larga tradición en las ciencias sociales y se basan directamente en la teoría clásica de test (Hair et al., 2017). La evaluación de modelo de medida nos permitirá comprobar que las variables utilizadas son consistentes y presentan niveles de validez convergente y discriminante adecuados a través de los siguientes indicadores (Barclay et al., 1995; Roldán y Sánchez-Franco, 2012; Hair et al., 2017):

5.1.1. CONSISTENCIA O FIABILIDAD INTERNA

La consistencia se puede analizar a través del Alfa de Cronbach y de la Fiabilidad Compuesta (Hair et al., 2017). Fornell y Larcker (1981) recomiendan que los valores de ambos indicadores sean superiores a 0,7. Los valores obtenidos superan dichos umbrales, por lo que las diferentes variables consideradas presentan una consistencia o fiabilidad interna adecuada (ver tabla 2).

Tabla 2

Evaluación del modelo de medida. Fuente. Elaboración propia.



5.1.2. VALIDEZ CONVERGENTE

La validez convergente se puede medir a través la fiabilidad, la comunalidad del indicador y la varianza extraída media (AVE)(Hair et al., 2017). En el primer caso, el valor de la carga debe ser superior a 0,708 (Hair et al., 2017). En el segundo, el valor de la comunalidad debe ser superior a 0,50 (Hair et al., 2017). En el tercero, se recomienda un valor del AVE por encima de 0,5 (Fornell y Larcker, 1981; Hair et al., 2017). Los valores obtenidos superan dichos umbrales, por lo que las diferentes variables consideradas presentan validez convergente (ver tabla 2).

5.1.3. VALIDEZ DISCRIMINANTE

Existe validez discriminante si las correlaciones entre cada par de variables no exceden del valor de la raíz cuadrada del AVE de cada variable. En la Tabla 3 se puede ver que se cumple tanto para los diferentes valores de la columnas como para los valores de las filas.



Por otro lado, existe validez discriminante si el índice HTMT (Heterotrait-Monotrait) es inferior a 0,85 (Henseler et al., 2015). En la Tabla 4 se observa que se cumple la condición señalada.

	Innovación	Proactividad	Asunción de riesgos	Desempeño
Innovación				
Proactividad	0,5752			
Asunción de riesgos	0,7075	0,5341		
Desempeño	0,4581	0,7643	0,3972	

Una vez comprobado que el modelo de medida posee fiabilidad y validez convergente y discriminante, es posible pasar a la evaluación del modelo estructural.

Tabla 3

Validez discriminante. Correlaciones y raíz cuadrada del AVE. Nota: (*) Los valores son la raíz cuadrada del AVE. Fuente. Elaboración propia.

Tabla 4

Validez discriminante. Ratio Heterotrait-Monotrait (HTMT). Fuente. Elaboración propia.

5.2. EVALUACIÓN DEL MODELO ESTRUCTURAL

La evaluación del modelo estructural parte del análisis de los coeficientes path, que según Chin (1998) y Hair et al. (2017) debe ser superior a 0,2. Si el valor es positivo, la influencia sería positiva. Si dicho valor es negativo, la influencia sería negativa. En nuestro caso, el modelo estructural confirma que la innovación, la proactividad y la asunción de riesgos influyen positivamente en el desempeño de las cooperativas agro-alimentarias, pues poseen coeficientes path positivos. En el caso de la innovación, el coeficiente path es de 0,507; en el caso de la proactividad es 0,4342 y en el caso de la asunción de riesgos el valor del coeficiente path es de 0,2356. Además, debemos comprobar que la influencia es significativa, para lo cual calculamos el valor de la t de Student a través de un procedimiento bootstrapping para t de 4.999 con una cola y un valor de $p < 0,001$. Como se puede ver en la Tabla 5 la influencia de las diferentes variables en el desempeño es significativa. Los datos anteriores suponen que las hipótesis formuladas se confirman (ver Tabla 5).

	Coefficiente path	Valor de t	Valor de p	Confirmación de hipótesis
Innovación	0,5070	6,3010	0,0000	H _{1,1} confirmada
Proactividad	0,4342	4,7231	0,0000	H _{1,2} confirmada
Asunción de riesgos	0,2356	9,0312	0,0000	H _{1,3} confirmada

La orientación emprendedora, a través de la innovación, la proactividad y la asunción de riesgos, es capaz de explicar el 41,55% de la varianza (ver Figura 2). Por lo tanto, la orientación emprendedora a través de las variables que la definen influye positivamente en el desempeño de las cooperativas agro-alimentarias. De las tres variables, la innovación explica el 44,2% de la variabilidad del desempeño de las cooperativas agro-alimentarias, la proactividad explica el 28,67% y la asunción de riesgos explica el 26,8%.

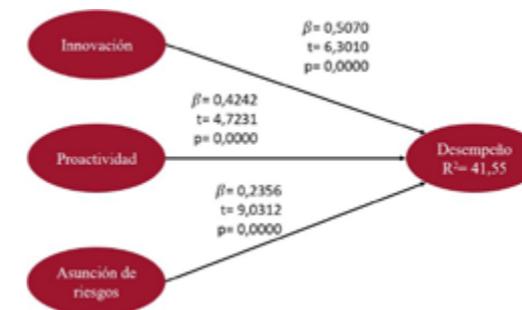


Tabla 5

Valores de los coeficiente path y nivel de significación. Confirmación de hipótesis. Fuente. Elaboración propia

Figura 2

Modelo estructural. Coeficientes path y varianza explicada. Fuente. Elaboración propia



Para completar el análisis del modelo estructural, calculamos la bondad del ajuste del modelo a partir del SRMR (raíz cuadrada media residual normalizada) propuesto por Hu y Bentler (1998) y Henseler et al. (2015). En nuestro caso, el valor del SRMR fue 0,054 (inferior a 0,08 recomendado por Henseler et al., (2015) como adecuado).

6. CONCLUSIONES, LIMITACIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Del trabajo realizado se desprenden dos conclusiones prácticas:

En primer lugar, la innovación, la proactividad y la asunción de riesgos influyen positivamente y de forma significativa en el desempeño de las cooperativas agro-alimentarias al ser capaces de explicar el 41,55% de la varianza del desempeño de las cooperativas agro-alimentarias. Además, la innovación es capaz de explicar, indirectamente, un 44,2% de la varianza de dicho desempeño.

En segundo lugar, podemos afirmar que las cooperativas agro-alimentarias son una buena forma para emprender, al quedar demostrado que son innovadoras, proactivas y aprovechan las oportunidades ante sus competidores, asumiendo los riesgos de sus acciones. Con lo cual, este modo de emprendimiento colectivo es idóneo para generar riqueza, bienestar y empleo en zonas rurales, eminentemente agrícolas.

Al realizar este trabajo hemos encontrado una serie de limitaciones, cuya solución permitirá avanzar hacia futuras líneas de investigación:

1. Así, la primera limitación se deriva de quién responde las diferentes preguntas de la encuesta enviada, pues el cuestionario se envió a los presidentes de los Consejos Rectores de las cooperativas agro-alimentarias de Castilla-La Mancha. Como solución se plantea la posibilidad de enviar a otros miembros del Consejo Rector e incluso a socios y así evitar el “sesgo de único informante”.

2. La segunda limitación es que este trabajo se ha centrado solo en cooperativas agro-alimentarias. Este tipo de cooperativas poseen unas características que les diferencia de otras cooperativas e incluso de otras entidades que integran la Economía Social.

Se proponen como líneas de investigación futuras:

1. Incluir a otros tipos de entidades de Economía Social para así comprobar si existe un comportamiento emprendedor heterogéneo y diferenciado según el tipo de entidad de Economía Social considerado.

2. Otra línea de investigación futura sería poder realizar estudios comparados de la capacidad emprendedora según el territorio, o para otros tipos de empresas, diferenciando entre empresas de capital y empresas de Economía Social.



7. AGRADECIMIENTOS

Llegados a este punto del trabajo, debo agradecer las facilidades y ayudas que he recibido de las personas que han colaborado conmigo para que esta investigación haya sido posible.

Consultar los agradecimientos.



BIBLIOGRAFÍA

Barclay, D., Higgins, C., & Thompson, R. (1995) “The partial least squares (PLS) approach to causal modeling: Personal computer adoption and use as an illustration”, *Technology Studies*, 2(2), pp. 285–309.

CEPES (2022). Estadísticas generales de la economía social. Disponible en: <https://www.cepes.es/estadisticas-generales-economia-social>. [Consultado 12-1-2023].

Consultar la bibliografía completa.



Efecto de la ansiedad sobre las vías moduladoras del dolor

/ TERCER PREMIO Y ESTANCIA CSIC

AUTOR | BRUNO BOLAÑO MOLEZÚN

COORDINADORA | MARÍA JESÚS MOURAZOS GONZÁLEZ

CENTRO | IESP EUSEBIO DA GUARDA

CIUDAD | A CORUÑA

RESUMEN |

Investigaciones previas sugieren que las emociones negativas incrementan la percepción del dolor. No obstante, apenas existe investigación explorando cómo afecta la inducción experimental de estados emocionales a los mecanismos anti-nociceptivos, que pueden ser evaluados mediante protocolos como la modulación condicionada del dolor (CPM).

El presente estudio busca aclarar si la inducción del estado emocional ansiedad afecta a los mecanismos de percepción y modulación del dolor. Por ello se evaluaron los umbrales de dolor por presión, sin y con protocolo CPM (utilizando agua fría), en 13 participantes jóvenes. Todas estas medidas se tomaron en línea base y después de 2 tareas, control (realización de una tarea de discriminación de figuras geométricas) y experimental (realización de la misma tarea simultáneamente a una tarea de resta de 7 en 7 e induciendo un estado de ansiedad). Para la inducción del estado de ansiedad se utilizaron imágenes y gritos desagradables durante la presentación de las figuras geométricas. La ansiedad se evaluó con el test STAI-estado. Para hacer los análisis se emplearon distintos test estadísticos. Como resultados se encontró que un aumento de la ansiedad reduce la efectividad de los mecanismos de modulación del dolor, mientras que no afecta al proceso de percepción del mismo. Tampoco se encontraron correlaciones significativas entre la ansiedad y la eficacia del CPM, posiblemente debido a diferencias individuales.

Así pues se concluye que los centros emocionales modulan las vías descendentes nociceptivas, pero no las ascendentes, y que esta modulación depende de factores personales.

Palabras clave: Modulación condicionada del dolor (CPM), vías moduladoras nociceptivas, ansiedad, umbral de dolor.

ABSTRACT |

Previous papers suggest that negative emotions increase pain perception. However, there is barely any research exploring how emotions created experimentally affect anti-nociceptive mechanisms, which can be evaluated through protocols such as conditioned pain modulation (CPM).

This study intends to clarify if the creation of an anxious emotional state affects the perception and modulation of pain. For this reason, the pain thresholds by pressure were measured in 13 young participants, with and without CPM (using cold water as the conditioning stimulus). All of these measures were taken at baseline and after two tasks, control, where participants had to differentiate various shapes, and experimental, the same task but with an extra task of subtracting by 7, and stressful *stimuli*.

These stimuli were unpleasant images and screams which were shown and heard during the task. The anxiousness was measured by the STAI-state test. Then, various statistical tests were used for the data analysis. The results notice that an increase in anxiety reduced the effect of the pain modulatory mechanisms, while it didn't affect pain perception itself.

Moreover, no significant correlation between anxiety and CPM efficacy was found, probably due to individual differences. Therefore, it can be concluded that emotional centers regulate the descending nociceptive pathways, but not the ascending ones, and this modulation depends on individual factors.

Keywords: Conditioned Pain Modulation (CPM), modulatory nociceptive pathways, anxiety, pain threshold.



1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

La Asociación Internacional para el estudio del dolor (IASP: International Association for the Study of Pain) define el dolor como “Una experiencia sensorial y emocional desagradable asociada con, o parecida a la asociada con, daño tisular real o potencial” (Raja et al., 2020). Entendemos el dolor como una experiencia compleja en la que influyen las variables sensoriales y emocionales inter e intrapersonales, así como el contexto social y el estado psicológico de la persona (Bushnell et al, 2013; Graig, 2015; Peters, 2015). Aunque el dolor no provoca la muerte por sí solo, limita la calidad de vida (QoL: Quality of life), siendo la causa más común de invalidez en Europa (Barbaglia et al, 2017).

Los mecanismos que subyacen a la experiencia de dolor incluyen cuatro etapas: la transducción, la transmisión, la percepción y la modulación. La transducción es el proceso por el cual los estímulos externos mecánicos, térmicos o eléctricos se convierten en potenciales de acción mediante la acción de los nociceptores presentes en la piel y en los órganos internos. Los nociceptores son terminaciones nerviosas libres de las fibras A δ y C que responden a estímulos en rangos de intensidad extremos, potencialmente dañinos (Basbaum y Jessell, 2000; Plaghki et al, 2018). La primera sensación de dolor se transmite por las fibras A δ , más rápidas. Los somas de estas neuronas aferentes (nociceptores) se encuentran en el ganglio de la raíz dorsal de la médula espinal (DRG; Dorsal Root Ganglion) y luego hacen sinapsis con una segunda neurona en la asta dorsal de la médula espinal (DH; Dorsal Horn) para transmitir la información hacia las estructuras supramedulares.

La segunda neurona de la asta dorsal proyecta su axón a través de distintas vías ascendentes hacia los centros superiores, donde se genera la percepción compleja del dolor. De entre esos centros, los núcleos del tálamo tienen un papel muy relevante.

Por último, mediante vías descendientes inhibitorias o facilitadoras, se modulan las vías aferentes del dolor. La más importante es la que incluye la sustancia gris periacueductal (SGP), el bulbo rostro ventral (RVM: Rostro Ventral Medulla) y el asta dorsal de la médula espinal (DH) (Plaghki et al, 2018; Carpi y Carrió, 2022; Serra et al, 2022), la cual se comunica o bien con la sinapsis entre la primera y segunda neurona mediante opioides, noradrenalina y serotonina, o bien con una interneurona que modula a las neuronas anteriores.

Además, la SGP recibe inputs de áreas corticales relacionadas con las emociones como la región cingulada anterior (ACC: anterior cingulate cortex), el córtex prefrontal, la amígdala o el hipocampo, lo cual explica la existencia de un control emocional del dolor (Wieser y Pauli, 2016). De hecho, múltiples estudios de neuroimagen muestran que la actividad en centros corticales relacionados tanto con la percepción de dolor como con el procesamiento de las emociones, como son la ínsula o la ACC, es alterada bajo distintos estados emocionales



(Mercer et al, 2021) de forma que la sensación de dolor es aumentada cuando se experimentan emociones negativas, y disminuida con emociones positivas (Villemure y Bushnell, 2002).

Teniendo en cuenta todos los mecanismos mencionados anteriormente, el estudio del dolor debe abordarse desde una metodología y perspectiva multidisciplinar (Samartín-Veiga et al, 2022). Para lograr esto, es preciso crear un perfil nociceptivo personal del paciente, que nos aporte información sobre el funcionamiento de las fibras A δ y C y las vías aferentes y descendentes (Starkweather et al, 2016). Y a este respecto, los métodos de evaluación sensorial cuantitativa (QST: Quantitative sensory testing) mediante pruebas no invasivas, nos permiten caracterizar estos mecanismos pronociceptivos y antinociceptivos (Rolke et al, 2006; Mackey, et al, 2017). Entre estas técnicas destaca la modulación condicionada del dolor (CPM: conditioned pain modulation) (O'Brien et al, 2018).

El protocolo de CPM se basa en el control nocivo difuso inhibitorio (DNIC) observado en modelos animales (Dickenson et al, 1980; Le Bars et al, 1979), mediado por un circuito cerrado espino-bulbo-espinal (Bingel y Tracey, 2008). Durante esta prueba se aplica un estímulo una vez, por sí solo, y una segunda vez, durante o inmediatamente después de un estímulo condicionante en una parte alejada del cuerpo, registrándose el umbral de dolor en ambos casos. El efecto esperado es que el umbral sea mayor tras el estímulo condicionante, ya que éste activa los sistemas de modulación endógena del dolor y, por lo tanto, aumenta el umbral (Yarnitsky, 2010; Yarkitsky, 2015).

Estas pruebas nos permiten, además, analizar la influencia de variables emocionales (en el caso del presente estudio, la ansiedad) sobre las vías descendentes de la nocicepción. Llevándolas a cabo una primera vez para obtener los valores personales de CPM para cada sujeto, y una segunda vez, después de la inducción emocional.

Con todo lo dicho, aunque hay estudios de neuroimagen que sugieren que las emociones negativas pueden provocar un aumento de las sensaciones dolorosas (Bushnell, 2013), hay pocos estudios que han analizado la relación del estado emocional (por ejemplo, la ansiedad) y la efectividad de los mecanismos de modulación del dolor, con resultados que no permiten extraer ninguna conclusión significativa (Mertens et al, 2020). Tampoco se han encontrado estudios que analicen si las diferencias individuales en ansiedad correlacionan con los mecanismos de modulación condicionada y percepción del dolor. Así pues, los resultados de este estudio pueden contribuir a aclarar esta conexión, mejorando nuestro entendimiento del sistema nociceptivo, y permitiendo el desarrollo de mejores y más novedosas terapias contra las patologías relacionadas con éste, mejorando así la calidad de vida de las personas afligidas con esta condición.



2. HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

El objetivo principal de este estudio fue comprobar si la ansiedad modula los umbrales de dolor, y la modulación condicionada del dolor (mecanismo anti-nociceptivo). Un objetivo secundario fue relacionar los niveles de ansiedad experimentados con la modulación condicionada del dolor.

Las hipótesis de partida fueron las siguientes:

1. La inducción de ansiedad (condición experimental) reducirá los umbrales de dolor en comparación con una condición control.
2. La inducción de ansiedad afectará negativamente a la modulación condicionada del dolor (es decir, no se observará un efecto CPM).
3. Niveles mayores de ansiedad (medida por el test STAI-estado) se relacionarán con un menor efecto de modulación CPM.

3. MATERIALES Y MÉTODO

3.1. DISEÑO DEL ESTUDIO Y PARTICIPANTES

Este estudio piloto se llevó a cabo en el Laboratorio Cerebro y Dolor del departamento de Psicología clínica y Psicobiología de la USC con la aprobación del SERGAS (CEIC-Santiago-Lugo; Código: 2020/093).

Se seleccionaron 13 participantes estudiantes de la USC, todas mujeres de edades entre los 21 y los 24 años. Se comprobó que las participantes cumplían con los criterios de inclusión y no de exclusión del estudio (ver Anexo B). Antes de empezar los experimentos dieron su consentimiento informado por escrito.

3.2. MEDIDA DE LOS UMBRALES DE DOLOR, ESTÍMULO CONDICIONANTE (CS) Y MEDIDA DE LA CPM

Para medir el umbral por presión se utilizó un algómetro digital sobre el músculo extensor radial del brazo dominante. Se pedía a la persona que pulsase un botón en el momento que comenzase a experimentar molestia o incomodidad. Se tomaron las medidas de kPa de presión durante 3 ensayos, con 20 segundos de descanso entre ellos, y se calculó la media para obtener el umbral.

Para obtener la medida de CPM, se utilizó como estímulo test (TS) la presión provocada por el algómetro y como estímulo condicionante (CS) el sumergimiento de la mano no dominante en un tanque de agua fría a 8 °C durante unos 90s. A las participantes se les iba preguntando cuánto dolor sentían en la mano inmersa. Cuando indicaban un valor cercano a 7/10, se medía el umbral del dolor en el brazo contralateral, también 3 veces. Se comparó la media del umbral observado antes y después del estímulo condicionante (mano en nevera).



3.3. MEDIDA DE LA EFICACIA DE LA CPM

Para medir si la CPM tiene el efecto esperado de aumentar el umbral de dolor se considera que la CPM es eficaz en los participantes en los que el resultado de la fórmula recogida en la bibliografía sea positivo (Mertens et al, 2020; Locke et al, 2014; Graeff et al, 2022).

3.4. PROCEDIMIENTO

El protocolo original se incluye en el Anexo B (nótese que el estudio presente es sólo parte del mismo)

Para obtener la línea base, se estimó el umbral del dolor de cada participante y después se procedió a aplicar el protocolo de CPM. Tras unos minutos las participantes realizaban el cuestionario STAI (Spielberger, 1983) para medir el grado de ansiedad-estado.

Después de 5-10 min, se iniciaba la presentación de las condiciones experimentales, contrabalanceando el orden de presentación (para la mitad de las participantes, primero control, luego experimental; para la otra mitad, al revés). En ambas condiciones se volvió a medir el umbral de dolor sin y con CPM y se valoró el grado de ansiedad con el cuestionario STAI.

En la tarea control, se presentaban distintas figuras geométricas y las participantes sólo tenían que responder al triángulo azul. En la condición experimental debían responder a triángulos rojos, a la vez que restaban de 7 en 7. Se les indicaba que entre las figuras iban a aparecer imágenes y sonidos desagradables, dirigidos a inducir un episodio agudo de ansiedad. Para potenciar el efecto emocional negativo, al final de la tarea se le decía que lo había hecho mal y que había que repetir la tarea.

3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis de los valores atípicos y la normalidad se utilizó el test de Shapiro-Wilk. Inicialmente, se analizó si el orden de presentación de las condiciones (control y experimental) pudo influir en los resultados y si la condición experimental fue efectiva para provocar ansiedad, mediante t de Student y pruebas no paramétricas (rangos con signo de Wilcoxon). Además, se analizó si el procedimiento CPM fue eficaz para todos los participantes (comparación de umbrales de dolor antes y después del estímulo condicionante), eliminando de los análisis posteriores a aquellos participantes que no mostraban efecto CPM.

Para el objetivo principal del estudio, observar si había diferencias significativas entre las condiciones control vs. experimental en los umbrales de dolor y la CPM, se utilizó también la prueba t de Student pareado y el test no paramétrico de rangos con signo de Wilcoxon para dos muestras relacionadas.



Finalmente, para el segundo de los objetivos, valorar la relación de la ansiedad con el umbral del dolor y el CPM, se realizó el análisis de correlación de Spearman.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 RESULTADOS

4.1.1. DATOS ATÍPICOS Y NORMALIDAD

Mediante la prueba Shapiro-Wilk se comprobó la normalidad de las series de datos, de las cuales, solo dos de las variables analizadas (umbral tras CPM en línea base, y umbral de dolor en condición control) dieron un resultado positivo. Por este motivo se emplearon la prueba t de Student y el test no paramétrico de rangos con signo de Wilcoxon para dos muestras dependientes en los análisis posteriores.

4.1.2. ORDEN DE REALIZACIÓN DE TAREAS

Antes de proceder al análisis del efecto de la inducción de ansiedad, se comprobó si el orden de presentación de las condiciones (grupo 1 vs. grupo 2) influía en los resultados. Únicamente se detectó una diferencia significativa entre ambos grupos en umbral-CPM medido en línea base, que no se tuvo en cuenta debido a que aún no se había realizado ninguna tarea, por lo que se procedió a trabajar con todos los datos en conjunto, sin diferenciar grupos.

4.1.3. EFICACIA DE LA CONDICIÓN EXPERIMENTAL PARA LA INDUCCIÓN EMOCIONAL (ANSIEDAD)

Para demostrar si la condición experimental inducía un estado de ansiedad en los participantes se compararon los datos del STAI-C (condición control) y del STAI-E (condición experimental). El resultado de la prueba de Wilcoxon indicó una diferencia significativa entre ambas condiciones. Este resultado fue confirmado por la prueba t-Student. En el anexo A se presentan los resultados gráficos.

Además, se compararon también los datos del STAI-B y del STAI-C, a fin de corroborar si la tarea control generaba algún tipo de ansiedad. Los resultados tanto de la prueba Wilcoxon como del test t de Student para pares indican que no hubo diferencias significativas entre ambas condiciones.

4.1.4. EFICACIA DE LA CPM

Inicialmente, se midió la eficacia de la CPM en línea base o control, observándose que este efecto no aparecía para los participantes 4, 10 y 12, por lo que se rechazaron para el análisis de efecto de la ansiedad sobre la eficacia de la CPM. Combinando los resultados de línea base y control, un 77 % de participantes presenta efecto CPM.



4.1.5. INFLUENCIA DE LA ANSIEDAD EN EL UMBRAL DE DOLOR Y LA CPM

En los resultados se puede observar como en las series sin CPM el umbral se mantuvo constante, mientras que en aquellas con CPM, el umbral fue máximo en la línea base, medio en la tarea control y mínimo en la tarea experimental. Es decir, se observa que el efecto CPM está atenuado en la tarea experimental, en relación con las otras dos condiciones

Se realizaron análisis estadísticos para comparar los datos de UD y UD-CPM después de las condiciones control (C) y experimental (E), teniendo en cuenta que para el análisis de la CPM se excluyeron los datos no válidos. La prueba de rango con signo de Wilcoxon indica que para el UD hay una diferencia no significativa entre el UD-E y el UD-C, mientras que sí hay una diferencia significativa entre UD-CPM-E y UD-CPM-C siendo los resultados primeros menores. Resultados que corroboran los hallados en el test t que indica que entre el UD-C y el UD-E la diferencia no es significativa. Sin embargo, hay una diferencia media significativa entre el UD-CPM-C y UD-CPM-E. Es decir, se confirma que en la condición experimental el efecto CPM fue atenuado.

4.1.6. CORRELACIÓN ENTRE PERCEPCIÓN DE ANSIEDAD Y MEDIDAS UD Y UD-CPM

Por último, tras eliminar los participantes con datos atípicos (8) y los participantes sin datos, los resultados del test de correlación de Spearman entre los resultados STAI y UD y entre los resultados STAI y UD-CPM respectivamente indican que existe una relación positiva media significativa entre STAI y UD, ($r(28) = .368, p = .045$), mientras que hay una relación positiva muy pequeña no significativa entre los resultados del STAI y UD-CPM ($r(27) = .05, p = .797$).

En el anexo A se muestran las figuras correspondientes de todos los análisis estadísticos.

4.2 DISCUSIÓN

El objetivo de este estudio era confirmar la relación entre la ansiedad y los índices de percepción y modulación del dolor. Para conseguir este propósito se comenzó comprobando que el orden de realización de las condiciones control y experimental (inducción emocional) no alteraba los resultados. Además, se verificó que el diseño de la condición experimental era efectivo para provocar ansiedad en los participantes. Estos resultados verifican la fiabilidad del método empleado para generar ansiedad sobre los participantes (Horn- Hofmann et al, 2016; Nahman-Averbuch et al, 2016).

Así mismo, este trabajo corrobora investigaciones anteriores que indican la existencia de CPM (Geva y Defrin, 2018). No obstante, los resultados también muestran que algunos sujetos no presentan efecto CPM positivo (23%), como



apuntan un volumen cada vez mayor de estudios (Graeff et al, 2022; Kennedy et al, 2016; Vaegter et al, 2020; Keneddy et al, 2020; Lukacs et al, 2022).

Es posible que estas diferencias de efecto CPM se deban a diferencias fisiológicas o genéticas. Se sugiere que factores individuales como la edad, el sexo o la genética pueden jugar un papel en la CPM (Hermans, 2016), pero aún se necesitan más estudios para aclarar su contribución. Los resultados que aquí se presentan constatan que en humanos también actúan mecanismos inhibitorios descendentes que modulan la percepción del dolor. Si bien aún no está claro el detalle del funcionamiento de estas vías, autores anteriores observaron mediante resonancia magnética nuclear (RMN) que la ruta más importante es la que une la materia gris periacueductal con el cuerno dorsal de la médula espinal a través del bulbo rostroventral (vía SGP-RVM-DH) (Serra et al, 2022).

En cuanto al efecto de la ansiedad sobre la percepción del dolor, los resultados mostraron que la inducción de un estado de ansiedad redujo la efectividad del efecto de la CPM. No obstante, la condición no tuvo un efecto directo sobre el umbral de dolor por sí mismo. Así, se ha observado que en personas que sufren ansiedad (Defrin et al, 2015) u otros trastornos psicológicos como depresión (Klaunberg et al, 2008; Thompson et al, 2016) y en personas sanas que experimentan emociones poco agradables (Rhudy et al, 2005; Hubbard et al, 2011), a medida que la valoración del grado de ansiedad es mayor, la percepción del dolor y algunas medidas de la modulación endógena del dolor parecen desregularse (Tavares et al, 2020), aunque existen discrepancias en la literatura (Graeff, et al, 2022; Nahman-Averbuch et al 2016; Defrin et al, 2015; Iliffe et al, 2009; Varallo et al, 2020; Vaegter et al, 2020).

Los resultados de esta investigación sugieren la ausencia de una influencia directa de la ansiedad sobre las vías ascendentes de la transmisión de la nocicepción, mientras que demuestran que la ansiedad puede reducir la actividad de los mecanismos descendentes de modulación del dolor. Estos datos avalarían la existencia de conexiones entre centros emocionales y estas vías nociceptivas descendientes reguladoras.

Por otro lado, encontramos que la ansiedad y la reducción de la efectividad CPM no muestran una correlación significativa. Este resultado podría ser debido a la variabilidad inter-sujetos, y la posible influencia de otras variables personales.

Así pues, y en línea con lo expuesto por Nir & Yarnitsky en 2015, este estudio da validez a la utilización de la ansiedad como factor predictor de futuras respuestas individuales ante estados de dolor. Por último, otros estudios podrían buscar los factores que determinan la relación ansiedad-CPM con el fin de entender mejor estas las vías nociceptivas moduladores descendentes y su relación con los centros encefálicos emocionales, además de investigar sus posibles aplicaciones en el estudio del dolor, dolor crónico y mejora de la calidad de vida de los millones de personas que lo sufren diariamente.



5. CONCLUSIONES

- a. El orden de las condiciones (control vs. experimental) no afecta de manera significativa a los resultados.
- b. La tarea experimental consigue inducir un nivel de ansiedad significativamente mayor que la control.
- c. No todas las personas presentan efecto de modulación condicionada del dolor (CPM).
- d. Se comprueba que la ansiedad disminuye la eficacia de la CPM pero no el umbral de dolor.
- e. Por lo tanto se concluye que la inducción de un estado de ansiedad disminuye la eficacia de las vías descendentes moduladoras del dolor pero que no lo hace en la misma magnitud en todas las personas

6. AGRADECIMIENTOS

Querría agradecer al IESP Eusebio Da Guarda por darme la oportunidad de participar en el proyecto STEMbach, a mi co-tutora María Teresa Carrillo de La Peña y a su equipo del grupo de investigación de Neurociencia Cognitiva Aplicada e Psicoxerontología de la USC y también a mi tutora María Jesús Mourazos González por guiarme durante la producción de este estudio.

7. BIBLIOGRAFÍA Y ANEXOS





El veto parental: ¿demanda de las familias o política en las aulas?

/ ACCÉSIT

AUTORA | ARANTXA YELO GARRIDO

COORDINADORA | JOSEFA CELDRÁN GADEA

CENTRO | IES DR. PEDRO GUILLÉN

CIUDAD | ARCHENA-MURCIA

RESUMEN |

El presente proyecto de investigación pretende conocer si los padres de los alumnos/as del IES Dr. Pedro Guillén de Archena consideran necesaria la medida del veto parental en la educación de sus hijos/as y cuál es la postura de estos acerca de esta medida a través de una encuesta. Además, se pretende conocer las posturas que sobre dicha medida mantienen cada una de las formaciones políticas del municipio de Archena.

Con el propósito de acercarnos a la controversia que se ha generado en torno al pin parental, tanto a nivel nacional como internacional, hemos investigado acerca de su implantación en las comunidades autónomas de nuestro país, a nivel europeo y a nivel mundial; hemos investigado las distintas posturas que manifiestan diversos expertos sobre el tema; y, también, hemos conocido la opinión de esta medida que mantienen las distintas AMPAS de la Región de Murcia.

En la realización de este proyecto, se ha investigado sobre cuál fue el origen del pin parental y quiénes han sido sus precursores. También, hemos conocido los fundamentos jurídicos en los que se basan los defensores y detractores de esta medida. Por otro lado, hemos establecido una comparativa entre las diferentes leyes educativas que se han implantado en nuestro país y el papel que se les otorga a los padres. Para alcanzar nuestro objetivo, hemos analizado las distintas respuestas obtenidas de las encuestas realizadas a padres de los alumnos del IES Dr. Pedro Guillén y en las entrevistas realizadas a los representantes políticos de Archena.



ABSTRACT |

This research project aims to know if the parents of the students of the IES Dr. Pedro Guillén de Archena consider the parental veto measure necessary in the education of their children and what is their position on this measure to through a survey. In addition, to know the positions that each of the political formations of the municipality of Archena maintains on said measure.

In order to approach the controversy that has been generated around the parental pin, both nationally and internationally, we have investigated its implementation in the autonomous communities of our country, at European and global level; we have investigated the different positions expressed by various experts on the subject; and, also, we have been able to know the opinion that on the parental veto maintain the different AMPAS of the Region of Murcia.

In carrying out this project, the origin of the parental pin and who its precursors have been investigated. Also, we have known the legal foundations on which the defenders and detractors of this measure are based. On the other hand, we have established a comparison between the different educational laws that have been implemented in our country and the role given to parents. To achieve our objective, we have analyzed the different answers obtained from the surveys carried out with parents of the students of the IES Dr. Pedro Guillén and in the interviews carried out with the political representatives of Archena.



1. INTRODUCCIÓN

El diccionario de la RAE recoge la palabra pin (procedente del inglés Personal Identification Number) para referirse a la contraseña alfanumérica precisa para acceder a algunos dispositivos electrónicos. En sentido metafórico se empezó a emplear para designar la autorización expresa de los padres para que sus hijos participen en determinadas actividades escolares.

El pin parental surge como tema educativo en el curso 2019-2020, al ser una propuesta que VOX planteó en su programa electoral de 2018. Esta medida divide a políticos y ciudadanía, entre los que la consideran una medida en contra de los derechos de los menores a una educación basada en valores democráticos, y quienes defienden que los padres deben tener libertad para elegir los contenidos ideológicos o morales que reciben sus hijos en las aulas.

El debate se basa en la interpretación que se hace de las actividades complementarias y las extraescolares, aunque aparecen definidas en el Decreto de 2015 del currículo de ESO y Bachillerato. Las actividades complementarias completan el currículo académico, se realizan dentro del horario escolar y son evaluables. Las actividades extraescolares se realizan fuera del horario escolar y no son evaluables. Los defensores del pin parental las consideran iguales mientras que los detractores se cuestionan el derecho de los padres a vetar la asistencia de sus hijos a unas actividades evaluables y, por tanto, obligatorias.

2. OBJETIVOS

Como objetivo principal: **Conocer la postura que sobre el denominado “veto parental” mantienen los padres del IES. Doctor Pedro Guillén de Archena.** Como objetivos específicos proponemos:

1. Conocer la postura que expertos y asociaciones de padres mantienen sobre el tema
2. Investigar la presencia de esta medida en las distintas CCAA, en Europa y en el mundo
3. Constatar cómo se recoge la participación de las familias en las distintas Leyes educativas
4. Conocer el ámbito jurídico en el que se basan detractores y defensores del pin parental
5. Recoger la postura que las distintas fuerzas políticas del municipio mantienen sobre esta medida
6. Analizar y valorar los resultados obtenidos sobre los cuestionarios realizados por las familias de nuestro centro



3. ESTADO DE LA CUESTIÓN.

3.1. LEYES EDUCATIVAS: PARTICIPACIÓN DE LAS FAMILIAS

En España, la educación es un derecho reconocido en la Constitución de 1978. En 1970, se implantó la primera ley educativa, a la que han seguido siete cambios legislativos y, por último, la LOMLOE que ha entrado en vigor durante este curso. Como vemos, en esta tabla comparativa, en las últimas cinco décadas todas las leyes educativas hacen referencia a la participación de las familias en la educación. Estas referencias han ido evolucionando llegando así a la LOMLOE actual, donde se recoge como una obligación de las familias la participación en la educación de sus hijos.

Tabla 1

Distintas leyes educativas. Fuente: elaboración propia

	LGE 1970	LOECE 1980	LODE 1985	LOGSE 1990	LOPEG 1995	LOCE 2002	LOE 2006	LOMCE 2013	LOMLOE 2020
Reconocimiento de la importancia de los padres	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
Regulación de las AMPAS	---	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
AMPAS organizadoras de actividades	---	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
AMPAS presentes en los órganos del gobierno	---	Consejo de dirección	Sí	Sí	Sí	Limitado	Limitado	Limitado	Sí

3.2. POSTURAS ANTE EL VETO PARENTAL

La primera persona que acuña el término “pin parental” es Antonio de Miguel, profesor y concejal de VOX en Guadalajara, quien en 2018 diseñó la medida para hacer frente, según esta formación política, al adoctrinamiento en ideología de género que sufrían los menores en los centros educativos. En la Región de Murcia, Alfonso Galdón, profesor y presidente del Foro de la Familia fue el impulsor de la medida.

Los defensores de la propuesta como D. Javier Urra y la CONCAPA o la FAPA de San Javier defienden que los padres tienen derecho a conocer con antelación qué contenidos se van a impartir en esas actividades y quién las va a realizar.

Los detractores como distintos pedagogos, la CEAPA y la FAPA de Murcia, mantienen que el “pin parental” no es un derecho de la libertad de los padres porque no tiene en cuenta el principio de los poderes públicos que es “el bien superior del menor.”



En cuanto a los **fundamentos jurídicos** hay que indicar que el “pin parental” no está regulado por ninguna ley, por lo que las dos posiciones se centran en el **Artículo 27 de la Constitución Española**. Los defensores inciden en el apartado 3, donde se garantiza a los padres que sus hijos/as recibirán una formación religiosa y moral conforme a sus convicciones; mientras que los detractores lo hacen en el **apartado 1 y 2** donde se indica que la Educación se basará en el respeto a los principios democráticos y a los derechos y libertades fundamentales.

El “pin parental” sí está regulado en una **Instrucción** que dictó la **Consejería de Educación de Murcia en 2019** en la que obliga a los centros a que pidan autorización a los padres para aquellas "actividades complementarias" que sean impartidas "por personas ajenas" al centro.

3.3. EL VETO PARENTAL EN LAS DIFERENTES PARTES DEL MUNDO

A nivel nacional solo en la Región de Murcia y en Madrid ha sido implantado el pin parental (en color rosa), en color azul claro, aparecen las Comunidades Autónomas que han tratado la propuesta, aunque no ha sido aprobada y en el resto de las comunidades, donde ni siquiera se ha debatido.

En cuanto al resto de países podemos observar en color verde, Brasil, donde esta medida se implantó en 2014 pero hoy en día no sigue vigente. En color marrón, países como Indonesia o Austria, en los que encontramos una ley semejante. En color rosa, países como México y Estados Unidos donde se ha propuesto en algunos estados medidas parecidas. En color azul oscuro, países como Argentina, España y Hungría, que han implantado el pin parental en algunas de sus regiones o comunidades, mientras que, en el resto de los países, en color azul claro, no se ha implantado ninguna medida de este tipo.

Mapa 1

Implantación del “pin parental” en España. Fuente: elaboración propia

Mapa 2

Pin parental en otros países. Fuente: elaboración propia



4. METODOLOGÍA

Para llevar a cabo este proyecto, mi trabajo queda estructurado de la siguiente manera:

Antes de comenzar seleccioné una línea de investigación. Posteriormente, llevé a cabo una recopilación de fuentes bibliográficas. En el apartado de “Antecedentes” realicé una investigación sobre el estado de la cuestión. Después, realicé unas entrevistas para conocer la opinión de las distintas fuerzas políticas del municipio. A continuación, diseñé y pasé unas “encuestas” dirigidas a las familias de los alumnos/as de nuestro centro. Por último, realicé un “Análisis de los resultados” llegando a una serie de “Conclusiones”.

5. RESULTADOS

Para mi investigación entrevisté a los **representantes de los partidos políticos** de Archena: PP, PSOE, VOX y UP. El objetivo de estas entrevistas era conocer la postura que sobre el tema del pin parental mantenían los distintos partidos. Se trata de una entrevista de realización propia, con 12 preguntas concretas.

Y respecto a las **encuestas realizadas a las familias**, la muestra utilizada ha sido de 263 encuestas. Se trata de una encuesta de elaboración propia formada por 15 preguntas que darán respuesta a los objetivos planteados.

5.1. ENTREVISTAS

En cuanto a las entrevistas les planteé las mismas preguntas a todos los políticos cuyas respuestas he plasmado en esta tabla.

VOX, partido que promueve esta medida, se muestra a favor considerando que garantiza la elección de los padres de la educación que consideran más completa para sus hijos, además, vuelve a incidir en el posible adoctrinamiento de estas actividades.

El **Partido Popular**, considera que la decisión de los padres para la asistencia es lo que siempre debe primar.

El **PSOE** se muestra rotundamente en contra. Considera que se trata de un veto de los partidos políticos de derechas para impedir la formación integral y democrática del alumnado, independientemente de la ideología política o creencias religiosas de sus padres. Por último, **Unidas Podemos** también considera que se trata de una oposición al conocimiento democrático recogido en la Constitución.

Tabla 2

Comparativa de las respuestas de las distintas fuerzas políticas.
Fuente: elaboración propia

				
¿Qué entiende por educar?	Es crear la base del ser humano.	Es la formación académica y en valores de la persona.	Es la adquisición de valores y hábitos de trabajo.	
Deficiencias del actual sistema educativo español	Los cambios continuos de Leyes educativas.	Los cambios continuos de Leyes educativas, la ratio en las aulas y la pérdida de la Educación en valores.	Los cambios continuos de Leyes educativas.	
¿Es el pin parental una medida demandada por las familias del municipio?	No	No	No	No
¿Han recibido quejas por actividades extraescolares realizadas en los centros educativos del municipio?	No	No	No	No
El "pin parental" protege o vulnera los derechos de los alumnos.	Protege ante agentes externos que intenten adoctrinar	Vulnera la formación en valores de los alumnos	Protege ante conocimientos que se pueden inculcar antes de la edad necesaria.	Vulnera el derecho a la integridad de la persona
¿Cuál es la postura de su formación política sobre el "pin parental"?	A FAVOR, la decisión de los padres debe primar.	EN CONTRA	A FAVOR	EN CONTRA

5.2. ENCUESTAS

Respecto a las encuestas realizadas a las familias, voy a comentar los resultados más relevantes.

En primer lugar, les pregunté a los **padres por su relación con los tutores de sus hijos**. Estas gráficas nos indican el porcentaje de padres que suelen asistir a dichas reuniones es superior al 50%. Este es, por tanto, uno de los cauces que les permite estar informados de cualquier actividad.

Gráfica 1

Asistencia de los padres a reuniones con el tutor.
Fuente: elaboración propia



También les pregunté si se **consideraban bien informados con las medidas que se utilizaban antes del pin parental**, vemos en la gráfica como más del 75 % responden afirmativamente.



Esta opinión se refuerza el preguntar sobre el **diseño de los documentos informativos** y, como vemos, supera el 50% la consideración de que sí estaban bien diseñados y, por tanto, se consideraban suficientemente informados de las actividades que se iban a realizar.

Gráfica 3

Diseño de los documentos informativos Fuente: elaboración propia



Pregunté, a continuación, por su **participación tanto en el AMPA como en las votaciones para sus representantes al Consejo Escolar**. Aquí los resultados son llamativos puesto que con estas dos actividades pueden estar perfectamente informados, sin embargo, su participación no llega al 50%.

Gráfica 4

Participación de las familias tanto en el AMPA como en el Consejo Escolar. Fuente: elaboración propia



He preguntado también sobre los **temas que vetarían** en esas actividades. Es muy significativo que el 79% de las familias indiquen que no vetarían ningún tema. Los que sí lo harían vetarían, en primer lugar, actividades relacionadas con temas políticos y religiosos; en segundo, con temas relacionados con las fuerzas armadas y asociaciones como ONGS; y, por último, temas relacionados con la educación afectivo-sexual, precisamente la temática en la que se centran los defensores del pin parental para considerarlo una medida necesaria en los centros educativos.

Gráfica 5

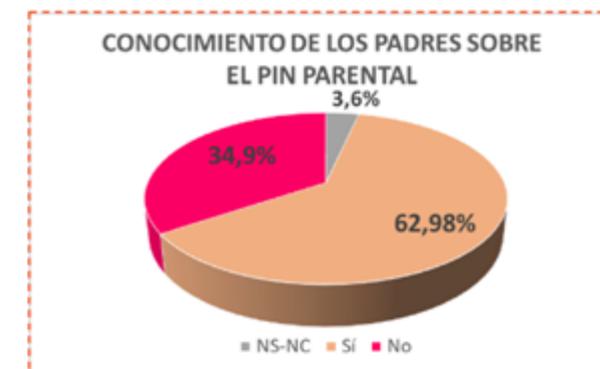
Temas que vetarían los padres Fuente: elaboración propia



Pregunté también sobre el **conocimiento real que tienen los padres de nuestro centro sobre esta medida**. En los resultados obtenidos destaca que más del 50% de los padres conocen la medida.

Gráfica 6

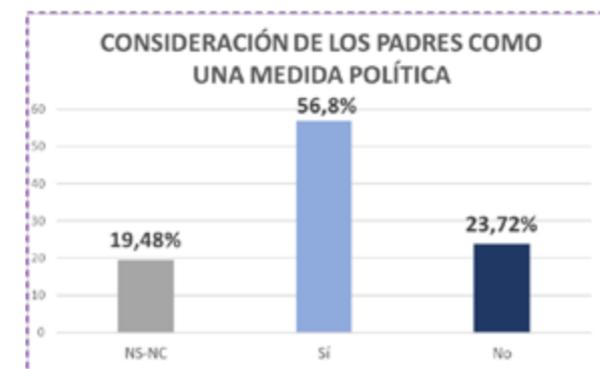
Conocimiento de los padres sobre el pin parental. Fuente: elaboración propia



Respecto a si los padres consideran que el "pin parental" es una **medida política o educativa**. Hay que destacar que más del 50% de los encuestados consideran que es una medida política.

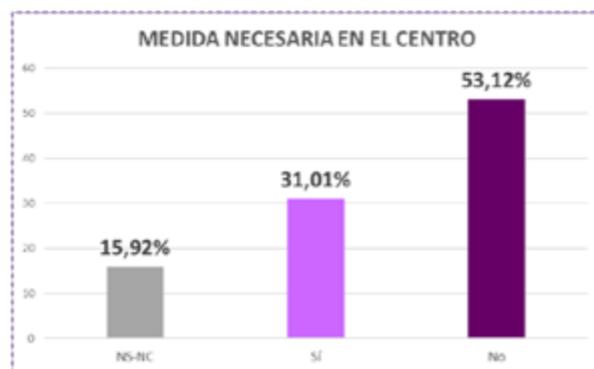
Gráfica 7

El pin parental como medida educativa o política Fuente: elaboración propia





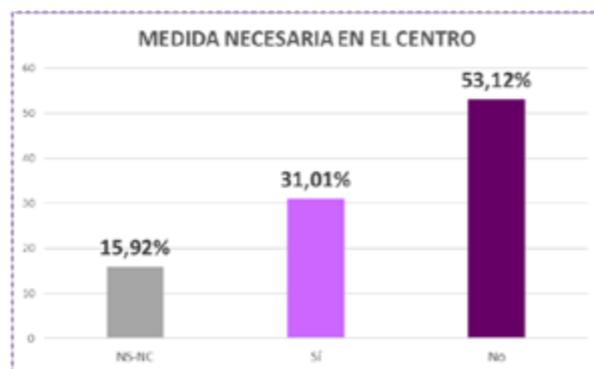
En cuanto a si los padres consideran el “pin parental” una **medida necesaria en nuestro centro**. Según nuestras gráficas, más del 60 % de las familias consideran que no es necesario, aunque es significativo aquí el porcentaje de familias que no responden.



Gráfica 8

¿Es una medida necesaria en el centro? Fuente: elaboración propia

Y para concluir, pregunté a las familias **su opinión sobre el “pin parental”**. Destaca en estas gráficas, en color gris, el elevado número de familias que no manifiestan su opinión sobre la medida. Entre los que sí lo hacen, en todos los niveles, es mayor el porcentaje de familias que indican su confianza absoluta en el criterio de los profesores, en el color oscuro de cada nivel, para diseñar las actividades que complementen la enseñanza de sus hijos.



Gráfica 9

Opinión de los padres acerca del pin parental Fuente: elaboración propia



6. CONCLUSIONES

En cuanto a las conclusiones que podemos extraer de nuestro proyecto son:

1. El pin o veto parental es una medida que se inicia en el **ámbito político** y no en el educativo.
2. Los **detractores y partidarios** del pin parental se basan en los **mismos fundamentos jurídicos**, aunque cada postura los aborda según su propia ideología.
3. Todas las fuerzas políticas manifiestan la necesidad de un **Pacto en Educación** en nuestro país que dé estabilidad a un sistema educativo que ya ha pasado por demasiadas Leyes educativas.
4. En cuanto a los resultados de las encuestas de las 263 familias que han participado, un **60% no considera necesario el pin parental en el IES DR PEDRO GUILLÉN**. Un porcentaje significativo si tenemos en cuenta el elevado número de familias que no manifiestan una opinión sobre el tema.
5. Respecto al futuro de la medida podemos aventurar que aunque en las Instrucciones de la Consejería del presente curso se limita a que los padres firmen un documento de recepción de la información, siempre que la actividad la imparta personal ajeno al claustro, hechos como que el Tribunal Superior de Justicia desestimara el Recurso del Gobierno de España a la medida de Murcia; el hecho de que el pasado noviembre una jueza de Castellón paralizara la entrega de libros a centros públicos tras una denuncia de la asociación Abogados cristianos o que, hace unas semanas, el próximo presidente de Castilla y León, Alfonso Mañueco, ya haya aceptado la imposición del pin parental en su comunidad para contar con el apoyo de VOX para formar gobierno.....nos hacen pensar que será una medida que se irá imponiendo en aquellas comunidades en las que VOX vaya consiguiendo un mayor apoyo social.

7. AGRADECIMIENTOS

Quiero darle las gracias al Instituto Doctor Pedro Guillén, por haberme dado la oportunidad de cursar este maravilloso bachillerato de investigación. Una mención muy especial, a mi incondicional tutora, profesora y amiga, Josefa Celdrán, que desde el primer momento apostó por este proyecto muy ilusionada con ganas tremendas de trabajar y divertirse, constituyendo la base del mismo. Gracias por ser una mujer ejemplar y de valor y por enseñar de corazón. Por último, me gustaría agradecer a los que han participado en mi proyecto tanto a los representantes políticos como a las familias de nuestro centro. Así como a todos mis compañeros por haber llegado hasta aquí, a mi familia y a todos mis profesores.



8. BIBLIOGRAFÍA

- Alonso, Á., (2020). "Alfonso Galdón, el yeclano precursor del polémico PIN parental", *El Periodico de Yecla*, 5 de febrero Disponible en: <https://elperiodicodeyecla.com/alfonso-galdon-pin-parental/> [Consultado 21-07-2021]
- Álvarez Puentes, R., (2003) "La participación de las madres y padres hoy." Disponible en: http://www.uco.es/~ed1alcaj/polieduca/dmpe/grupo_a_2003/a-participacion.htm. [Consultado 23-07-2021]
- Anon., (2020). *Comillas* Disponible en: <https://www.comillas.edu/noticias/41-comillas-icade/icade-derecho/icade-derecho-menores/1100-expertos-juristas-analizan-en-comillas-el-pin-parental> [Consultado 12-10-2021].
- Anon., (2020). "Las 8 leyes educativas en España desde 1980: de la LOECE a la LOMLOE", *Diario de Navarra*, 23 Noviembre. Disponible en: <https://www.diariodenavarra.es/noticias/actualidad/nacional/2020/11/20/leyes-educativas-espana-logse-lomloe-ley-celaa-708754-1031.html> [Consultado el 12-07-2021]
- Anon., (s.f) "¿Qué fundamentos de derecho tiene el PIN Parental?" *Mis hijos, mi decisión*. Disponible en: <https://mishijosmidecision.org/que-fundamentos-de-derecho-tiene-el-pin-parental/> [Consultado 21-10.2021]
- Gavari Starkie, E. (1997). RESEÑA de: EURYDICE. "El papel de los padres en los sistemas educativos de la Unión Europea". *Bruselas: Unidada Europea de Eurydice*, 1997. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5071878> [Consultado 12-.2021]

Análisis de la elección de los estudios desde un enfoque de género

/ ACCÉSIT

AUTORAS | MARÍA ARTEAGA ÚCAR Y ELSA AVIZCURI GARCÍA

COORDINADORA | MARÍA ISABEL PRIETO PÉREZ

CENTRO | IES VALLE DEL EBRO

CIUDAD | TUDELA-NAVARRA

RESUMEN |

El sesgo de género en los estudios STEAM, un tema de gran interés, constituye un grueso campo de estudio en la actualidad. Su finalidad es progresar en el camino de la igualdad entre hombres y mujeres también en el ámbito profesional. Contando con la colaboración activa del alumnado del segundo ciclo de ESO y Bachillerato, se han obtenido datos que han permitido conocer las causas más frecuentes que provocan que alumnos y alumnas elijan un tipo de estudio u otro. La investigación, realizada conjuntamente con la entidad colaboradora UPNA y los centros IES Plaza de la Cruz e IES Barañáin, tiene como principal objetivo conocer los motivos de la existencia del bajo número de mujeres en las materias STEAM y sus respectivas profesiones. Estando delimitada a la zona navarra, cuenta con una representación porcentual equivalente según la población y los participantes necesarios para obtener una muestra representativa. Como herramienta fundamental para la recogida de los datos, recabados entre mayo y junio de 2022, contamos con un cuestionario validado, de creación propia y online cuyas 19 preguntas, divididas en 5 secciones, inquieren sobre aspectos en la educación. La relevancia de este estudio, novedoso en nuestra zona, radica en la necesidad de responder ante la insuficiente información en el ámbito de la elección de los estudios desde un enfoque de género. Se pretende profundizar en las causas que llevan a elegir unos estudios u otros y finalmente, lograr que las chicas de las nuevas generaciones se interesen más por los estudios científicos y tecnológicos.

ABSTRACT |

The gender bias in STEAM studies, a topic of great interest, constitutes a thick field of study today. Its purpose is to progress on the path of equality between men and women also in the professional field. Counting on the active collaboration of the students of the second cycle of ESO and Baccalaureate, data have been obtained that have allowed us to know the most frequent causes that cause students to choose one type of study or another. The research, carried out jointly with the collaborating entity UPNA and the IES Plaza de la Cruz and IES Barañáin, has as its main objective to know the reasons for the existence of the low number of women in STEAM subjects and their respective professions. Being delimited to the Navarrese area, it has an equivalent percentage representation according to the population and the participants necessary to obtain a representative sample. As a fundamental tool for data collection, collected between May and June 2022, we have a validated, self-created and online questionnaire whose 19 questions, divided into 5 sections, inquire about aspects of education. The relevance of this study, brand-new in our area, lies in the need to respond to insufficient information in the field of choice of studies from a gender perspective. It is intended to delve into the causes that lead to choosing some studies or others and finally, to get the girls of the new generations to be more interested in scientific and technological studies.



1. JUSTIFICACIÓN

A pesar de los importantes avances que ha experimentado nuestra sociedad en términos de igualdad y de los esfuerzos desplegados para lograr una educación igualitaria entre las personas jóvenes, seguimos observando una marcada brecha de género en las aspiraciones académicas y profesionales de las chicas y los chicos ya desde la educación secundaria. Es por ello que decidimos realizar este trabajo, que ha profundizado en el análisis de la elección de los estudios, especialmente de bachillerato, desde un enfoque de género. Investigar acerca de este tema es necesario dado que sigue existiendo una gran diferencia en la presencia de hombres y mujeres en las distintas modalidades de bachillerato y, por ello, es preciso descubrir las tendencias existentes en las diferentes variantes de éste según las numerosas variables que interfieren en dicha elección. Igualmente, es imprescindible conocer la influencia que los medios de comunicación tienen sobre los adolescentes, así como el sistema educativo vigente. Finalmente, desde la Unión Europea se considera la formación de técnicos y graduados en áreas científicas una necesidad para su futuro. En muchos países europeos, el número de graduados y técnicos especialistas en áreas científicas, matemáticas, tecnológicas y de ingeniería es claramente insuficiente para las necesidades de sus empresas e industrias. Por este motivo, despertar el interés de los estudiantes europeos por las áreas STEAM se convierte en una prioridad para el futuro económico de la UE. Aún más, el problema podría radicar no ya en los sistemas educativos, sino en que los jóvenes no ven como atractivas las carreras científicas.

El análisis de la elección de los estudios desde un enfoque de género es un tema que no ha sido ampliamente estudiado por la cantidad de variables que interfieren en dicha elección y la complejidad del análisis de sus datos. No obstante, existen algunos proyectos sobre dicho tema, que hemos utilizado como herramienta para obtener información, ya que está relacionada con nuestro objeto de estudio, la presencia de mujeres en las materias STEAM: el informe UNESCO *Descifrar el código: La educación de las niñas y las mujeres en ciencias, tecnología, ingeniería y matemáticas (STEM)*, publicado en 2019; el estudio “Brecha y sesgos de género en la elección de estudios y profesiones en la educación secundaria”, realizado por Milagros Sáinz y Julio Meneses en 2018; el trabajo “Estudio cualitativo de las diferencias de género en la elección de opciones académicas en los estudiantes de bachillerato científico-técnico”, realizado por María del Carmen Rodríguez Méndez, José Vicente Peña Calvo y Omar García Pérez en el año 2016. Estos últimos han podido demostrar que el profesorado proyecta distintas expectativas para los chicos y para las chicas y que los progenitores impulsan a sus hijas a escoger modalidades fundamentadas en el rol de género femenino, transmitiendo sus opiniones y juicios de valor o comportamiento. Asimismo, diversos estudios señalan que una de las causas de las bajas matriculaciones en grados de ciencias tiene que ver con la percepción que de ella tiene la ciudadanía. Por ejemplo, según la 8ª Encuesta de Percepción Social de la Ciencia que realizó en 2016 la Fundación Española para la Ciencia



y la Tecnología (FECYT), entre las personas a las que no les interesa la ciencia, más de una tercera parte lo atribuyen a que no la entienden.

Esta investigación pretende conocer los motivos de la existencia del bajo número de mujeres en las materias STEAM y sus respectivas profesiones. Para llevarla a cabo, hemos contado con un conjunto de cuestionarios online que habían sido elaborados con anterioridad por otras entidades y utilizados con alumnos del primer ciclo de ESO. También, el centro IES Valle del Ebro y el soporte EDUCA del Departamento de Educación nos han proporcionado datos sobre el alumnado matriculado en cada modalidad de Bachillerato en los últimos diez años. La finalidad última ha sido, por tanto, reunir datos que permitan el posterior análisis para conocer diversos aspectos clave sobre el porqué del sesgo existente entre las mujeres en las actividades STEAM.

Esta investigación ha sido llevada a cabo por alumnos procedentes de distintos centros educativos navarros: IES Valle del Ebro (Tudela), IES Barañáin (Barañáin) e IES Plaza de la Cruz (Pamplona). Por consiguiente, hemos contado con un tamaño muestral grande que ha permitido obtener resultados fiables y efectivos. Además, han colaborado las siguientes entidades, asesorando en la estrategia de intervención diseñada: el programa KIMUA del Departamento de Educación del Gobierno de Navarra y la Cátedra Mujer, Ciencia y Tecnología de la Universidad Pública de Navarra (UPNA).

2. MÉTODOS

Se ha planteado una investigación de tipo descriptivo, con un enfoque tanto transversal como longitudinal y también retrospectivo y prospectivo.

Inicialmente, se realizó una revisión bibliográfica y una búsqueda de información sobre género y elección de estudios a través de distintas lecturas, con el fin de adquirir diversos conocimientos acerca del tema. Los cuestionarios que se han realizado han sido elaborados a partir de un modelo facilitado por la entidad colaboradora KIMUA que había sido validado estadísticamente con anterioridad. El alumnado BI+ de los tres centros participantes seleccionó las preguntas de mayor interés y añadió otras nuevas, bajo la supervisión del profesorado. Dichos formularios fueron idénticos para los tres institutos colaboradores, con el fin último de contrastar los datos en las diferentes zonas geográficas (Pamplona, Barañáin y Tudela). El primer cuestionario fue enviado al alumnado de 3º y 4º de la ESO a través de sus profesores de inglés y se realizó en la clase de dicha asignatura. Este formulario constó de 18 preguntas divididas en cuatro secciones llamadas “Sobre ti”, “Un problema de ciencia”, “¿Cómo veo a los que me rodean?” y “Asignaturas”. De entre estas, tres eran abiertas y el resto, de elección, ya fuera marcando una o varias respuestas. En la primera sección “Sobre ti”, se realizaron preguntas sobre la personalidad del alumno y su entorno (progenitores, docentes...). En la segunda sección “Un problema de ciencia”, se ponía a prueba la imaginación y creatividad del alumnado, así como su vi-



sión de la sociedad. La tercera sección “¿Cómo veo a los que me rodean?” sirvió para comprobar los estereotipos de la sociedad, ya que, según la intuición del alumnado, éste debía elegir una persona u otra a la que viera capacitada para realizar una determinada actividad (hacer una cirugía, diseñar y construir un cohete en la NASA...). Por último, en la sección cuatro “Asignaturas”, se indagó en el tema de los estudios y la perspectiva del alumno sobre las distintas asignaturas. Asimismo, el segundo cuestionario fue dirigido a alumnos y alumnas de Bachillerato y constó de 18 preguntas divididas también en cuatro secciones similares a las del formulario dirigido al alumnado de 3º y 4º de la ESO. Ambos cuestionarios eran idénticos, a excepción de una pregunta en la cuarta sección “Asignaturas”. Este formulario fue enviado al alumnado a través del profesorado de inglés a través de Classroom, dado que, a diferencia de la ESO, no se impartía una clase de Tutoría en Bachillerato. Previamente, dichos cuestionarios fueron enviados a seis alumnos (tres chicos y tres chicas) para comprobar que funcionaba la herramienta Google Forms adecuadamente y para recoger la impresión de los alumnos sobre las preguntas realizadas.

Una vez finalizada esta tarea, el alumnado se reunió con el profesorado y las entidades colaboradoras para revisar y recibir la aprobación final de ambos cuestionarios, que fueron enviados en el mes de mayo al alumnado de 3º y 4º de la ESO y 1º y 2º de Bachillerato de los tres centros participantes.

Durante este proceso, se solicitó en la secretaría del IES Valle del Ebro una tabla Excel que recogía los datos del alumnado de Bachillerato por modalidades en los últimos 10 años y se completó con información más detallada recibida del soporte EDUCA del Departamento de Educación. También se hizo una petición a Jefatura de estudios para la facilitación de dichos datos del curso 2021-2022, en el que se reflejan el número de chicos y chicas que cursan cada modalidad. Por último, se redactó una carta a los tutores, en la que se expresó el deseo de compartir los cuestionarios con los alumnos y alumnas a través de la plataforma Classroom.

Para seleccionar a los participantes, se buscaron personas que estaban en una edad cercana a la toma de decisiones académicas y la elección de sus futuros estudios. Para ello, se ha trabajado con estudiantes de 3º y 4º de la ESO y 1º y 2º de Bachillerato, dado que la educación STEAM debe trabajarse desde edades tempranas.

El alumnado participante es de ambos sexos de entre 14 y 18 años, a excepción de alumnos repetidores, y han cursado sus estudios en el centro IES Valle del Ebro. Aunque la nacionalidad no ha afectado, puesto que el alumnado proviene de diferentes países (Marruecos, Argelia, Nigeria, Rumanía...), la gran mayoría residía en la merindad de Tudela, salvo una pequeña minoría proveniente de otros pueblos, como Tarazona, Alfaro, Cadreita, Igea, Novallas, Rada, Santa Engracia, Torrellas o Villafranca.



Los cuestionarios han sido realizados de forma anónima y los datos obtenidos se han tratado con estricta privacidad y la máxima profesionalidad posible. Además, se redactaron las preguntas respetando las cuestiones éticas, realizando preguntas formales, claras y concretas, evitando así las preguntas incómodas u ofensivas y ajustándose lo máximo posible al objetivo buscado. También se añadió un párrafo introductorio al comienzo de los cuestionarios en el que se informaba al alumnado de cómo se iba a tratar la información obtenida según la normativa vigente de protección de datos.

Finalmente, el último paso consistió en el análisis estadístico de los datos obtenidos mediante el uso de Rstudio. Se realizó una codificación previa, que resultó necesaria para las preguntas abiertas. Para ello, a partir de las respuestas obtenidas, se establecieron ciertas categorías de modo inductivo, referidas a las dimensiones de identidad, interés y autoeficacia. Posteriormente, las pruebas se codificaron, asignándolas a una de las categorías así definidas, para extraer su significado. Las variables recodificadas fueron sometidas entonces a análisis cuantitativos. Para explorar la relación entre dimensiones se realizó un análisis de correlación, utilizando el estadístico de Pearson. Para este tratamiento de la información se utilizó el programa Excel de Microsoft Office. Las variables se resumieron mediante parámetros estadísticos descriptivos: frecuencias absolutas y relativas, tendencia central (media, moda...) y dispersión. Se buscaron asociaciones entre las variables analizadas mediante pruebas de chi-cuadrado para las variables de escala cualitativa y correlaciones de Spearman para las variables de escala cuantitativa. Preliminarmente, se aplicaron las pruebas de distribución normal Kolmogórov-Smirnov y de Shapiro-Wilk. Para todas las pruebas se adoptó un nivel de significación estadística de 0,05 bilateral.

3. RESULTADOS

Las Tablas 2 y 3 recogen un desglose completo de los resultados de los últimos 10 años. En primer lugar, se compara el número de alumnos y alumnas en 1º de Bachillerato en Navarra. En el itinerario de Ciencias de la Salud se observa una leve tendencia ascendente con ciertas irregularidades a lo largo de los años, tanto por parte del sexo masculino como el femenino. En la modalidad de Ciencias e Ingeniería y Tecnología, se aprecia un crecimiento constante en el número de alumnas a partir del año 2014, mientras que el número de alumnos se mantiene bastante irregular. En el itinerario de Ciencias Sociales, se ven claras irregularidades en ambos sexos, con una media de 806 chicas y 600 chicos. Por su parte, en el Bachillerato de Humanidades se aprecia un descenso en el número de alumnos y alumnas en los últimos seis años. En Artes Escénicas, Música y Danza, se observa un aumento en el número de matrículas femeninas desde el año 2012 hasta el 2020, pero con una bajada en el año 2021. En el caso de las matrículas masculinas, no se aprecia ningún patrón significativo a lo largo de los años. No obstante, también se observa una bajada en el último año. Finalmente, en Artes Plásticas, Diseño e Imagen, no se percibe tampoco ninguna tendencia clara.



En segundo lugar, se analiza la trayectoria de las diferentes modalidades en 2º de Bachillerato en Navarra. En la modalidad de Ciencias de la Salud, se aprecian distintos aumentos y descensos a lo largo de los años en ambos sexos, pero no se establece ninguna relación directa. En Ciencias e Ingeniería y Tecnología, tampoco se aprecia ningún patrón, aunque se observa un aumento en el número de alumnas desde el año 2018. En el itinerario de Ciencias Sociales, se aprecia un leve aumento en el número de chicas desde 2019, mientras que sí se aprecia una tendencia en el número de chicos, pues se produce un aumento constante hasta que se produce un descenso en 2019 y vuelve a ascender en los últimos dos años. En Humanidades, se percibe un claro descenso en las matrículas femeninas desde el año 2015, mientras que no se ve un patrón en las matrículas masculinas. En el caso de Artes Escénicas, Música y Danza, se aprecia un aumento constante tanto en las matrículas de chicas como de chicos, siendo estos últimos más irregulares. Por último, en Artes Plásticas, Diseño e Imagen, no se saca una conclusión clara, ya que presenta una continua irregularidad.

Se recopilaron un total de 624 cuestionarios de los tres centros que nos permite centrarnos en aquellos factores que consideramos más relevantes para nuestro estudio. Aunque el cuestionario consta de 19 preguntas, hemos seleccionado para su análisis aquellas preguntas que pueden ser clave para confirmar o no nuestras hipótesis. Las preguntas seleccionadas son las que se enumeran a continuación. En primer lugar, para analizar la influencia de los progenitores, se analizan las preguntas 3 y 5 del cuestionario. Esto es, el nivel de estudios alcanzado por los padres y su trabajo en relación a las materias STEAM, con el propósito de conocer si estos influyen en la elección de posteriores estudios del alumnado. En segundo lugar, se analiza la pregunta 6, en la que se indica el género predominante entre el profesorado de biología, química, física, matemáticas y tecnología, para averiguar si el profesorado condiciona las decisiones de los adolescentes. En tercer y último lugar, se analiza la autoeficacia del alumnado según el género, a través del análisis de la pregunta 11, en la que este debe contestar si cree que podría ser él la persona que tenga la capacidad de construir una máquina en el futuro, y la pregunta 12, en la que el alumnado debe marcar cómo de acuerdo está con distintas afirmaciones. Sin embargo, de las diecisiete afirmaciones que constituyen dicha pregunta, solamente se muestran aquellas en las que se observan diferencias entre chicos y chicas.

En cuanto a los referentes progenitores, se ha estudiado, por un lado, la influencia de la profesión del padre; y por otro, la de la madre. Entre el alumnado que cursa estudios STEAM, que son un total de 332, 60 tienen padres y 62 madres que se dedican a profesiones STEAM (18,07% y 18,67% respectivamente), mientras que 241 y 233 no se dedican a esta área (72,59% y 70,18%). Por otro lado, entre el alumnado que no cursa estudios STEAM, que son 291, 30 padres y 24 madres se dedican a profesiones STEAM (10,31% y 8,25%), frente a los 224 y las 230 que no se dedican a esta área (76,98% y 79,04%).



En cuanto al referente profesorado, se analiza el género predominante en las asignaturas de biología, química, física, matemáticas y tecnología. En la asignatura de biología, predomina el género femenino (57.05%) frente al masculino (19.87%). Esto se da también en química (66.35% frente a 15.22%), física (66.67% frente a 14.10%) y matemáticas (68.91% frente a 18.91%). Sin embargo, en tecnología predomina el género masculino (58.49%) frente al femenino (18.11%). Además, los porcentajes restantes corresponden a la opción "Igual", esto es, mismo número de profesorado masculino y femenino.

Finalmente, en cuanto a la autoeficacia, se agrupan las respuestas atendiendo a varios criterios: la autoeficacia técnica, las atribuciones al trabajo y al talento, el interés y la identidad. Para ello, se analiza el nivel de acuerdo o desacuerdo con una serie de afirmaciones. Sin embargo, solamente se muestran aquellas en las que el test detecta diferencias entre sus medias. Para las demás no hay diferencias por sexos. En cuanto a la autoeficacia técnica, se analizan dos cuestiones. A la afirmación "Las matemáticas se me dan bien" 119 están totalmente en desacuerdo, 36 son chicos (30.25%) y 83 son chicas (69.75%); 179 están en desacuerdo, 89 son chicos (49.72%) y 90 son chicas (50.28%); 237 están de acuerdo, 105 son chicos (44.30%) y 132 son chicas (55.70%); y 69 están totalmente de acuerdo, 34 son chicos (49.28%) y 35 son chicas (50.72%). Asimismo, se analiza la pregunta "¿Crees que podrías ser tú la persona que tenga la capacidad de construir una máquina en el futuro?". Del total, 114 alumnos han respondido que sí, 60 son chicos (52.63%) y 54 son chicas (47.37%), 267 han respondido que no, 112 son chicos (41.95%) y 155 son chicas (58.05%) y 223 no saben, 92 son chicos (41.26%) y 131 son chicas (58.74%). También se analizan y comparan las respuestas de las chicas en los itinerarios de ciencias frente a aquellas en otros itinerarios, con el objetivo de comprobar si las chicas que escogen un itinerario de ciencias tienen mayor autoeficacia que las que no lo hacen. Así pues, de las chicas que cursan un itinerario de ciencias, que son 76, 20 han marcado que sí (26.32%), 28 han señalado que no (36.84%) y 28 no saben (36.84%). Ahora bien, de las chicas que cursan otros itinerarios, que son 83, 8 han marcado que sí (9.64%), 47 han señalado que no (56.63%) y 28 no saben (33.73%).

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Respecto a los datos de nuestro centro, en 1º de Bachillerato, no se aprecia ningún patrón significativo en ninguno de los sexos, sino que se ven muchas irregularidades, para la modalidad de Ciencias de la Salud. En el itinerario de Ciencias e Ingeniería y Tecnología, el número de matrículas de alumnas se mantiene más o menos constante a lo largo de los años, produciéndose un aumento significativo en el año 2021. Sin embargo, el número de matriculados se mantiene bastante irregular. Por su parte, las matrículas en Ciencias Sociales son inconstantes, con aumentos y descensos poco significativos. Para finalizar, en Humanidades, las chicas presentan irregularidades poco significativas y los chicos, sin embargo, se mantienen con una media de seis matrículas por año.



En 2º de Bachillerato las Ciencias, tanto de la Salud como de Ingeniería y Tecnología, no muestran ningún patrón a lo largo de los años. Por el contrario, en Ciencias Sociales sí se aprecia un aumento constante en el número de chicas desde el año 2011, produciéndose el pico más alto en 2016 y descendiendo progresivamente a partir de entonces. En el caso de los chicos, se producen aumentos y descensos a lo largo de los años. Para terminar, en Humanidades, las matrículas por parte del sexo femenino son muy irregulares, mientras que las del sexo masculino se mantienen con una media de seis matrículas por año.

Aunque los cuestionarios recibidos en el IES Valle del Ebro no han sido suficientes para realizar un análisis concluyente, puesto que sólo contamos con 79 respuestas, hemos considerado analizar las mismas preguntas que a nivel de los tres centros y mostrar dichos resultados para compararlos con el global, aunque en números tan bajos, los resultados no se consideran validados. El cuestionario utilizado para recoger datos muestra que, a diferencia de lo planteado anteriormente, el hecho de que el padre o la madre se dedique profesionalmente al campo STEAM no tiene influencia sobre la elección de los estudios de sus hijos. Independientemente de si el alumno cursa una modalidad más relacionada con el área STEAM o no, predominan los padres y madres sin profesiones de esta misma área. Cabe destacar que el valor de los porcentajes de los progenitores no relacionados con el campo científico es similar en todos los análisis realizados. No obstante, en relación al nivel de estudios de los progenitores, sí se aprecia una diferencia entre el alumnado que cursa estudios STEAM y los que no lo hacen, puesto que se observa que estos primeros tienen progenitores con más nivel de estudios que los segundos. Destaca que el número de progenitores con estudios universitarios del alumnado que cursa estudios STEAM, es aproximadamente el doble que el número de los del alumnado que no cursa estudios STEAM. También resalta que el número de padres que no tienen estudios del alumnado que cursa modalidades STEAM es más de la mitad que el número de padres sin estudios del alumnado que no cursa estudios STEAM. Por ello, se concluye que el nivel de estudios de los progenitores es un factor determinante en la elección de estudios de sus hijos.

Se aprecia que el género femenino predomina significativamente en las asignaturas de biología, química, física y matemáticas. Sin embargo, en tecnología, predomina el profesorado de género masculino. Con esto se llega a la conclusión de que las chicas pueden verse reflejadas en sus profesoras y continuar sus estudios en el área STEAM, gracias a estos referentes femeninos en esta área.

En lo que respecta a la autoeficacia, se propuso en la tercera hipótesis que los resultados de los cuestionarios mostrarían que hay una clara diferencia en el nivel de autoeficacia de chicos y chicas. Es decir, si las chicas tienen la misma percepción de sus capacidades y la confianza para lograr los resultados pretendidos o enfrentarse a una determinada situación. En lo que respecta a este tema, todas las preguntas del cuestionario revelan que el nivel de autoeficacia de las chicas es superior al de los chicos, excepto en la pregunta “¿Crees que



podrías ser tú la persona que tenga la capacidad de construir una máquina en el futuro?”, donde los chicos muestran más autoeficacia. Por lo tanto, la hipótesis planteada inicialmente no se cumple, concluyendo que las chicas tienen más nivel de autoeficacia que los chicos.

En conclusión, este trabajo de investigación nos ha permitido recoger información del alumnado de distintos centros de Navarra, a través de un cuestionario sobre la elección de los estudios desde un enfoque de género. La muestra quedó finalmente formada por 624 participantes a nivel de Navarra, superando así el objetivo de que los datos de la zona a estudiar fueran representativos.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Claramunt Vallespí, R. M. y Claramunt Vallespí, T. C. (2012), *Mujeres en ciencia y tecnología*, Madrid, Editorial UNED.
- Gamboa García, J. y Marín Uribe, R. (2009). “Género y carrera: el gusto por el área académica, como elemento en la elección de una licenciatura”. *Revista electrónica de investigación educativa*, 11(1), pp. 1-13.
- Navarro-Guzmán, C. y Casero-Martínez, A. (2012). “Análisis de las diferencias de género en la elección de estudios universitarios”. *Estudios sobre Educación*, 22, pp. 115-132.
- Oliveros Ruiz, M. A. et al. (2016). “La motivación de las mujeres por las carreras de ingeniería y tecnología”. *Entreciencias: Diálogos en la sociedad del conocimiento*, 4(9), pp. 89-96.
- Rodríguez Méndez, M. C., Peña Calvo, J. V. y García Pérez, O. (2016). “Estudio cualitativo de las diferencias de género en la elección de opciones académicas en los estudiantes del bachillerato científico- técnico”. *Teoría de la Educación. Revista Interuniversitaria*, 28(1), 189-207.
- Sáinz, M. y Meneses, J. (2018). “Brecha y sesgos de género en la elección de estudios y profesiones en la educación secundaria”. *Panorama Social*, 27, pp. 23-31.
- Verdugo-Castro, S. et al. (2019). “Revisión y estudio cualitativo sobre la brecha de género en el ámbito educativo STEM por la influencia de los estereotipos de género”. *CIAIQ*, 3, pp. 381-386.

ARTES Y HUMANIDADES

PRIMER PREMIO |

- 87 - **¿Es adecuado hablar de 'Reconquista' en la historia de España? Respuesta a través del análisis dialógico intencionalista**
ANDREY PARRILLA PROKOPYEV

SEGUNDO PREMIO |

- 99 - **Constelaciones asociadas al mito de Perseo: representación en el cielo según criterios históricos y científicos**
MARÍA CAMILA RODRÍGUEZ CASILIMAS

TERCER PREMIO |

- 110 - **¿España democrática? La diferencia entre la idea y la realidad del poder del *demos***
JIMENA CASTILLA SANTAOLALLA

ACCÉSIT |

- 125 - **La valoración de los hechos desde la posverdad. Una superación de los valores veritativos clásicos**
SARA LORENTE GARRIDO

PREMIO ESPECIAL UNIVERSIDAD DE MÁLAGA |

- 136 - **María Magdalena: la construcción del estereotipo femenino en la historia del arte**
BOUCHRA TAYBI KHARMACH

¿Es adecuado hablar de 'Reconquista' en la historia de España? Respuesta a través del análisis dialógico intencionalista

/ PRIMER PREMIO Y ESTANCIA CSIC

AUTOR | ANDREY PARRILLA PROKOPYEV

COORDINADOR | JAVIER ELADIO GUZMÁN VILLANUEVA

CENTRO | COLEGIO INTERNACIONAL SEK ALBORÁN

CIUDAD | EL EGIDO-ALMERÍA

RESUMEN |

Se expone el origen y la vigencia de un problema urgente: la idoneidad del término 'Reconquista'. Desde la innovadora metodología del análisis dialógico, se construyen cuatro novedosas tesis sobre el término 'Reconquista': término operativo, Reconquista como ideología, término científico y no representativo. Concluimos analizando críticamente y confrontando estas cuatro líneas discursivas para extraer una respuesta a la problemática inicial.

ABSTRACT |

The origin and validity of an urgent problem is exposed: the suitability of the term 'Reconquista'. From the innovative methodology of dialogic analysis, four new theses are built on the term 'Reconquista': operational term, Reconquest as an ideology, scientific term, non-representative term. We conclude by critically analyzing and confronting these four discursive lines to extract an answer to the initial problem.



1. INTRODUCCIÓN

Para motivar la pregunta que da pie a la investigación, esta introducción tendrá doble finalidad: explicar de forma breve el origen de este problema (la idoneidad del término 'Reconquista') y explicar su relevancia hoy en día (por qué urge responder esta cuestión).

El término 'Reconquista' es un concepto cuya concepción para designar el enfrentamiento entre cristianos y musulmanes aparece en 1796 (Saloma, 2008). A partir del siglo XIX, se fue popularizando el término 'Reconquista' a través de numerosos autores y corrientes, haciendo que surgieran distintos usos e interpretaciones del término. Estas corrientes, acompañadas de circunstancias históricas (la república, la guerra civil, la democracia parlamentaria, etc.), provocaron que el término 'Reconquista' generase bastante polémica durante el siglo XX. Es decir, el origen del problema del término 'Reconquista' toma raíces en (1) su cantidad de significados distintos y (2) su supuesta carga ideológica.

Por otro lado, encontramos cuatro razones principales que siguen justificando la relevancia de este problema hoy en día. Primero, por el controvertido uso del término 'Reconquista' como instrumento político por partidos políticos contemporáneos (Rodríguez, 2021) (Cuevas, 2020). Segundo, por existir una supuesta carga ideológica en el término que puede transformar textos objetivos sobre este proceso en textos subjetivos que distorsionen el discurso y el mensaje. Tercero, por la problemática definición que ofrece la RAE del término 'Reconquista', con la que un gran número de historiadores están en desacuerdo. Cuarto, por la simplificación errónea que ven algunos historiadores en este término, que podría resultar en malentendidos del proceso y su difusión en el sistema educativo.

Estas razones ilustran una necesidad urgente de determinar qué debemos hacer con el término 'Reconquista': ¿es un término adecuado que puede utilizarse en la historia de España o es un vocablo que debemos olvidar y enterrar en el pasado? El problema principal de esta pregunta reside en que, entre tantas opiniones, críticas, indecisiones, preguntas abiertas y sin responder, argumentos, discursos, artículos científicos y periodísticos, programas y libros sobre la Reconquista y su idoneidad hoy en día, es muy sencillo perderse e inclinarse por una postura sin haber considerado la imagen completa de este complejo asunto. Es por ello que en las páginas que siguen, tratamos de responder a la pregunta *¿Es adecuado hablar de la Reconquista en la historia de España?* sin pecar de estos errores y para ello haremos uso de la novedosa metodología del análisis dialógico intencionalista.



2. ANTECEDENTES: ESTADO DE LA CUESTIÓN

Históricamente, desde el siglo XX, ha habido muchos autores que han discutido la pertinencia del término como Ortega y Gasset, Sánchez Albornoz o Barbero y Vigil. Sus tesis y muchas otras serían cuestionadas a finales del siglo XX y principios del XXI, cuando más evidencias se darían a conocer, permitiendo análisis más profundos y extensos.

Asimismo, este debate también ha tenido sus repercusiones fuera de los artículos científicos y de los libros técnicos. En los últimos 5 años observamos un aumento exponencial de artículos periodísticos que hablan sobre este término, incluyendo escritos de *La Razón*, *ABC*, *El País*. Estos artículos, aunque llegan a una audiencia más amplia, a menudo son más cortos y, por tanto, incompletos.

En resumen, el debate de la Reconquista es uno vigente y en el que encontramos numerosas opiniones enfrentadas. Mientras que algunos historiadores creen necesario utilizar otro término para este proceso, ya sea por su carga ideológica o porque a los supuestos 'reconquistadores' nunca les perteneció la Península Ibérica; otros, sostienen que es posible utilizar el término de forma adecuada, ya sea porque existió un relato reconquistador o porque los pueblos del norte tenían una influencia muy grande de parte de los visigodos.

Sin embargo, a nuestro modo de ver, el principal problema de todos estos ensayos es que suelen tomar una perspectiva unilateral (o bien desarrollando únicamente argumentos a favor o argumentos en contra del término) o, cuando no la toman, solo muestran superficialmente los argumentos del contrario, por lo que no es posible un análisis completo y detallado.

3. OBJETIVOS

1. Tener en consideración las distintas posturas que hay respecto a este tema.
2. Elaborar múltiples 'monografías' (líneas argumentales) que respondan de manera distinta a la cuestión inicial (a favor, en contra) para no caer en el error de quedar sesgados por una postura.
3. A partir de las líneas argumentales, realizar un análisis crítico de las mismas para delimitar sus fortalezas y debilidades y extraer conclusiones.

4. METODOLOGÍA Y MATERIALES: ANÁLISIS DIALÓGICO INTENCIONALISTA

El *Análisis Dialógico Intencionalista* aparece por primera vez mencionado en 2021 en un artículo del Doctor en Filosofía y Doctor en Lenguas y Culturas Javier-Eladio Guzmán Villanueva en el que define este modelo de pensamiento como 'el examen riguroso de un fenómeno enfrentando una pluralidad de discursos construidos a tal efecto, sin tener la conclusión ningún compromiso



formal con ningún discurso ni con una síntesis' (Guzmán, 2021). El *Análisis Dialógico Intencionalista* continuaría desarrollándose en posteriores exposiciones y estudios de caso donde se aplicaría este pensamiento.

La metodología analítica dialógica consiste en (1) ante una cuestión dada a estudiar, (2) realizar una investigación amplia para (3) construir más de dos discursos de distintas posturas (4) esforzándose por hallar discursos que sean plausibles o potentes (ya sea por su fuerza discursiva, originalidad o creatividad) (5) rechazándose la posibilidad de tener en cuenta ejercicios de manifiesta flojedad discursiva y (6) dejando libertad para que cada uno concluya como quiera este análisis¹. La parte *intencionalista* se agrega al estar discutiendo una pregunta relacionada con el ser humano.

Por otro lado, dividimos los materiales utilizados del siguiente modo:

- Documentos de primer orden: evidencias que refieren a un elemento de la 'Reconquista' y que tuvo origen completo o parcial entre el siglo VIII y el siglo XVI. Un ejemplo sería la Primera Crónica General de Ramón Menéndez Pidal.
- Documentos de segundo orden: estudios que hablan sobre la pertinencia del término 'Reconquista'. Incluimos libros, artículos, archivos digitales, conferencias, etc. Un ejemplo sería el artículo de Martín Ríos Saloma 'La Reconquista: génesis de un mito historiográfico'.
- Documentos de tercer orden: estudios sobre la historia (los acontecimientos y sucesos) de la Edad Media en la península ibérica. Un ejemplo sería el libro 'La Reconquista: El concepto de España' de Julio Valdeón.

5. RESULTADOS

Como resultado de la investigación realizada, se obtienen cuatro líneas discursivas distintas. A continuación, ofrecemos una breve exposición de lo más importante de cada línea, seguida del análisis crítico de todas en conjunto.

5.1. TÉRMINO OPERATIVO

La primera línea argumental surge de la pregunta "¿Se utiliza hoy en día la palabra 'Reconquista'?". Un estudio detallado nos permite corroborar que desde el siglo XX, esta palabra está al orden del día, al encontrar su uso en autores tan variados como Luis Suárez, Julio Valdeón, Ladero Quesada, Julian Bishko, Derek Lomax, Angus Mackay, Odilo Engels, Carlos de Ayala, Francisco Fitz...

A partir de aquí deducimos que algo deberá tener el término si ha sido empleado de forma tan amplia y reiterada en los últimos años y proponemos que

¹ Esta metodología se extrae a partir de la siguiente exposición de Javier-Eladio Guzmán: <https://youtu.be/40W2XfP600w>.



esta cualidad es la de ser un término operativo: ES ADECUADO HABLAR DE RECONQUISTA PORQUE ES UN TÉRMINO OPERATIVO. Para apoyar esta línea argumental desarrollamos tres argumentos principales.

Primero, defendemos que el término 'Reconquista' es un término identificativo al ser un término ampliamente difundido y sencillo de entender (con una única palabra, 'Reconquista', podemos referirnos a todo un proceso muy complejo sin tener que proveer más detalles). Segundo, proponemos que es un término conveniente en la medida que refiere a un proceso útil e imprescindible para entender la historia de España. Tercero, defendemos que 'Reconquista' es un término contextualizador, al apelar a uno de los elementos clave de esta época y proceso: la ideología legitimadora sobre la que se sustentó. Esto permite que haya una relación más clara entre el signo ('Reconquista') y el referente.

Para desarrollar esta línea, escogemos una de las definiciones más intuitivas del término Reconquista, que será aquella que alude a un proceso de expansión de los territorios cristianos a lo largo de la Península Ibérica. Por último, un historiador que podríamos considerar que apoya a esta línea podría ser Francisco García Fitz (2019), pues este ha afirmado en reiteradas ocasiones la siguiente idea

No cabe duda de que para los historiadores el término es útil por cuanto les permite identificar fácilmente y de manera indubitable a unas dinámicas históricas específicas [...] sin tener que realizar aclaraciones de ningún tipo

5.2. IDEOLOGÍA

Si en la primera línea nos preguntamos si hoy se seguía utilizando el término 'Reconquista', esta vez nos preguntamos sobre cómo se utiliza ("¿Cómo se utiliza hoy en día el término 'Reconquista'?). Para ello, realizaremos un análisis de obras y artículos más recientes como el artículo de 2018 de la revista digital de 'Al-Andalus y la Historia' de Carlos de Ayala, el reciente compendio 'La Reconquista: Ideología y justificación de la Guerra Santa peninsular' (2019) coordinado por Carlos de Ayala Martínez, Isabel Cristina Ferreira y Santiago Palacios Ontalva y en el que participan 19 competentes historiadores, entre otros.

A partir de este estudio, identificamos una transición de considerar 'Reconquista' como un proceso de expansión a una ideología. Concretamente, a la ideología legitimadora que utilizaron los territorios cristianos durante esta época de expansión. El ejemplo más claro de esto lo vemos en el compendio 'Reconquista y guerra santa en la España Medieval' (2021), pues cuenta con 11 expertos autores del tema y un glosario donde se recoge la siguiente definición del término:



Reconquista: Construcción ideológica que, sobre la base de modelos distintos, sirvió a los reinos y principados cristianos del norte peninsular entre los siglos IX y XV para legitimar y justificar la guerra de conquista que llevaban a cabo contra el Islam.

De este modo, en esta línea proponemos que ES ADECUADO HABLAR DE RECONQUISTA COMO IDEOLOGÍA en base a tres razones principales. Primero, mostramos que es un término acorde (a lo que designa). Es decir, empezamos por demostrar que existió una construcción ideológica durante esta expansión cristiana y que es adecuado llamar a esta ideología por el nombre de 'Reconquista'. En este caso, para desarrollar el concepto de ideología, seguimos los estudios de los medievalistas Althusser y Duby.

Segundo, desarrollamos que es un término útil al permitir entender una parte imprescindible del proceso y comprender mejor la sociedad de la época (al estudiar un elemento frecuente). Y, tercero, mostramos que es un término respaldado, al ser un término apoyado por la gran mayoría de los historiadores (bajo esta concepción).

5.3. TÉRMINO CIENTÍFICO

Esta vez tomamos inspiración de la pregunta “¿Qué es la historia?”, frente a lo que respondemos que la historia se refiere a la narración y el análisis de los sucesos sociales, económicos y culturales, de pueblos, países (colectivos) o individuos a lo largo del tiempo. La Historia, entonces, es la disciplina que estudia la historia. Por tanto, en la Historia se hablará de la historia. ¿Y cuál es el *quid* de la cuestión? La Historia es una ciencia. De aquí que para delimitar si es adecuado hablar de 'Reconquista' en la historia de España, simplemente tengamos que determinar si 'Reconquista' es un término científico. De aquí nuestra tesis: NO ES ADECUADO HABLAR DE RECONQUISTA PORQUE NO ES UN TÉRMINO CIENTÍFICO.

En concreto, observamos tres cualidades del término 'Reconquista' que implican que no podamos considerarlo como un término científico. La primera es que es un término ambiguo al poseer un gran número de acepciones distintas con las que se ha utilizado a lo largo de los últimos años. Por ejemplo, el historiador García Fitz (2019) encuentra cuatro significados distintos con los que se emplea y el historiador Ríos Saloma (2008) encuentra cinco. Esto provocará que el propio Ríos Saloma concluya que “un término con tal carga semántica carece de toda validez científica” (Ríos Saloma, 2008). El problema de esto, bajo nuestra opinión, es que creamos un término baúl bajo el que se pueda incluir demasiados significados y que sea un elemento manipulador más que científico.

La segunda es la de ser un término inconsistente, pues su significado intuitivo (derivado principalmente de su etimología) no corresponde con la realidad. En concreto, *reconquista* indica la acción y efecto de reconquistar. Así pues, hablar de Reconquista implica hablar de un pueblo que ha sido expulsado y que se



dispone a recuperar algo que le era propio. Sin embargo, esto no es aplicable a este proceso de expansión porque, entre otras razones, los visigodos no fueron tan desplazados y expulsados como pudiera parecer y porque hay razones para suponer que los que sí que se expandieron, nunca poseyeron los territorios que habían sido conquistados por lo musulmanes.

Y la tercera cualidad es la de ser sobre-abarcador (dentro de un mismo término se engloban demasiados eventos con características demasiadas distintas) y por tanto nos encontramos ante un reduccionismo injustificado. La palabra 'Reconquista' será entonces sobre-abarcadora al incluir muchos eventos que eran realizados por distintos grupos, ocurrían frente distintas civilizaciones, en los eventos se luchaba por territorios distintos (en distintos momentos temporales) y las expansiones tomaban distintas formas.

5.4. TÉRMINO REPRESENTATIVO

La última pregunta que consideramos fue “¿Cuál es el objetivo de la Historia?”. Con esto pretendíamos analizar si el término 'Reconquista' ayudaba a conseguir este objetivo. La respuesta que encontramos a esta pregunta fue que la Historia tiene por tarea central representar los hechos de la manera más objetiva y precisa posible para que se comprenda la realidad histórica de la forma más certera. Y el problema que encontramos es que el término que estamos analizando no cumple esta función. De ahí que nuestra tesis fuese: NO ES ADECUADO HABLAR DE RECONQUISTA PORQUE NO REPRESENTA LA REALIDAD HISTÓRICA.

Para demostrar esto, analizamos los tres planos que este término no representa correctamente: el social-conceptual, el bélico-conflictivo y el psicológico-ideológico. Primero, respecto el plano social, encontramos que el término no representa correctamente la relación cristiano-musulmana, pues las definiciones y connotaciones del término asumen una confrontación permanente entre un bando cristiano y un bando musulmán, cuando en realidad ni existían como tal estos bandos ni hubo una confrontación constante (sino que hubo, en muchas ocasiones, convivencia). Segundo, no representa el plano bélico porque el término apela a expansiones mediante la operación de guerra (según la RAE, 'conquistar: Ganar, mediante operación de guerra, un territorio...'), cuando en realidad hubo expansiones que no involucran la fuerza (como la ocupación de la zona desértica del Duero).

Por último, no representa de forma adecuada la dimensión psicológica-ideológica al poner demasiado énfasis en la ideología reconquistadora que existió en la época como catalizador del evento. Esto es peligroso porque había otras razones importantes que motivaron esta expansión (como los motivos socio-económicos u otros tipos de ideologías).



5.5. ANÁLISIS CRÍTICO

A partir del desarrollo de las líneas argumentales, podemos confrontar aspectos de cada línea con respecto a las otras e intentar extraer cuáles tienen puntos más importantes y válidos.

Primero, respecto a la primera línea L1 (OPERATIVO), podemos criticar tres aspectos. Primero, como mostramos en L3 (TÉRMINO CIENTÍFICO), la palabra 'Reconquista' es bastante polisémica. Esto parece contradecir el primer argumento de L1, que consistía en establecer que 'Reconquista' es un término identificativo. El segundo punto es que si bien es cierto que el término es útil, esto no termina de justificar por qué deberíamos utilizar el signo 'Reconquista' para designar este evento, y no otro como 'restauración de la organización eclesíástica' (como proponía F. Ríos). Por último, aunque el término 'Reconquista' nos contextualiza al apelar a la ideología reconquistadora que existió en la época, podría parecer (como obtenemos a partir de L3 (REPRESENTATIVO)) que contextualiza mal. Esto sucede porque enfatiza demasiado la ideología reconquistadora y olvida otros elementos clave como pueden ser las motivaciones socio-económicas.

Respecto a L2 (IDEOLOGÍA), podríamos criticar dos aspectos. Primero, que, si bien puede haber existido una ideología, llamar a este elemento 'Reconquista' puede sonar bastante artificial, pues estamos relacionando un concepto que tradicionalmente se refiere a una acción de volver a conquistar algo por un concepto mucho más abstracto y filosófico como puede ser la ideología. De ahí que no sea completamente acorde y que pudiese ser más recomendable, si quisiéramos hablar de esta ideología, referirnos a ella por 'ideología reconquistadora'. Segundo, como volvemos a exponer en L3, centrarse tanto en la ideología reconquistadora puede cerrarnos las perspectivas a otros elementos que también fueron muy importantes como las motivaciones socioeconómicas.

En cuanto a L3 (CIENTÍFICO), encontramos dos críticas. Primero, frente a la ambigüedad, podemos reiterar que esto es algo del pasado, pues hoy en día se concentran dos significados principales: 'Reconquista' como proceso de expansión y 'Reconquista' como ideología. Segundo, un término científico no tiene que ser necesariamente consistente y, de todos modos, 'Reconquista' no es del todo inconsistente. Frente a lo primero, fijémonos en el término 'Años oscuros', que designa el periodo entre el año 476 y el año 1000 y que, aunque es inconsistente porque durante esta época realmente hubo bastantes hallazgos positivos, se sigue empleando dentro del léxico científico. Frente a lo segundo, 'Reconquista' no es inconsistente porque recientemente ha habido estudios que demuestran unos orígenes godos en los astures y cántabros como el Armando Besga.

Por último, respecto L4, destacamos dos críticas. Primero, que el término no tiene cargas negativas sobre la relación social cristiano-musulmana de la época. De hecho, desde la perspectiva moderna del término como ideología (L3) han



sido publicados compendios como 'Reconquista y guerra santa en la España Medieval' que, pese a utilizar este término, abordan las perspectivas tanto musulmanas como cristianas sin estar sesgados de ninguna forma. Asimismo, desde esta definición, no puede existir ninguna carga negativa porque no se apela a un enfrentamiento sino a una ideología objetiva que existió y que fue empleada. Segundo, en el aspecto psicológico-ideológico, podemos volver a señalar que la ideología fue una parte imprescindible, justificándose su importancia.

6. CONCLUSIONES DEL TRABAJO

Como conclusión del trabajo, observamos que, en principio se puede utilizar el término Reconquista como ideología, siempre y cuando se contextualice adecuadamente su significado y se instruya correctamente a la población sobre este proceso. Creemos por tanto que, gran parte de los problemas actuales del uso incorrecto del término no se deben al término en sí, sino a cómo se está manipulando para producir ciertos efectos.

Asimismo, la investigación de este trabajo nos proporciona suficiente evidencia para concluir que verdaderamente existió una ideología (en el sentido de Duby) basada en gran parte en una actitud reconquistadora. Encontramos, por tanto, el uso de este término especialmente adecuado si se utiliza como Ideología y se define antes de entrar en materia (como ocurre en dicho tomo) y también podemos llegar a comprender el uso de 'Reconquista' como proceso por la utilidad que tiene (sirve para contextualizar rápidamente sobre qué se está hablando al lector).

Sin embargo, nos parece imprescindible que prestemos atención a los puntos que enseñan L3 y L4 y sobre cómo el término puede ser en ocasiones confuso (por su ambigüedad) y no representativo. Para evitar estos defectos, debemos evaluar propuestas como la de García Sanjuán e Isabel Carrasco para cambiar definiciones de los diccionarios y replantear cómo queremos enseñar este proceso a través del sistema educativo.

BIBLIOGRAFÍA

- Alvira, M. (2019). Conquista y reconquista en la Corona de Aragón (1162-1276). En *La Reconquista. Ideología y justificación de la Guerra Santa peninsular* (págs. 187-232).
- Ayala, C. d., Henriët, P., & Palacios, S. (2017). *Orígenes y desarrollo de la guerra santa en la Península Ibérica*.
- Barbero, A., & Vigil, M. (1988). *Sobre los orígenes sociales de la Reconquista*. Barcelona.



- Barque, J. V. (2006). *La Reconquista: El concepto de España*. Espasa.
- Benaboud, M. (2017). Paz y tregua en el Al-Andalus durante el periodo de los taifas: entre la ley islámica y la realidad histórica. *Historia. Instituciones. Documentos*(26).
- Cabrer, M. A. (2021). Liturgia, escenificación y simbología de la guerra santa cristiana. En C. d. Ayala, & J. S. Palacios, *Reconquista y guerra santa en la España Medieval. Ayer y hoy* (págs. 55-84).
- Cuevas, A. M. (2020). La Reconquista: construcción de un mito identitario. Usos políticos y discursivos de un concepto anacrónico. *Nuestra Historia*, 55-72.
- Donzé, J. R. (23 de noviembre de 2020). *A vueltas con la Reconquista*. (Centinela) Obtenido de <https://revistacentinela.es/a-vueltas-con-la-reconquista/>
- Fernández, G. (2017). Los reinos cristianos de Asturias y León. *Carthaginensia*, XXXIII(63), 223-235.
- Fitz, F. G. (2001). *La Reconquista*. Universidad de Granada.
- Fitz, F. G. (2019). Crítica e hipercrítica en torno al concepto de Reconquista. Una aproximación a la historiografía reciente. En *La Reconquista: Ideología y justificación de la Guerra Santa Peninsular* (págs. 79-99).
- Jiménez, M. G. (del 29 de julio al 2 de agosto de 2002). Sobre la ideología de la Reconquista: realidades y tópicos. *Memoria, mito y realidad en la historia medieval : XIII Semana de Estudios Medievales*, 151-170.
- Mackay, A. (1977). *Spain in the Middle Ages*.
- Rodríguez, M. B. (2021). Vox y el uso de la historia: el relato del pasado remoto de España como instrumento político. *Política y Sociedad*, 58(2).
- Saloma, M. F. (2008). La Reconquista: génesis de un mito historiográfico. *Historia y Grafía*, 191-216.
- Guzmán, J.-E. (2021). Digitalización de la Teoría del Conocimiento desde una perspectiva dialógica. *En Medios y comunicación en tiempos de posverdad* (págs. 339-355).

Constelaciones asociadas al mito de Perseo: representación en el cielo según criterios históricos y científicos

/ SEGUNDO PREMIO

AUTORA | MARÍA CAMILA RODRÍGUEZ CASILIMAS

COORDINADORA | HORTENSIA FERNÁNDEZ DE MONGE ARREGUI

CENTRO | IES BARAÑÁIN

CIUDAD | BARAÑÁIN-NAVARRA

RESUMEN |

En 1930 la UAI (Unión Astronómica Internacional) encargó a Eugène Joseph Delporte asignar un área del cielo a cada una de las 88 constelaciones modernas. Anteriormente muchas civilizaciones habían estado creando su propia cultura alrededor de las estrellas, orientándose a través de ellas, dándoles nombres y relacionándolas con sus mitos y personajes. En la actualidad todas las estrellas pertenecen a una constelación oficial reconocida a nivel internacional, pero los diseños que se utilizan para representarlas no lo son y se muestran variados, poco fieles a la tradición y difíciles de reconocer en el cielo nocturno.

El presente estudio plantea diseños alternativos para representar, en sus correspondientes constelaciones, a los personajes relacionados con el mito de Perseo siguiendo criterios astronómicos e históricos, con el objetivo de facilitar la transmisión de la tradición y acercar la astronomía al público en general.

ABSTRACT |

In 1930 the IAU (International Astronomical Union) commissioned Eugène Joseph Delporte to assign an area of the sky to each of the 88 modern constellations. Before this many civilizations had been creating their own culture around the stars, orienting themselves through them, giving them names and relating them to their myths and characters. Nowadays, all the stars belong to an official constellation recognized internationally. Nonetheless, the designs that are used to represent them are not and are varied, little faithful to tradition and difficult to recognize in the night sky.

The present study proposes alternative designs to represent, in their corresponding constellations, the characters related to the myth of Perseus, following astronomical and historical criteria, with the object of facilitating the transmission of tradition and bringing the astronomy closer to the general public.



1. INTRODUCCIÓN

La astronomía siempre ha estado presente en la vida de las civilizaciones que han habitado la Tierra. Sin embargo, los elementos que componen esta ciencia son mucho menos conocidos que los componentes que forman el planeta por el que tanto se interesa cualquier naturalista y pone tanto énfasis en conocer. Al igual que preservamos monumentos, lenguas o pinturas debemos procurar preservar lo que los antiguos griegos y los árabes, entre otros, nos transmitieron en el campo de la astronomía. Lo que llegó a ser la morada de los dioses para los antiguos, hoy muchos no la reconocen en el cielo, no porque no se pueda identificar, sino porque no se nos ha enseñado a hacerlo. Es por eso que rediseñar las constelaciones con unas bases históricas, artísticas y astronómicas, que además es una manera de enlazar el humanismo, la tradición, la cultura y el arte con la ciencia y la astronomía, es tan importante. Esta es una manera de demostrar que la ciencia puede estar relacionada con el arte y con la tradición sin dejar de ser ciencia.

El objeto de estudio en este proyecto es la representación, a través de distintos diseños propuestos según criterios históricos y astronómicos, del grupo formado por las seis constelaciones relacionadas con el mito del héroe Perseo: constelación del rey Cefeo, la de la reina Casiopea, constelación de Cetus, monstruo marino o ballena, la del caballo Pegasus, la princesa Andrómeda y la del propio Perseo. Siempre con el apoyo de la ciencia y la tradición, la finalidad que se persigue es que sean más fáciles de reconocer en el cielo.

2. ANTECEDENTES Y ESTADO DE LA CUESTIÓN

2.1. ESTADO DE LA CUESTIÓN

2.1.1. ASTRONOMÍA

La astronomía siempre ha estado muy presente en la vida del ser humano. Los antiguos griegos hicieron muchas aportaciones a esta ciencia como, por ejemplo, el catálogo estelar que creó Hiparco de Nicea alrededor del siglo II a. C. Claudio Ptolomeo recogió este catálogo y todo el saber astronómico de su época en una obra que posteriormente los árabes tradujeron y nombraron como *Almagesto*. Esta última cultura también dio nombre a muchas estrellas de las constelaciones principales, nombres, que, al menos una gran cantidad, se conservan a día de hoy. Por otro lado, en occidente creció el interés por la astronomía a partir del siglo XV cuando se tradujo el *Almagesto* del árabe al latín y se aportaron grandes atlas estelares. En 1919 se creó la Unión Astronómica Internacional (en inglés IAU, *International Astronomical Union*), que en 1930 aprobó la definición de constelación que se utiliza en la actualidad. Simultáneamente encargó a Eugène Joseph Delporte asignar un área del cielo a las 88 constelaciones modernas. Desde entonces una constelación es un área bien definida de la bóveda celeste.



A lo largo de la historia se han hecho decenas de diseños diferentes para cada constelación. Las culturas que se han interesado por las estrellas han creado sus propias mitologías y constelaciones relacionadas.

2.1.2. MITO DE PERSEO, EL PASO AL CIELO

Aunque los distintos personajes del mito de Perseo ya habían sido citados por primera vez anteriormente, es en el siglo I-II d.C. cuando Apolodoro les dedica un relato completo en su obra llamada *Biblioteca Mitológica*. Todos los personajes del mito sufrieron un proceso llamado catasterismo (fueron transformados en constelación). Según Eurípides, Perseo y el caballo alado Pegasus se convirtieron en constelación a su muerte. Por otro lado, cuenta la tradición que Poseidón también transformó a Cefeo y Casiopea en una. Por último, el poeta trágico griego Sófocles narra que Atenea fue quien puso la imagen de Andrómeda en el cielo, al igual que Ceto, quien fue elevado al firmamento en recuerdo de su participación en el mito (Eratóstenes, 1999).

En el desarrollo de esta investigación se ha elaborado una versión del mito que se puede leer en Anexo 5.

2.2. CONTEXTUALIZACIÓN

En 2018 se instaló en el Planetario de Pamplona el nuevo sistema de planetario digital, el cual permite mostrar al público simulacros de los fenómenos astronómicos de una manera práctica y entretenida. Fue ahí cuando los científicos integrantes de esta institución plantearon un proyecto para rediseñar las figuras que representan las constelaciones y así tener una imagen personalizada para explicar el cielo real en las sesiones en directo. Fundamentaron su proyecto en que no existe ninguna manera aceptada por la comunidad astronómica internacional de trazar las constelaciones en el cielo real y que las figuras que aparecen en documentos astronómicos son muy esquemáticas, poco fieles a los personajes que representan y diferentes de una publicación a otra. Consecuentemente, empezaron a estudiar las propuestas de figuras realizadas a lo largo de la historia, para así establecer unos criterios que fueran coherentes y respetuosos con la tradición clásica y con el propio origen de las constelaciones definidas por la UAI. El Planetario de Pamplona ha presentado en distintos eventos astronómicos estos criterios y bastantes de sus diseños con muy buena acogida. Prevén que esta labor necesitará de unos dos años más.

3. HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS

Los objetivos de este proyecto son tres y están relacionados con las hipótesis:

1. Diseñar propuestas de representación para cada una de las seis constelaciones asociadas al mito de Perseo en base a criterios científicos e históricos. Hipótesis: serán más fáciles de reconocer en el cielo.



2. Investigar las distintas versiones del mito relacionado con la genealogía de Perseo para un diseño más ajustado.

3. Compartir los resultados con el Planetario de Pamplona, de modo que contribuyan en la transmisión y conocimiento del mito de Perseo y en el reconocimiento de sus seis constelaciones en el cielo. Hipótesis: los patrones pueden servir para que el gran público conozca y aprenda ciertas constelaciones del cielo, así como conceptos científicos y humanísticos.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Para el diseño de las constelaciones del mito de Perseo se siguieron los cinco criterios formulados por el Planetario de Pamplona, presentados en el Congreso Estatal de Astronomía en A Coruña en octubre de 2021.

1. Las estrellas utilizadas para formar un patrón deben estar dentro del área designada a esa constelación por la UAI.

2. Todas las estrellas han de ser visibles a simple vista (máximo magnitud 6).

3. Las estrellas que tengan un nombre oficial reconocido por la UAI (concretamente el Grupo de Trabajo sobre Nombres de Estrellas, WGSN), cuyo significado define su posición en la constelación, deben ser respetadas en esa misma localización.

4. Si al finalizar los diseños hay más de uno que cumple las cuatro especificaciones anteriores, se elegirá el más sencillo.

5. Si es posible, el patrón final tiene que parecerse a la actitud histórica del personaje representado por la constelación.

Los pasos seguidos para hacer los diseños de las constelaciones fueron los siguientes:

Descargar la imagen de cada una de las seis constelaciones del sitio web de la UAI. Eliminar mediante *Photopea* (una aplicación de fotos online y gratuita) todos los elementos que no son estrellas en cada una de las constelaciones. Fotocopiar el resultado en papel A3 y plastificarlo. Localizar en la imagen de la UAI, con la ayuda de *Stellarium*, las estrellas con magnitud seis o inferior. Elaborar una tabla, (en Anexo 1) con todas las estrellas pertenecientes a cada constelación, con su nombre oficial y magnitud. La relación de los significados de las estrellas y nombres alternativos también se puede encontrar en Anexo 2. Realizar el diseño uniendo las estrellas mediante líneas con un rotulador borrable, siguiendo los cinco criterios anteriores. Fotografiar el dibujo. Denominar y numerar la fotografía. Repetir los puntos 5 y 6 para tantos diseños como se fueron proponiendo. Clasificar de forma ordenada todos los diseños en una hoja de cálculo Excel. El trabajo realizado en ella se puede consultar en el siguiente enlace:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/1RCD49Tt3yNILWWRX8uFU5y4z-gH95Wr0RH-PgUpGpVQg/edit#gid=1633938993>



Finalmente, elegir la propuesta que más se adapte a los criterios del Planetario de Pamplona.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tras considerar el significado de los nombres y las magnitudes de las estrellas pertenecientes a cada una de las seis constelaciones relacionadas con el mito de Perseo, se han conseguido hacer varias propuestas para representar a los personajes de este mito. Se han elegido los patrones finales que más se ajustan a los cinco criterios mencionados en el apartado 4. En Anexo 3 se pueden ver con un tamaño mayor.

A continuación, se expone el análisis y la justificación de los patrones elegidos. En Anexos se pueden encontrar las tablas con todas las estrellas utilizadas para formar los patrones de cada constelación.

- Andrómeda (mujer encadenada):

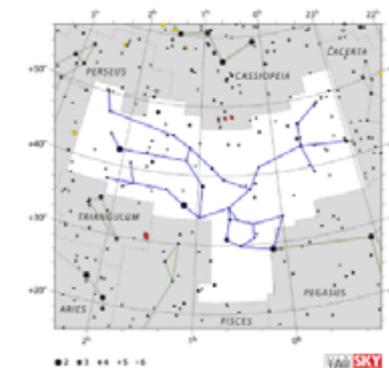


Figura 1

Diseño de la constelación de Andrómeda. Fuente: elaboración propia a partir de <https://www.iau.org/public/themes/constellations/>.

En la constelación de Andrómeda se ha intentado representar a una mujer con cadenas en las manos, lo que hace alusión al momento en el que el semidiós Perseo encuentra a Andrómeda encadenada en unas rocas en la costa del reino de Cefeo. Este diseño consta de 33 estrellas en total. Entre ellas se encuentran las llamadas Veritate, Mirach, Almach, Adhil y Alpheratz. Las dos últimas se han utilizado teniendo en cuenta la localización y significado que se les ha dado a lo largo de la historia. Adhil proviene del árabe *Al Dhail* y significa 'la Cola de una Túnica o Vestido'. En el caso de Alpheratz, en la astronomía árabe se la llamó *Al Rās al Mar'ah al Musalsalah*, 'la Cabeza de la Mujer Encadenada'. Por lo tanto, en la propuesta definitiva la cabeza de Andrómeda se encuentra en la esquina inferior derecha, su brazo derecho en la superior derecha y sus piernas y brazo izquierdo en el lado izquierdo de la plantilla.



- Casiopea (reina con espejo):

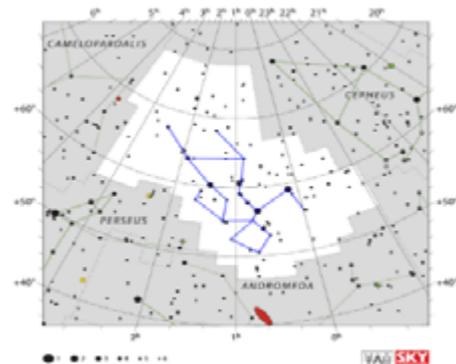


Figura 2

Diseño de la constelación de Casiopea. Fuente: elaboración propia a partir de <https://www.iau.org/public/themes/constellations/>.

La constelación de Casiopea se representa mediante la imagen de una mujer sujetando un espejo en su mano derecha. Simboliza la vanidad que se le atribuye a Casiopea en el mito de Perseo, al creerse más hermosa que las Nereidas. El dibujo está formado por 20 estrellas en total. Entre estas se encuentran las llamadas Caph, Schedar, Segin, Achird, Fulu, Castula y Ruchbah. Caph, proviene del árabe preislámico *al-kaff al-Khadib* que significa 'la Mano Manchada (de henna)'. Esta estrella, en el diseño propuesto, se localiza en lo que sería la mano de la reina, sujetando un espejo en el cual se está mirando. Por otra parte, el nombre Schedar se cree que proviene de *Al Sadr* que significa 'el Pecho'. Con respecto a Castula, se trata de una palabra latina que significa 'enagua', un tipo de falda o túnica larga que en la Antigua Roma utilizaban las mujeres. Por ello, en la imagen elegida esta estrella se localiza en el inicio de la falda del vestido con el que se representa a la reina. Así, en el diseño definitivo la cabeza de Casiopea se localiza en la parte inferior de la constelación, su brazo derecho sujetando un espejo se halla en la parte derecha del diseño, y las piernas se ubican en la parte superior, quedando la figura de Casiopea boca abajo.

- Cefeo (rey):

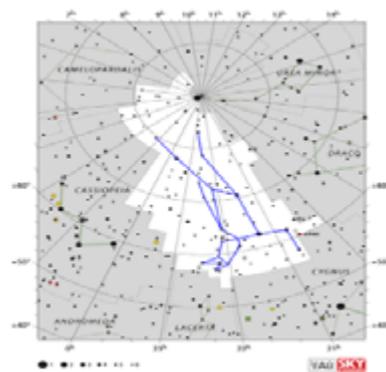


Figura 3

Diseño de la constelación de Cefeo. Fuente: elaboración propia a partir de <https://www.iau.org/public/themes/constellations/>.

En la constelación de Cefeo se ha querido representar al rey con su respectiva corona. La propuesta está compuesta por 20 estrellas. Las únicas que tienen un nombre reconocido por la UAI y una magnitud inferior a seis son Alderamin, Alfirk, Errai y Kurhah. El nombre Alderamin se cree como más probable que provenga del árabe *muqaddam al-dhira'ain* que significa 'el Anterior de los Dos Codos o Antebrazos'. En el diseño propuesto esta estrella se localiza en el hombro de Cefeo. En el caso de Errai, aunque su significado literal no tiene nada que ver con la localización de esta estrella en la constelación, en la actualidad se la suele colocar en la rodilla del rey Cefeo, lo que se ha respetado. De esta manera, en la propuesta definitiva la cabeza de Cefeo se ubica en la parte inferior de la constelación, su brazo derecho en la esquina inferior derecha y su torso y piernas en la parte superior. Por lo tanto, el rey Cefeo, al igual que la de su esposa Casiopea, se encuentra boca abajo.

- Ceto (monstruo marino):

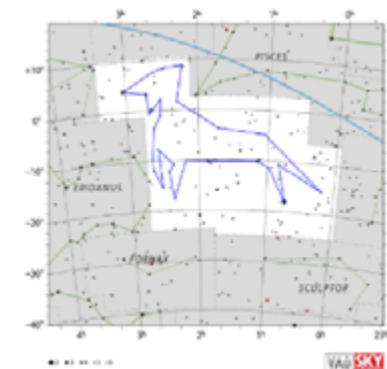


Figura 4

Diseño de la constelación de Ceto. Fuente: elaboración propia a partir de <https://www.iau.org/public/themes/constellations/>.

En el caso de la constelación de Ceto se pretende mostrar un monstruo marino semejante a algunas representaciones típicas de la Antigüedad. El diseño está compuesto por 26 estrellas en total. Entre ellas se encuentran las llamadas Menkar, Diphda, Baten Kaitos y Kaffaljdhma. Menkar proviene de *al-minkhar* 'las Fosas Nasales' y en el diseño propuesto esta estrella se localiza en la nariz. Con respecto a la estrella llamada Diphda, es el otro nombre que se le atribuye, Deneb Kaitos, el que determina su localización. Así, Deneb Kaitos proviene de *Al Kaitos al Janūbiyy* que significa 'la Cola Sur del Monstruo Marino'. Por otro lado, Baten Kaitos proviene del árabe *Al Batn al Kaitos* y significa 'el Vientre de la Ballena'. Así, la cabeza y aletas delanteras del monstruo se encuentran a la izquierda de la imagen y la cola a la derecha.



- Pegaso (caballo alado):



Figura 5

Diseño de la constelación de Pegaso. Fuente: elaboración propia a partir de <https://www.iau.org/public/themes/constellations/>.

La constelación de Pegaso presenta la imagen de la mitad delantera del cuerpo de un caballo alado. El dibujo consta de 27 estrellas, de las cuales Enif, Biham, Homam, Markab, Algenib, Alkarab y Scheat son las únicas con nombre reconocido por la UAI y magnitud inferior a seis. Enif, aunque no se sabe con exactitud, se cree que proviene del árabe *Al Anf*, 'la Nariz'. Esta se ha localizado en el morro del caballo. En el caso de Markab, se trata de una abreviación de la palabra árabe *mankib al-faras*, que significa 'el Hombro del Caballo'. Así, en la imagen esta estrella se localiza en el inicio del ala, en lo que sería su hombro, fiel a su significado. Por otro lado, Algenib se cree que proviene del árabe *Al Janāh*, que significa 'El Ala', pero también del árabe *Al Janb*, 'el Lateral', siendo este último el origen más probable. De este modo, esta estrella se suele colocar en la punta del ala del caballo. Así, la constelación del caballo alado Pegaso se dibuja boca abajo, con la cabeza en la parte inferior de la imagen, su ala en el lado izquierdo y sus patas delanteras en la parte superior.

- Perseo (semidiós sosteniendo su harpe y la cabeza de Medusa):

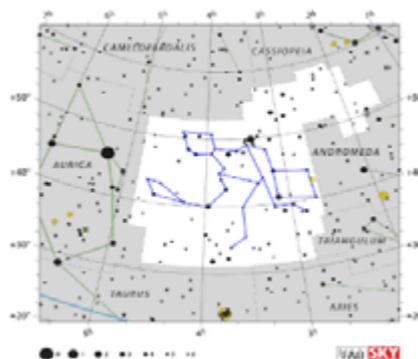


Figura 6

Diseño de la constelación de Perseo. Fuente: elaboración propia a partir de <https://www.iau.org/public/themes/constellations/>.

Para la constelación de Perseo se ha querido representar al semidiós después de realizar su hazaña. Sujeta con su mano derecha un harpe, espada ligeramente curvada que ha utilizado para matar a la gorgona Medusa, y con su mano izquierda la cabeza del monstruo. La propuesta está formada por 29 estrellas. Entre ellas se encuentran las llamadas Misam y Algol. El nombre Misam proviene del árabe *mi'sam* que significa 'la Muñeca'. Con respecto a Algol, es una abreviación de *ra's al-ghul* que significa 'la Cabeza del Demonio'. Esta estrella se suele situar en la cabeza de Medusa sostenida por Perseo, por ello en el diseño elegido esto se respeta completamente y esta estrella forma parte de lo que sería la cabeza de la gorgona. Por lo tanto, en la imagen la cabeza de Perseo se ubica en la parte superior, mientras que su mano derecha que sujeta el harpe está en el lateral izquierdo y su otra mano, que sostiene la cabeza de Medusa, en el derecho. Por otro lado, su pierna izquierda se encuentra al lado de la cabeza de Medusa y la derecha en la parte inferior del diseño.

6. CONCLUSIONES

6.1. APLICACIÓN DEL TRABAJO REALIZADO EN EL RESTO DE CONSTELACIONES

A la hora de analizar los diseños que la UAI incluye en su página web para representar cada una de las 88 constelaciones oficiales, se puede observar que los diseños pueden resultar poco ajustados a los criterios utilizados en este trabajo, criterios que pretenden facilitar la transmisión del conocimiento astronómico y la tradición a través de las constelaciones. Esto deriva en que las propuestas realizadas en este trabajo puedan ser consideradas como buenas alternativas para representar las constelaciones del mito de Perseo. Además, se pueden realizar otras propuestas para el resto de las constelaciones. Este es un trabajo que puede aportar mucho a la transmisión de la cultura que las rodea, así como al acercamiento del mundo astronómico a aficionados, personas con curiosidad o centros académicos. Por otra parte, un trabajo futuro podría ser una actividad basada en la participación del público (estudiantes, aficionados a la astronomía...) en la elección de los patrones definitivos, en base a la exactitud del diseño con el mito, la facilidad de comprensión, así como el gusto personal. Así se aúna la investigación, el rigor científico y la divulgación de la astronomía y la cultura.

En Anexo 4 se muestran dibujos detallados de los personajes del mito superpuestos a los patrones esquemáticos que se ofrecen en este trabajo.

6.2. CONCLUSIONES FINALES

Al finalizar el trabajo se consideran cumplidos todos los objetivos planteados. En primer lugar, se han elaborado distintas propuestas para representar cada una de las seis constelaciones relacionadas con el mito de Perseo eligiendo un diseño que cumple de la mejor manera posible los criterios elaborados por el Planetario de Pamplona. Por otra parte, se han investigado distintas versiones



del mito relacionado con la genealogía de Perseo con el objetivo de ajustar lo máximo posible los patrones a los detalles narrados en ellas. Además, a lo largo del proceso de la investigación ha surgido un nuevo objetivo, que consiste en compartir con los científicos del Planetario de Pamplona los diseños elaborados, por si pudieran servir de ayuda o inspiración en su tarea de transmitir la cultura y la astronomía.

BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA



ANEXOS





¿España democrática? La diferencia entre la idea y la realidad del poder del *demos*

/ TERCER PREMIO

AUTORA | JIMENA CASTILLA SANTAOLALLA

COORDINADORA | ANDREA CAROLINA MOSQUERA VARAS

CENTRO | IES GUADARRAMA

CIUDAD | GUADARRAMA-MADRID

RESUMEN |

Podemos pensar que la idea de la democracia se expresa en su totalidad cuando es llevada a la práctica, pero, al igual que cualquier idea, esta es distinta cuando es llevada a la realidad, lo que supone un déficit democrático.

Para probar esto, hemos realizado un estudio desde una perspectiva estructuralista de la idea de la democracia para tener claros sus principios fundamentales. Seguidamente, hemos procedido a estudiar cómo se expresa esta por un lado en la Constitución y por otro en la realidad para así realizar dos rúbricas (independientes) que comparen la idea con la Constitución, y la idea con la realidad.

Con ello, hemos podido concluir, a través del análisis de estas rúbricas, que existe una diferencia entre la idea de la democracia y su expresión en la Constitución, y un mayor alejamiento entre la idea y la realidad

Palabras clave: democracia, estructuralismo, Constitución, pueblo, ciudadanía.



ABSTRACT |

We may think that the idea of democracy is expressed in its entirety when it is put into practice, but, as any idea, it will be different when introduced into reality, which derives a democratic deficit.

To prove this, we have conducted a study from a structuralist point of view of the idea of democracy to properly establish its values. Straightaway, we have proceeded to study how it is expressed in the Constitution and in reality to make two (independent) rubrics that compare the idea of democracy with the Constitution, and the idea of democracy with reality.

With this, we have been able to conclude through the analysis of these rubrics, that there is a difference between the idea of democracy and its expression in the Constitution, and a greater distinction between this idea and reality.

Keywords: democracy, structuralism, Constitution, people, citizens.



1. INTRODUCCIÓN

Para abordar este trabajo, primeramente expondremos por qué hemos elegido este tema, la hipótesis que nos hemos planteado junto a los objetivos propuestos. Tras ello, explicaremos la metodología a seguir, y elaboraremos un marco teórico a partir de varios autores estudiando la concepción de cada uno acerca de la democracia para recoger su idea en el más amplio sentido. Después, estableceremos dos rúbricas y sacaremos unas conclusiones con el fin de comprobar si nuestra hipótesis queda demostrada.

MOTIVACIÓN

Normalmente como sociedad preferimos no pensar en la situación en la que vivimos, pero hay veces que es necesario ir más allá y plantearse si verdaderamente vivimos en una. Solo planteando en qué sistema vivimos y comprendiendo este en su totalidad, podremos ver si verdaderamente vivimos en una democracia, y de no ser así, hacer lo posible para que lo fuese, pero solo conociendo aquello que falla podremos intentar arreglarlo.

ANTECEDENTES

A lo largo del tiempo han sido muchos los autores que han hablado sobre la idea de la democracia así como otros han hablado de un déficit democrático como Bobbio (1986), (1988), (2014) o López (2009) así como los distintos filósofos que hemos podido entrevistar, por lo que hemos podido apoyar nuestra investigación partiendo de la existencia de sus teorías. Así mismo creemos que este trabajo tiene una parte innovadora que es el planteamiento de la cuestión a través de unas rúbricas estructuralistas.

HIPÓTESIS

Presentamos la hipótesis de que la “democracia” en la que vivimos no es tal, es decir, nuestro sistema supuestamente basado en principios propios de la democracia ciertamente no coincide totalmente con la idea de esta.

OBJETIVOS

Como **objetivos generales** nos planteamos el establecer una comparativa entre la idea y la realidad de los conceptos, y más específicamente de los de la democracia, definir la idea de democracia de manera sincrónica y especificar sus características, estudiar la expresión de esta idea en la Constitución y definir la situación actual de España en la “democracia” que vivimos; exponer sus características. Como **objetivos específicos**, nos planteamos el comparar ambos escenarios (la idea de la democracia y la Constitución y la idea de la democracia y la realidad actual de nuestro país) para lograr establecer simili-



tudes y diferencias en estos aspectos, así como el contribuir a abrir la mente y deshacer prejuicios y así fomentar el cuestionar lo supuestamente obvio.

2. METODOLOGÍA

Para abordar el estudio de los objetivos planteados utilizaremos distintas herramientas como será la de una revisión bibliográfica de obras especializadas en filosofía política. También realizaremos entrevistas a expertos sobre el tema. Cabe destacar que en ningún momento la selección se ha llevado a cabo a través de un sesgo ideológico de los autores. Además, haremos un estudio de cómo se expresa esa idea que hayamos analizado en la Constitución, y analizaremos en qué sistema vivimos, para entender la realidad política en la que nos hallamos apoyándonos de datos del Instituto Nacional de Estadística. Para establecer comparaciones entre la idea, la Constitución y la realidad utilizaremos el instrumento de la rúbrica, con la que se lleva a cabo una evaluación objetiva (Arias, 2020).

3. MARCO TEÓRICO

Este trabajo lo vamos a realizar desde la perspectiva del estructuralismo, que estudia las características sincrónicas, atemporales y estáticas de los objetos de estudio. Abordaremos, por tanto, la investigación desde un punto de vista sincrónico ya que “toda teoría es sincrónica en la medida en que expone un conjunto sistemático de determinaciones conceptuales” (Balibar, 1969, p. 324), por lo que para explicar la democracia, expondremos las características o conceptos de esta sin tener en cuenta su evolución.

3.1 DIFERENCIAS ENTRE LA IDEA Y LA REALIDAD

Una idea es “Un concepto formado por nociones que sobrepasa la posibilidad de la experiencia” (Kant, 2007, p. 399). Cuando a una palabra se le da un significado, hay que cuidarlo con rigor, ya que si se utiliza para expresar conceptos sinónimos, pierde su verdadero significado, dado que se usa en representaciones distintas (Kant, 2007). Cuando se va a llevar a cabo un sistema político, hay que intentar que concuerde lo máximo posible con su idea. (Kant, 2007).

3.2. DEFINICIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA DEMOCRACIA

DEFINICIÓN ETIMOLÓGICA

La palabra democracia proviene del griego (*demos-kratos*) y etimológicamente significa poder (*kratos*) del pueblo (*demos*). Por lo cual, etimológicamente, la palabra expresa una forma de gobierno en la que el poder reside en el pueblo (López, 2009). Cuando nos referimos a “pueblo”, nos estamos refiriendo a la ciudadanía, es decir, los ciudadanos con nacionalidad de un determi-



nado lugar. “Por definición, sólo forman parte de un demos los ciudadanos” (Vallespín, 2000, p. 169) y no todo el pueblo.

DEFINICIÓN FILOSÓFICA

Para **Platón** (1992) en la democracia distinguimos a aquellos que son votados y participan en el gobierno que son aquellos que tienen tiempo para poder dedicarse a ello, y al pueblo, que está formado por los más numerosos, pero no tienen dinero por lo que tienen que trabajar y no tienen tiempo para dedicarse a la toma de decisiones. Otra característica es la de la libertad, pero esto lo ve un problema, al considerar igualmente libre lo igual y lo desigual, es decir, hay un relativismo. **Montesquieu** (2018) apoya la idea de que en una democracia quien ejecuta las leyes está sujeto a ellas. Cuando el pueblo en masa es quien ejerce el poder, es cuando hay una democracia, y el pueblo es gobernante y gobernado. Establece la idea de la separación de poderes (que luego será abordada por distintos autores como Rousseau). Las ideas principales de **Rousseau** (2018) son la separación de los Poderes Ejecutivo y Legislativo, y que a la hora de legislar prevalezcan los intereses colectivos. Ve imposible que en sociedades grandes se pueda dar una democracia ya que es imposible que el pueblo esté constantemente reunido, y además, al gobernar la opinión de una mayoría, la totalidad del pueblo no es la que gobierna, puesto que hay una minoría que es gobernada, aunque esta situación se ve revertida cuando son unos pocos los que llegan a cargos de poder, que son los que toman finalmente las decisiones. Algunas de las ideas más relevantes de las entrevistas fueron la idea de un pueblo con autonomía de autogobernarse, el imperio de la ley, que vivimos en una democracia formal pero no real, la noción que debemos tener de la democracia como proyecto continuo o la incompatibilidad entre democracia y capitalismo.

DEFINICIÓN POLÍTICO-JURÍDICA

Las características de la democracia en Navas y Navas (2009) son la soberanía popular, la participación ciudadana, el pluralismo político, el principio de la mayoría y el respeto de las minorías, el principio de la reversibilidad del voto y la primacía del Derecho.

3.3. SISTEMA POLÍTICO ESPAÑOL SEGÚN LA CONSTITUCIÓN

“La Constitución no es una ley como otra cualquiera, sino la ley fundamental del país” (Lasalle, 1862: 34), y es que es un “sistema de reglas, sustanciales y formales, que tiene como destinatarios propios a los destinatarios del poder” (Ferrajoli, 2010, p. 32). Es el *deber ser jurídico*. Así pues, las Constituciones nunca van a poder cumplirse en su totalidad, pero establecen bases para el Derecho.



3.3.1. DEMOCRACIA EN LA CONSTITUCIÓN ESPAÑOLA

Empezaremos pues con el artículo 1. En el apartado 1.1. Se afirma que España es un país democrático y es un Estado de Derecho. Se deja claro que el *deber ser* de España es la democracia. El artículo 1.2 habla sobre que la soberanía nacional pertenece al pueblo. Finalmente, en el apartado 3 se manifiesta expresamente que en España se adopta la forma política de la monarquía parlamentaria. Este término debe entenderse como una Jefatura del Estado hereditaria (art. 57.1 CE) dentro de un sistema parlamentario de gobierno (Navas y Navas, 2009, p. 403) donde la soberanía reside en el pueblo de manera directa o indirecta, y donde el Rey tiene funciones representativas, no cuenta con poderes efectivos. Por ello, veremos que el Rey posee una “irresponsabilidad” (art. 56.3 CE) ya que, como Jefe del Estado, “al no asumir poder efectivo, no deberá responder de los actos que, en todo caso, no ha decidido” (Navas; Navas, 2009, p. 390). Otros artículos que tienen que ver con la democracia en la Constitución son, por ejemplo, el artículo 6 donde se manifiesta la necesidad del pluralismo político o el artículo 14 que recoge la igualdad ante la ley “sin que pueda prevalecer discriminación alguna por razón de nacimiento, raza, sexo, religión, opinión o cualquier otra condición o circunstancia personal o social” (art. 14 CE).

3.4. LA REALIDAD: ACTUALIDAD DE LA “DEMOCRACIA” EN ESPAÑA

CÓMO FUNCIONA EL PARLAMENTARISMO EN LA PRÁCTICA

España es una democracia representativa, ya que por medio de elecciones reguladas por la Ley Orgánica del Régimen Electoral General, los ciudadanos a través del voto eligen a representantes para que estos gobiernen puesto que “los ciudadanos tienen el derecho a participar en los asuntos públicos, directamente o por medio de representantes, libremente elegidos en elecciones periódicas por sufragio universal” (art. 23.1 CE). Por ello, podemos decir que España tiene un modelo de gobierno parlamentario, ya que los ciudadanos, mediante distintas instituciones, participan en las decisiones políticas (Guerrero, 2004). Es decir, el pueblo elige una asamblea y un Jefe de Gobierno. Encontramos también las Cortes Generales, cuya función es la de ejercer “la potestad legislativa del Estado, aprueban sus Presupuestos, controlan la acción del Gobierno y tienen las demás competencias que les atribuya la Constitución” (art. 66.2 CE). Las Cortes Generales son el Parlamento (o Congreso) y el Senado. Mientras que la función principal del Congreso es “la de representar a los ciudadanos” (Peralta, 2019, p. 12), la del Senado es “la de representar a las comunidades autónomas” (Peralta, 2019, p. 29), (art. 68 y 69 CE). Además, para elegir a nuestros representantes, se utiliza la ley proporcional de D’Hondt que hace que a circunscripciones electorales grandes sea una representación electoral, pero si se hace a nivel provincial, es en circunscripciones pequeñas, lo que “desfavorece la representación de las fuerzas políticas minoritarias” (Navas y Navas, 2009, p. 482). En cuanto al Poder Judicial, encontramos el Tribunal Supremo, que “es el órgano jurisdiccional



superior en todos los órdenes” (art. 123.1 CE). Por otro lado, el Tribunal Constitucional es la máxima representación del Poder Judicial y el “intérprete supremo de la Constitución” (art. 1.1 LOTS citado en Pérez, 2010, p. 22).

ALGUNAS AMENAZAS ACTUALES

a. **Patriarcado:** Entendemos el patriarcado “como un sistema de organización social en el que los puestos clave de poder (político, económico, religioso y militar) se encuentran, exclusiva o mayoritariamente, en manos de varones” (Puleo, 2005, p. 39). Una sociedad democrática debe proveer de las mismas oportunidades a todos sus ciudadanos, y si a los gobiernos y poderes es más difícil acceder siendo mujer, hay un déficit en la democracia.

b. **Capitalismo:** El término capitalismo puede ser entendido como “sistema económico basado en la propiedad privada de los medios de producción y en la libertad de mercado” (Real Academia Española, m., definición 1). Si en una sociedad democrática no todo el mundo tiene el mismo acceso a todo por su privatización, se devalúa la sociedad en tanto que democrática. La parte en la que se habla del libre mercado, se puede relacionar con la crítica a la libertad excesiva y al relativismo derivado de ella que expone Platón ya que, al no poner barreras ni prohibiciones a los precios, suban tanto hagan que parte de la sociedad no se puedan permitir comprar ciertas cosas, lo que conlleva una gran desigualdad.

4. RECOGIDA Y ANÁLISIS DE DATOS

4.1. IDEA DE LA DEMOCRACIA

Una vez recogidas y expuestas estas características a lo largo del marco teórico, hemos podido sacar 17 características que definen la democracia, que son las características que evaluaremos en las rúbricas: 1. El pueblo hace sus propias leyes; 2. El poder emana del pueblo; 3. El pueblo participa en la toma de decisiones; 4. Imperio de la ley; 5. Libertad de elegir entre gobernar o elegir representantes para ello; 6. Separación de poderes; 7. Igualdad ante la ley (formal) e igualdad efectiva (material); 8. Respeto a la diversidad; 9. Respeto a la mayoría; 10. Protección de las minorías; 11. Libertad de pensamiento, ideas y opiniones; 12. Pluralismo político; 13. Votaciones periódicas; 14. Comprensibilidad; 15. Facilidad para la intervención ciudadana; 16. Transparencia; 17. Intención de mejora continua.



4.2. DEMOCRACIA EN LA CONSTITUCIÓN



Rúbrica

- **El pueblo hace sus propias leyes:** recogido plenamente en el preámbulo: “el pueblo español ratifica la siguiente Constitución” (Preámbulo CE), es decir, que aprueba la Constitución, que es la ley de leyes. Además, las leyes las hacen y aprueban el Congreso y el Senado (art. 68 CE) (art. 69 CE), y estos expresan la voluntad del pueblo y les representan, por lo que supuestamente es el pueblo quien hace las leyes.
- **El poder emana del pueblo:** recogido explícita y totalmente en el artículo 1: “La soberanía nacional reside en el pueblo español, del que emanan los poderes del Estado” (art. 1.2 CE).
- **El pueblo participa en la toma de decisiones:** no está recogido explícitamente, pero sí que el pueblo elige “por sufragio universal, libre, igual, directo y secreto” (art. 68.1 CE) (art. 69.2 CE) a los miembros del Congreso y Senado, que luego son los que toman decisiones. Se recoge en el artículo 92 que las “decisiones políticas de especial trascendencia podrán ser sometidas a referéndum consultivo de todos los ciudadanos” (art. 92.1 CE), por lo que no está recogido en su totalidad, ya que se especifica que “podría” por lo que podría no hacerse así, y porque las votaciones no van a ser vinculantes, es decir, es una mera consulta.
- **Imperio de la ley: plenamente recogido:** “consolidar un Estado de Derecho que asegure el imperio de la ley como expresión de la voluntad popular” (preámbulo CE). Además, en muchos de los artículos aparece “dentro del margen de la Constitución”, por lo que se garantiza que todas las acciones tienen que estar bajo el imperio de esta ley.
- **Libertad de elegir entre gobernar o elegir representantes para ello:** está recogido totalmente para los ciudadanos (españoles) en el artículo 23: “los ciudadanos tienen el derecho a participar en los asuntos públicos, directamente o por medio de representantes, libremente elegidos en elecciones periódicas por sufragio universal” (art. 23.1), pero no lo está recogido de igual manera para aquellos que forman parte del pueblo pero no son ciudadanos, y quienes solo gozan de este derecho en las elecciones municipales en las que se haya establecido un tratado o ley (art. 13.2 CE), por lo que entendemos que la libertad es parcial al abordar sólo una parte del pueblo (los ciudadanos) y no a este en su conjunto.



- **Separación de poderes:** No se dice explícitamente pero se puede sobreentender en tanto a que el Senado tiene una función más legislativa y el Congreso más ejecutiva (art. 68 CE) (art. 69 CE), aunque los dos sean dependientes uno del otro.

- **Igualdad ante la ley (formal):** se recoge parcialmente porque sí se recoge para todo el pueblo, pues “los extranjeros gozarán en España de las libertades públicas que garantiza el presente Título en los términos que establezcan los tratados y la ley” (art. 13.1 CE) y en el mismo Título se recoge que todos los españoles son iguales ante la ley (art. 14 CE), por lo que aquellos que son del pueblo aunque no de la ciudadanía también son iguales. También encontramos la contradicción de que la persona del Rey “no está sujeta a responsabilidad” (art. 56.3), por lo que no exactamente todos son iguales ante la ley, y la contradicción que señalábamos de la desigualdad en el acceso al trono condicionado por el sexo (art 57.1 CE).

- **Respeto a la diversidad:** recogido en el artículo 14, en el que indica que no debe prevalecer discriminación en ninguna circunstancia, pero lo hace para referirse a la igualdad ante la ley, por lo que entendemos que se promueve pero no se recoge explícitamente, además de que no se recogen las distintas diversidades (de orientación sexual, de religión, de capacidad funcional...).

- **Respeto a la mayoría:** recogido en distintos artículos del Título III en cuanto a que para hacer modificaciones de ley, reformas... se necesita una mayoría (algunas veces absoluta, otras simple...) en los organismos de gobierno. Y la mayoría de los representantes, representan teóricamente a la mayoría de las voluntades de los ciudadanos.

- **Protección a las minorías:** específicamente esta idea no se recoge. Se puede deducir desde el respeto a la diversidad, pero no se menciona explícitamente.

- **Libertad de pensamiento, ideas y opiniones:** totalmente expresado: “Se reconocen y protegen los derechos: a) A expresar y difundir libremente los pensamientos, ideas y opiniones mediante la palabra, el escrito o cualquier otro medio de reproducción” (art. 20.1 CE).

- **Pluralismo político:** Se contempla en el Artículo 1.1 y se vuelve a contemplar en el artículo 6 “Los partidos políticos expresan el pluralismo político” (art. 6 CE).

- **Votaciones periódicas:** Los órganos de representación del Congreso y Senado son elegidos cada cuatro años (art. 68.4 CE) (art. 69.6 CE). Los miembros del Tribunal Constitucional son elegidos por los representantes del pueblo “por un período de nueve años y se renovarán por terceras partes cada tres” (art. 159. 3 CE), pero no se especifican unas votaciones para este órgano, solo que se forma a través de miembros propuestos (art. 159 CE).

- **Comprensibilidad:** No consta en ninguna parte. La única vez que se utiliza la palabra comprensible, es para referirse a personas detenidas (art. 17.3 CE), pero no a la comprensibilidad del sistema, por tanto, en el tema que estamos tratando estableceremos que no aparece.



- **Facilidad para la intervención ciudadana:** “Corresponde a los poderes públicos [...] facilitar la participación de todos los ciudadanos en la vida política, económica, cultural y social” (art. 9.2 CE), por lo que se recoge que debe ser garantizado este valor.

- **Transparencia:** No se recoge explícitamente en la Constitución.

- **Intención de mejora continua:** Tampoco se recoge explícitamente.

4.3. DEMOCRACIA EN LA REALIDAD



Rúbrica

- **El pueblo hace sus propias leyes:** El pueblo directamente no hace sus propias leyes. No se impide que haya referéndum para consulta ciudadana, pero estos no se promueven normalmente. Son los representantes los que elaboran las leyes en una supuesta representación del pueblo. Es “supuesta” porque estos no consultan directamente a sus representados cuando van a tomar decisiones sobre las leyes y por tanto no se escucha la voluntad real del pueblo.

- **El poder emana del pueblo:** Es cierto que sí emana del pueblo, pero no de su totalidad porque hay algunas voluntades no representadas, ya sea porque no son ciudadanos, porque no se ha conseguido votos para obtener escaños o porque no se hayan concentrado los votos en un mismo sitio para obtener los escaños que verdaderamente representan esa voluntad.

- **El pueblo participa en la toma de decisiones:** No directamente, sino a través de representantes que pretenden mostrar su voluntad pero que a veces, pueden llegar a mantener conversaciones fuera del espacio público que les lleva a cambiar alguna decisión. Tampoco se han hecho frecuentes consultas ciudadanas a nivel nacional últimamente. Además la Constitución no recoge este valor y se aleja de la idea en este sentido puesto que los resultados de los referéndums no son vinculantes, llevarlo por tanto a la práctica va a hacer que se aleje aún más de la idea primera de democracia.

- **Imperio de la ley:** Existe un imperio de la ley teórico, porque hay una Constitución que lo representa. Es decir, a la hora de juzgar las acciones, se hace en el marco de la Constitución y de sus leyes, por lo que el simple hecho de la exis-



tencia de una Constitución, implica que las acciones se establezcan en un marco jurídico. Sin embargo, hay veces que otros poderes van por encima de este, como los poderes económicos.

- **Libertad de elegir entre gobernar o elegir representantes para ello:** De nuevo, al no estar recogida en su totalidad en la Constitución, no puede ser llevada a la práctica en su totalidad. Lo que hay es cierta libertad porque se realizan elecciones, pero no todo el pueblo se puede presentar a ellas ni votar en ellas.

- **Separación de poderes:** El Congreso y el Senado son órganos independientes, pero verdaderamente dependen uno del otro, por lo que en la práctica, no hay una separación real de estos dos poderes. Además, la selección de los miembros del Tribunal Constitucional es hecha por representantes del pueblo y no por sufragio universal, por lo que puede que los representantes miren por intereses propios y no por los del pueblo, y elijan en búsqueda de una vinculación entre poderes que les favorezca.

- **Igualdad real (material):** Como hemos señalado, existen algunas amenazas para la democracia y su igualdad en el día a día como el patriarcado y el capitalismo. Por ejemplo, en España en 2021 solo el 33.3% de los puestos de estaban ocupados por mujeres. Esta desigualdad también es social y es que en 2021 se registraron 30.141 mujeres víctimas de violencia de género, por lo que podemos asegurar que no hay una verdadera igualdad realmente efectiva entre hombres y mujeres. En cuanto al capitalismo, hemos visto cómo la economía puede llegar a controlar a las democracias, incluso hay un 21,7% de población en riesgo de pobreza, por lo que en este ámbito, tampoco hay una igualdad efectiva.

- **Respeto a la diversidad:** No existe puesto que en 2021 se registraron 243 delitos contra la libertad de los ciudadanos extranjeros, no respetando la diversidad cultural de estos.

- **Respeto a la mayoría:** Las decisiones relativas a las leyes y al gobierno, se hacen de acuerdo a la mayoría en los órganos representativos, pero este respeto es relativo y no efectivo porque se hace a través de representantes que no consultan las voluntades a sus representados.

- **Protección a las minorías:** No es posible establecerlo porque se necesitaría de un estudio sociológico que estudiase si existe una protección a grupos minoritarios como lo son aquellos de los que hemos hablado (como gente con diversidad funcional o gente con opiniones minoritarias).

- **Libertad de pensamiento, ideas y opiniones:** No puede establecerse con certeza puesto que actualmente es un tema de cierta controversia (por juicios, por ejemplo, a raperos y sus letras por el debate de cuál es el límite a la libertad de la palabra y cuando se empieza a relativizar esta) y habría que analizarlo más a fondo.

- **Pluralismo político:** Existe un verdadero pluralismo político ya que contamos con 4.506 partidos políticos registrados y se permite la creación de nuevos.

- **Votaciones periódicas:** hay votaciones periódicas para la elección de los órganos del Congreso y del Senado (cada cuatro años, si no hay una moción de censu-



ra), pero es obligatorio que se llevan a cabo y se llevan efectivamente a término para elegir a los representantes del pueblo. En cambio, no hay votaciones para el órgano del Tribunal Constitucional desde el pueblo.

- **Comprensibilidad:** No podemos afirmar que no exista ninguna comprensión acerca del sistema en el que vivimos y su funcionamiento, porque para ello necesitaríamos realizar una serie de encuestas sociológicas, pero sí podemos ver que no se programan actividades sobre divulgación acerca de este tema, como lo serían, por ejemplo, tener asignaturas específicas sobre esta materia en los cursos de enseñanza obligatoria.

- **Facilidad para la intervención ciudadana:** Podemos decir que existen métodos para la intervención ciudadana como los referéndums o la recogida de las 500.000 firmas de las que hablábamos para las propuestas populares. Pero al llevarlo a la realidad, estos no están facilitados puesto que los referéndums se hacen escasas veces y para una propuesta ciudadana hay que llevar a cabo un gran proceso de burocratización; y no son efectivos porque no se garantiza que esa voluntad sea vinculante para las decisiones de gobierno.

- **Transparencia:** Exceptuando el dilema de que algunas reuniones son a puerta cerrada, hay bastante transparencia ya que en la web del gobierno y de los ministerios, se publican Boletines Oficiales, presupuestos y comunicados, y las reuniones en el Senado y Congreso pueden ser oídas por todos. Hay mucha transparencia por ello, pero no se alcanza una transparencia total.

- **Intención de mejora continua:** No es posible establecer una conclusión determinante al respecto, ya que para ver si en la realidad se tiene esta concepción y afán por mejora continua, habría que hacer un estudio sociológico sobre esto.

5. CONCLUSIONES GENERALES

Después del el análisis de las rúbricas, podemos establecer que, mientras que en la Figura 1 había más ítems en positivo y alguno intermedio, mientras que en la Figura 2 predominan los ítems en negativo-intermedio frente a los positivos. Obtenemos la conclusión de que la Constitución sirve como tránsito entre la idea y cómo se debe representar en la realidad. Y es que está a caballo entre la idea y la realidad, puesto que en relación con la idea de la democracia propiamente dicha, la Constitución es una puesta en práctica, y por tanto una “primera realidad” de esta por lo que no va a cumplir esta idea al 100%. Y en relación a la realidad, la Constitución es la idea de cómo llevar a la práctica este sistema democrático al que ha pretendido ceñirse, y por tanto la realidad (“segunda realidad”) también va a distanciarse de la idea de la Constitución ya que es a la vez una puesta en práctica de la idea que se presenta en la Constitución, por lo tanto la idea de la democracia sufre una doble degradación: de la idea a la Constitución, y de esta a la realidad. Por tanto, nuestra hipótesis quedaría confirmada.



6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Balibar, É. (1969) "Elementos para una teoría del tránsito". En Althusser, L. *Para leer El capital*. Madrid: Siglo veintiuno.

Bobbio, N. (1986). *El futuro de la democracia*. (Trad. Fernández Santillán, José F.). México: Fondo de Cultura Económica.

Constitución española (BOE núm.311, de 29 de diciembre de 1978).

Instituto Nacional de Estadística. Disponible en: <https://www.ine.es/> [Consultado 11-12-2022]

Kant, I. (2007). *Crítica de la razón pura*. (Trad. Caimi, Mario). Buenos Aires: Colihue.

López, J. (2009). *Rumbo a la democracia*. Disponible en: <https://joselopezsanchez.files.wordpress.com/2009/04/rumbo-a-la-democracia5.pdf> [Consultado 23-07-2022]

Montesquieu (2018). *El espíritu de las leyes*. Ciudad de México: "Colección Clásicos Universales de Formación Política Ciudadana.

Navas, A. y Navas, F. (2009). *El Estado constitucional*. Madrid: Dykinson, S. L.

Platón (1992). *Diálogos IV: República* (Vol. 94). (Trad. Eggers Lan, C.). Madrid: Gredos.

Rousseau, J. (2004). *El contrato social*. (Trad. Azcoaga, Enrique). Madrid: Edaf.

Vallespín, F. (2000). *El futuro de la política*. Madrid: Taurus



Bibliografía completa



Entrevistados, preguntas realizadas y conclusiones de las entrevistas

La valoración de los hechos desde la posverdad. Una superación de los valores veritativos clásicos

/ ACCÉSIT

AUTORA | SARA LORENTE GARRIDO

COORDINADORA | BELÉN MOLINA GÓMEZ

CENTRO | IES DR. PEDRO GUILLÉN

CIUDAD | ARCHENA-MURCIA

RESUMEN |

En los últimos años, el auge de la tecnología y de los medios de comunicación, al igual que la limitación del razonamiento crítico, ha causado que la credibilidad de las noticias falsas vaya en aumento. Además, los medios de comunicación se han politizado (sesgado) y ellos son las vías por las cuales todas las noticias son transmitidas. Tal tendencia es motivo de preocupación, pues supone que la verdad quede desplazada y sustituida por un juego de intereses variados. Este estudio pretende acercarse a la verdad mediante el análisis de los sesgos cognitivos y la Posverdad. La parte práctica de este proyecto se desarrolla dentro del IES Dr. Pedro Guillén y pretende conocer que cantidad de alumnos son víctimas de las cada vez más crecientes noticias falsas que son expuestas como verdaderas.

Palabras clave: Posverdad, sesgos cognitivos, noticias falsas, medios de comunicación.

ABSTRACT |

In recent years, the rise of technology and The Media, as well as the limitation of critical reasoning, have caused the credibility of fake news to increase. In addition, the media have become politicized (biased) and they are the channels through which all news is transmitted. Such a trend is cause for concern, since it supposes that the truth is displaced and replaced by a set of varied interests. This study aims to get closer to the truth through the analysis of cognitive biases and Post-truth. The practical part of this project is developed within the IES Dr. Pedro Guillén and aims to find out how many students are victims of the increasingly growing fake news that are exposed as true.

Keywords: Post-truth, cognitive biases, fake news, mass med.



1. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia el ser humano ha recibido información del medio que le rodea, generando una respuesta para mejorar su adaptación al mismo. La forma en la que esta información se ha ido transmitiendo ha variado, desde la antigüedad con la transmisión oral, hasta la actualidad, con formas de transmisión más complejas, como las Redes Sociales, que permiten que la información fluya con mucha rapidez. El problema de esta forma de información es, como bien sostiene McIntyre (2018), que contribuye al “silo de la información” y eso hace que la información aparezca y se reciba de manera sesgada.

Esto da lugar a la infoxicación de los individuos, es decir, la sobre carga de información difícil de procesar, además del silo de la información, que hace que esta información se transmita y se reciba de forma sesgada.

Los sesgos cognitivos son atajos mentales muy útiles a la hora de evitar el desgaste emocional que se produce cuando hay un desajuste entre la realidad y la forma de ver el mundo de cada individuo, es decir cuando algo no gusta, o no encaja en las creencias de uno mismo. Esto, como se puede ver en uno de los artículos del libro editado por Galindo y Ujaldón (2018), Quintana lo llama una disonancia cognitiva. La disonancia cognitiva aumenta cuanto mayor es el número de individuos que la perciben, por lo que mayor es la presión social recibida y más fácil es aceptar como verdadera esta disonancia.

Esto da lugar al sesgo de confirmación que consiste en interpretar la información recibida de manera que nuestras creencias se confirmen. Dicho de otra manera, la información recibida posiblemente sea cierta, sin embargo, la interpretación que cada uno hace de la misma no tiene por qué serlo.

2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

2.1. JUSTIFICACIÓN

En esta investigación se estudiará la presencia de la Posverdad y los sesgos cognitivos en la vida cotidiana y cómo influyen en los seres humanos. Además, también es relevante conocer de qué manera las noticias sesgadas que aparecen de forma continua en los medios de comunicación afectan al pensamiento crítico de los alumnos del IES Dr. Pedro Guillén de Archena.

2.2. OBJETIVOS

2.2.1. OBJETIVOS GENERALES

Objetivo General 1 (OG1): Analizar los elementos que han hecho posible el surgimiento de la Posverdad.



Objetivo General 2 (OG2): Estudiar el fenómeno de la Posverdad, así como sus consecuencias más inmediatas en los estudiantes del IES Dr. Pedro Guillén de Archena.

2.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Objetivo Específico 1 (OE1): Analizar como los elementos que hacen posible el surgimiento de la Posverdad influyen en la toma de decisiones.

Objetivo Específico 2 (OE2): Valorar el grado de credibilidad de las noticias falsas en los últimos años y en especial durante la pandemia a través de los escolares del IES Dr. Pedro Guillén de Archena.

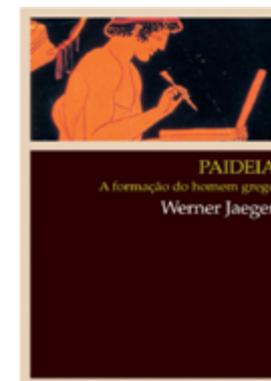
3. MARCO TEÓRICO

El término Posverdad fue determinado en 2017 por la RAE como “distorsión deliberada de la realidad, que manipula creencias y emociones con el fin de influir en la opinión pública y en actitudes sociales.”

Pero la Posverdad se puede rastrear mucho antes, concretamente en la Grecia Antigua, con el debate entre paideia sofista y paideia socrática. Este debate se origina pues los sofistas piensan que la verdad es inaccesible, mientras que los socráticos piensan que la verdad se puede llegar alcanzar con la ayuda de un maestro.

Ilustración 1

Libro de Werner Jaeger
Paideia: los ideales de la
cultura griega Fuente:
WMF Martins Fontes



La palabra Posverdad nos sitúa en un espacio ajeno a la verdad. La verdad y la objetividad se desplazan a un segundo plano y son reemplazadas por las emociones. Estas emociones dan lugar a discursos basados en la manipulación y que gracias a las redes sociales e viralizan con mucha rapidez.

Así, se puede afirmar que el auge de la Posverdad está motivado por las redes sociales, pues en ellas la mayoría de hechos no se contrastan, ya que, como encajan con nuestras creencias, contrastarlos supone un ataque a las mismas. De igual manera, difundir hechos no contrastados que encajen en nuestras creen-



cias nos suponen un beneficio. Así, cada vez es más difícil de distinguir las noticias y los relatos falsos de los verdaderos. Ante esta situación solamente llegan a la verdad, aquellos que se molestan en buscarla realmente.

Se puede ver así que la posverdad es la suma de la herencia griega y la herencia moderna, que suponen al mismo tiempo, tanto la base, como la ruptura de nuestra sociedad. A esto, se le añade el último aporte de este siglo, la sociología líquida. De esta manera el mundo deja de ser sólido y pasa a ser líquido y como dice Bauman (20015) esto favorece la Posverdad. Por ello, Bauman identifica la sociedad actual como líquida, ya que es fluida, volátil, carente de valores sólidos y en la cual hay una gran incertidumbre debido a los continuos cambios.

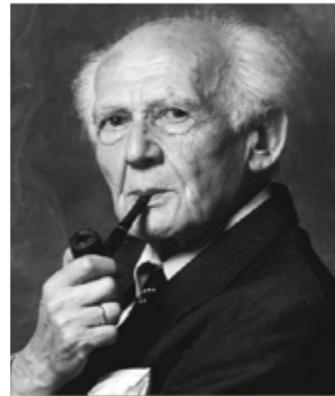


Ilustración 2

Profesor Zygmunt Bauman Fuente: wmagazin.com (2021)

En definitiva, son tiempos difíciles, tiempos de superación, en los que gracias a la filosofía que nos ha enseñado a ser críticos con todo cuantos nos rodea, parece necesario darles cierta importancia a estas reflexiones, aunque no sean científicas, pero manteniendo el punto de vista crítico, pues no conocemos las fuentes en las que se han basado. La ciencia y sus diversas disciplinas pueden llegar a ser complicadas, pero el deber del que sabe es hacerlas comprensibles para todos, como dice McIntyre (2018) en su libro *Posverdad*. Al igual que en los tiempos de Platón, la ciencia ha de bajar a la caverna y evitar que haya controversia.

Antes, se ha comentado que el deterioro de los medios de comunicación está vinculado al auge de las redes sociales, y aunque este fenómeno sea de más actualidad también se debe destacar el deterioro de los medios de comunicación tradicionales, vinculado al nacimiento de la tele por cable.

Tras el nacimiento de la tele por cable, los espectadores podían decidir en qué cadena informarse. El problema es que cada cadena transmite la información de manera diferente, es decir, la sesgan y además ya no es informar lo que importa, sino presentar la información de manera interesante. Como consecuencia, es cada vez más difícil distinguir entre opinión y verdad. A esto se le denomina sesgo mediático.



Algunas cadenas intentaron corregir el problema del sesgo mediático a través de las pantallas partidas. Se trataba de exponer la información desde dos puntos de vista distintos a través de la división de la pantalla de la tele en dos. Por ejemplo, si ponemos a un experto en sanidad y a un experto en economía, al estar en un mismo plano y hablando de un mismo tema, se crea en el espectador una sensación de igualdad que en realidad no existe. Las pantallas partidas muestran la realidad en igualdad de tiempo y espacio, pero no de condiciones.

Las pantallas partidas generan controversia y a la controversia no le preocupa la verdad sino la polémica. La ciencia no es amante de la controversia, pero la política y los medios de comunicación sí lo son. Por otra parte, las redes sociales y los medios de comunicación no tradicionales son los responsables de que las noticias generales, las noticias medio verdaderas y las historias inventadas, convivan en el mismo espacio, por lo que es difícil diferenciar cuáles son las verdaderas y cuáles no.

En conclusión, la Posverdad tiene el poder de nublar nuestra visión y una vez que conocemos su origen, hay que combatirla. Los culpables de esta situación somos nosotros, por ello, también somos nosotros los responsables de solucionarla.

4. METODOLOGÍA

4.1. METODOLOGÍA GENERAL, MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se encuentra dentro de las ciencias empíricas, tanto ciencias sociales, como naturales, por lo que se sigue el método científico para llevarla a cabo. Este Proyecto se trata de un estudio psico-sociológico, para determinar cómo afectan las noticias falsas a la sociedad y determinar el grado de credibilidad de las mismas.

La metodología de esta investigación es cuantitativa y cualitativa. Por una parte, está centrada en la recogida de datos, a través de una encuesta, para observar cuando los individuos estudiados determinan si una noticia es falsa o no. Además, también tiene carácter cualitativo pues se han recopilado y analizado datos no numéricos, de diversos materiales académicos elaborados por filósofos, psicólogos o sociólogos expertos en la materia.

Como ya se ha dicho, la encuesta ha sido el método elegido para realizar la parte cuantitativa de este trabajo de investigación. Esta ayudará a determinar la capacidad de razonamiento y rigor científico de los alumnos de 3º y 4º de la ESO y 1º y 2º de Bachillerato del IES Dr. Pedro Guillén.

Esta encuesta se basa en una serie de preguntas, todas ellas falsas y que surgieron durante la pandemia. En ella los encuestados deberán determinar si la noticia a la que se enfrentan es verdadera o falsa y decir por qué. Así podremos observar qué porcentaje de la población estudiada sabe determinar la veraci-



dad de una noticia. En conclusión, la encuesta es un test para saber si los encuestados tienen capacidad de razonamiento crítico no

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

En la encuesta que hemos realizado hemos obtenido una gran cantidad de resultados, de los cuales se van a analizar los más relevantes y los que aportan mayor información.

La noticia número 1 expone que hay un grupo en la comunidad de Madrid que está traspasando el VIH. En la noticia se dice que empezó en Fabrick y ahora está en BlackHouse, ambas son discotecas de la comunidad. Los resultados obtenidos de la encuesta son los siguientes:

	NOTICIA 1	
PORCENTAJE	VERDADERO	FALSO
3º- 4º ESO	65,79%	34,21%
1º- 2º BACH	64,00%	36,00%

En la noticia número 2 se cita a Steve Hotze, un médico de Texas (EEUU) que dirige el Centro de Salud y Bienestar Hotze de Houston, y se pregunta si lo que dice es verdadero o falso. “Las vacunas contra la COVID-19 son un peligro y riesgo mucho mayor para su salud que la COVID-19. Las vacunas de ARN mensajero son una terapia genética experimental.” Los resultados obtenidos de la encuesta son los siguientes:

	NOTICIA 2	
PORCENTAJE	VERDADERO	FALSO
3º- 4º ESO	28,95%	71,05%
1º- 2º BACH	32,00%	68,00%

Tabla 1

Porcentaje de alumnos que han votado verdadero o falso en la noticia 1. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2

Porcentaje de alumnos que han votado verdadero o falso en la noticia 2. Fuente: Elaboración propia.



Tabla 3

Comparación de porcentajes entre los alumnos de 3º de la ESO y 2º de bachillerato. Fuente: Elaboración propia

	NOTICIA 2	
	VERDADERO	FALSO
3º ESO	7,69%	92,31%
2º BACH	42,86%	57,14%

La noticia número 4 dice que en Alemania ya se ha encontrado la cura para el coronavirus, gracias a que los médicos alemanes desobedecieron la ley mundial de la salud OMS de no realizar autopsias a los fallecidos por coronavirus. Esta sería la manera en la que habrían hallado que la causa de la COVID-19 no es un virus sino una bacteria que produce la muerte haciendo que se formen coágulos en la sangre. Los resultados obtenidos de la encuesta son los siguientes:

	NOTICIA 4	
	VERDADERO	FALSO
3º ESO	7,69%	92,31%
2º BACH	0,00%	100,00%

Tabla 4

Porcentaje que ha votado verdadero o falso en la noticia 4. Fuente: Elaboración propia.

La noticia número 7 dice que, si un ladrón te fuerza a sacar dinero de un cajero, no hay que discutir ni resistirse. Lo que hay que hacer es poner tu número de pin al revés [en el cajero] (Ejemplo: si tu pin es 1234, pones 4321). Cuando haces eso, el dinero saldrá, pero se quedará “atascado”. El cajero avisará a la policía y empezará a tomar fotos sin que el ladrón se dé cuenta. De esta noticia, los resultados obtenidos de la encuesta son los siguientes:

	NOTICIA 7	
	VERDADERO	FALSO
3º ESO	53,85%	46,15%
2º BACH	0,00%	100,00%

Tabla 5

Porcentaje que ha determinado la noticia 7 verdadera o falsa. Fuente: Elaboración propia.



En la noticia número 18 se dice que las vacunas contra la COVID-19 autorizadas en España se están inoculando sin prescripción médica a pesar de ser obligatorias. Las comunidades autónomas están administrando estas vacunas sin prescripción porque nadie quiere hacerse cargo de las consecuencias de la vacunación. Sin embargo, la normativa en vigor exige la prescripción médica obligatoria, tanto en vacunas de calendario como en las no financiadas. Los resultados obtenidos de la encuesta en esta noticia son los siguientes:

	NOTICIA 18	
	VERDADERO	FALSO
3º ESO	46,15%	53,85%
2º BACH	14,29%	85,71%

La noticia número 21 dice que las principales gasolineras de España van a vender carburantes sin impuestos durante un día debido a la presión fiscal. En concreto, señala que el combustible se venderá a un precio por litro que oscila entre los 45 céntimos para el diésel y los 60 céntimos para la gasolina. Los resultados obtenidos en la encuesta sobre esta noticia son los siguientes:

	NOTICIA 21	
	VERDADERO	FALSO
3º ESO	7,69%	92,31%
2º BACH	57,14%	42,86%

6. CONCLUSIONES

Una vez analizados todos los objetivos generales y específicos planteados en la presente investigación, procedemos a exponer las conclusiones derivadas de la misma:

Objetivo General 1 (OG1): Analizar los elementos que han hecho posible el surgimiento de la Posverdad.

El objetivo general 1 (OG1) se ha alcanzado, pues mediante una revisión bibliográfica se ha realizado un estudio de la Posverdad desde su origen, en el que nos hemos aproximado a dicho término y durante el cual se han podido analizar los elementos que lo han hecho posible.



Objetivo General 2 (OG2): Estudiar el fenómeno de la Posverdad, así como sus consecuencias más inmediatas en los estudiantes del IES Dr. Pedro Guillén de Archena.

El objetivo general 2 (OG2) se ha conseguido, pues como se ha dicho anteriormente, hemos podido realizar un estudio de este fenómeno, al igual que de sus consecuencias. Este objetivo se ha cumplido además mediante la encuesta, pues en ella se han podido observar claramente las consecuencias más inmediatas de la Posverdad en los estudiantes del IES Dr. Pedro Guillén.

Objetivo Específico 1 (OE1): Analizar como los elementos que hacen posible el surgimiento de la Posverdad influyen en la toma de decisiones.

El objetivo específico 1 (OE1) se ha cumplido, pues durante el estudio del término Posverdad, se tuvieron que analizar los elementos que hicieron posible su surgimiento. Durante el análisis de estos observamos de qué manera afectan a la hora de tomar de decisiones, como es el caso de los sesgos cognitivos, que condicionan de forma determinada nuestra forma de sobrellevar una situación.

Objetivo Específico 2 (OE2): Valorar el grado de credibilidad de las noticias falsas en los últimos años y en especial durante la pandemia a través de los escolares del IES Dr. Pedro Guillén de Archena.

El objetivo específico 2 (OE2) se ha alcanzado gracias a la encuesta, pues en esta hemos podido tanto analizar como valorar el grado de credibilidad que los alumnos del IES Dr. Pedro Guillén les dan a ciertas noticias falsas que han ido surgiendo en los últimos años.

Finalmente, podemos concluir que a pesar de que muchos encuestados se han equivocado a la hora de determinar la veracidad de ciertas noticias, los resultados han sido esperanzadores, pues las noticias en las que menos se han equivocado los encuestados han sido las preguntas de carácter científico.

Tabla 6

Porcentaje que ha determinado la noticia 18 verdadera o falsa. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 6

Porcentaje de alumnos que han votado verdadero o falso en la noticia 21. Fuente: Elaboración propia.



7. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Bauman, Z. (2015). *Modernidad líquida*. Fondo de cultura económica.
- [2] Cerezo, M. (2020) “Sesgos cognitivos en la comunicación y prevención de la COVID-19”, *Revista Latina de Comunicación Social*, vol (78), pp. 419-435. Disponible en: <http://nuevaepoca.revistalatinacs.org/index.php/revista/article/view/225/825> [Consultado 26/08/2021]
- [4] Cortada de Kohan, N., Macbeth, G. (2006). “Los sesgos cognitivos en la toma de decisiones”. *Revista de Psicología*, vol (3). Disponible en: <http://bibliotecadigital.uca.edu.ar/repositorio/revistas/sesgos-cognitivos-toma-de-decisiones-kohan.pdf> [Consultado 26/08/2021]
- [6] Galindo, A., & Ujaldón, E. (2018). *¿Quién dijo populismo?*
- [10] Marin-Casanova, J. A (2019).” Posverdad y fake news ¿Moda o modo?”. *Revista de estudios de ciencias sociales y humanidades*, vol (41) pp. 105-111. Disponible en: <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/90221/Posverdad%20y%20fake%20news.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [Consultado 26/08/2021]
- [11] McIntyre, L. (2018). *Post-truth*. MIT Press



María Magdalena: la construcción del estereotipo femenino en la historia del arte

/ PREMIO UNIVERSIDAD DE MÁLAGA

AUTORA | BOUCHRA TAYBI KHARMACH

COORDINADOR | PABLO IJALBA PÉREZ

CENTRO | IES VALLE DEL EBRO

CIUDAD | TUDELA-NAVARRA

RESUMEN |

Este trabajo pretende ser una investigación en historia del arte sobre la representación y la interpretación de María Magdalena en los dos últimos milenios. Según nuestro conocimiento, no hay hasta la fecha ningún otro estudio sobre este tema con las técnicas y el enfoque utilizados, del Catálogo Razonado (CR) y la historia del arte feminista. La hipótesis general del trabajo es que ambos servirán para proporcionar datos que aporten nuevo conocimiento sobre María Magdalena, sobre los sistemas de representación visual dominantes en el pasado, en especial de lo femenino y lo sexual; y la transmisión de una tradición iconográfica concreta, en este caso la de María Magdalena, en contextos históricos diferentes y en el mundo del arte. El presente estudio ha permitido obtener algunos datos sobre la transmisión de esta figura a lo largo de la historia del arte y la construcción de estereotipos femeninos. También ha demostrado el potencial que el uso del CR tiene como técnica exploratoria para una investigación de este tipo. La principal aportación que la historia del arte feminista ha realizado en el estudio ha sido establecer un cuestionamiento de las interpretaciones vigentes sobre María Magdalena y lo fuertemente estereotipada que ha permanecido su figura. Entre otras cosas, la aparente sexualidad de muchas de las imágenes de ésta sigue 'desafiando' a los historiadores del arte, como sentencia Debby (2003), y es tal vez la forma más breve de resumir la necesidad de replantear las interpretaciones que se realizan desde la crítica presente.



ABSTRACT |

This work intends to be an investigation in art history on the representation and interpretation of María Magdalena in the last two millennia. To our knowledge, there is to date no other study on this subject with the techniques and approach used, the Catalog Raisonné (CR) and feminist art history. The general hypothesis of the work is that both will serve to provide data that contribute new knowledge about María Magdalena, about the dominant visual representation systems in the past, especially of the feminine and the sexual; and the transmission of a specific iconographic tradition, in this case Mary Magdalene, in different historical contexts and in the world of art. This study has made it possible to obtain some data on the transmission of this figure throughout the history of art and the construction of female stereotypes. It has also shown the potential that the use of CR has as an exploratory technique for research of this type. The main contribution that the history of feminist art has made in the study has been to establish a questioning of the current interpretations of Mary Magdalene and how strongly stereotyped her figure has remained. Among other things, the apparent sexuality of many of the images in it continues to 'challenge' art historians, as Debby (2003) states, and is perhaps the shortest way to summarize the need to rethink the interpretations that are made from the present critique.



1. INTRODUCCIÓN

Fue nuestro profesor de Historia del Arte quien nos habló sobre una exposición temporal que había en 2021 en un museo holandés, el Catharijneconvent, en Utrecht, sobre María Magdalena. La finalidad según declaró en los medios su comisaria, Lieke Wijnia, era mostrar todas las caras de María Magdalena, pero especialmente reflejar la dualidad de su figura: mujer arrepentida, ejemplo de fe, y mujer acusada de pecadora, reivindicativa de la sexualidad que es tabú (*El País*, 25/06/2021).

El primer falseamiento de la historia de esta mujer, ya que esta idea de que era una pecadora no aparece en ninguno de los Evangelios, procede de un sermón pronunciado por el papa Gregorio Magno en el año 591: «Está claro, hermanos, que la mujer usó previamente el unguento para perfumar su carne en actos prohibidos» (Homilía 33 sobre Lucas 7, 36- 50)¹. Fue en 1969 cuando otro papa, Pablo VI, admitió esta falsa acusación y retiró el apelativo de ‘penitente’ para María Magdalena del calendario litúrgico. En 1988 fue Juan Pablo II quien la elevó a la categoría de ‘apostola apostolorum’, es decir, ‘apóstol de los apóstoles’, por ser la primera a quien se aparece Cristo resucitado. Y desde 2016, ahora ya como santa, se celebra su fiesta el 22 de julio en el calendario romano como lo ordenó el papa Francisco.

Sí que es cierto que lo primero que destaca en una aproximación a María Magdalena son las múltiples versiones existentes sobre su figura, construidas a lo largo de la historia, que llegan hasta la actualidad (*Código Da Vinci* incluido), y que en la mayoría de casos no se basan en la investigación histórica (Ehrman, 2007, p. 85 y ss.; Casey, 2010, p. 107). Según Ehrman (2007, p. 285 y ss.) se pueden agrupar: en la edad contemporánea predomina una María Magdalena *mediática* (una ‘superestrella’ según Bolton, 2020, p. 27), protagonista de dramas, películas y novelas; en la Edad Media fue muy *popular*, gracias a la difusión de *La leyenda dorada* de Jacobo de Vorágine que escribió hacia 1260; y la *discutida* del primer cristianismo. ‘María Magdalena’ únicamente aparece mencionada en trece ocasiones en todo el Nuevo Testamento, que corresponden con seis episodios narrados en diferentes apartados. Conviene aclarar que uno de los temas más presente en la historia del arte y que protagoniza María Magdalena, cuando unge a Jesús en casa de Simón el fariseo (Lucas 7:37-39), en realidad el texto original solo dice que fue una mujer anónima; que Marcos (14:3-9) aclara que era una ‘pecadora’, y que Juan (12:1-8) identifica como María de Betania (Casey, 2010, p. 391). Este es un ejemplo de confusión entre las múltiples ‘María’ que aparecen mencionadas en los Evangelios y cuya identidad es difícil de atribuir (Ehrman, 2007, p. 305). Tampoco es María Magdalena la mujer a la que quieren apedrear un grupo de hombres por haber cometido adulterio (Ehrman, 2007, p. 328).

¹ Se ha consultado la edición de Biblioteca de Autores Cristianos, volumen Obras, de 1958.



Este trabajo pretende ser una investigación en historia del arte sobre la representación y la interpretación de María Magdalena en los dos últimos milenios. Según nuestro conocimiento, no hay hasta la fecha ningún otro estudio sobre este tema y, menos aún, con las técnicas y el enfoque que proponemos: el Catálogo Razonado (CR) y la historia del arte feminista. De hecho, la hipótesis general que recorre el trabajo es que ambos servirán para proporcionar datos que aporten nuevo conocimiento sobre María Magdalena, sobre los sistemas de representación visual dominantes en el pasado, en especial de lo femenino y lo sexual (el denominado ‘estereotipo femenino’ según Parker y Pollock, 2021, p. 53), y la transmisión de una tradición iconográfica concreta, en este caso la de María Magdalena, en contextos históricos diferentes y en el mundo del arte. Mediante el estudio de las formas de representación de María Magdalena en la historia del arte se pretenden cubrir los siguientes objetivos:

1. Comprobar la aplicación de una técnica de tipo formalista, como es la del catálogo razonado, para la investigación de una historia del arte pretendidamente renovadora (*New Art History*, feminista).
2. Descubrir las características que conforman el estereotipo femenino de María Magdalena en la historia del arte: su origen, evolución y vigencia. Esto debería permitir aproximarse al conocimiento de cuestiones referidas al tratamiento artístico de temas como el religioso, el desnudo, o la mujer, entre otros.
3. Evaluar las interacciones entre el discurso hegemónico masculino y la práctica cultural vigente, al contrastar las fuentes documentales de tipo histórico sobre María Magdalena con la evolución de sus representaciones en el arte.

2. METODOLOGÍA

Se plantea un estudio del tipo monográfico dentro de la historia del arte basado en la técnica del Catálogo Razonado (CR). La siguiente descripción se ha basado en la consulta de los criterios establecidos por otros catálogos razonados que incluyen aclaraciones metodológicas: el de la Fundació Gala – Salvador Dalí (disponibles en su web), el del Museo de Arte Contemporáneo de la Facultad de Artes de la Universidad de Chile (2017), el de la Facultad de Artes de la Universidad Nacional de La Plata (Andruchow, 2020). La confección de un CR para la investigación en historia del arte combina tres niveles de análisis:

1. NIVEL EMPÍRICO.

a. Dimensiones del trabajo: definición del tema, elaboración de un ‘mapa’ de piezas, criterios de selección del objeto de estudio (de las piezas), establecimiento de tramos: períodos o etapas que agrupen técnicas y rasgos comunes en una misma cronología.

2. NIVEL ICONOGRÁFICO: ANÁLISIS FORMAL Y EVALUACIÓN ESTÉTICA.



3. NIVEL CONCEPTUAL.

a. a. Estudio visual: examen directo de obras y consulta de obras a través de fotografías.

b. Documentación complementaria: Informaciones proporcionadas por las fichas de catalogación de los museos sobre cada pieza, catálogos de exposiciones y bibliografía.

Se establecen los siguientes criterios para incorporar obras al CR (se destacan en negrita los que funcionan como criterios de inclusión y exclusión): a) Arte: pintura, escultura, fotografía; b) Fecha: cualquiera; c) Autor: conocido o no; d) Técnica: cualquiera; e) Soporte: cualquiera; f) Género: cualquiera; g) Tema: cualquiera; h) Motivo: María Magdalena, sola o con otros personajes; i) Localización: musealizada (museo, colección, catálogo).

La búsqueda de obras comenzó por rastrear los fondos de los principales museos que disponen de base de datos y motor de búsqueda: Museo Nacional del Prado, Museo Nacional de Escultura, The National Gallery (Londres), The Metropolitan Museum of Art (Nueva York), la Galleria degli Uffizi (Floencia), el Rijksmuseum (Ámsterdam). Adicionalmente en las descripciones de las obras encontradas en estos museos se hacían referencias a otras similares que permitieron continuar con la búsqueda. En tercer lugar, se utilizaron otras aplicaciones: Google & Culture y especialmente el motor de búsqueda de Wikimedia Commons. Los descriptores utilizados en todos estos casos fueron: “Magdalen”, “Magdalene”, “Maddalena”, “Magdalena”, “Madeleine”, “Noli me tangere”. No fueron necesarios operadores booleanos. Para la selección de obras encontradas se aplicaron los criterios descritos anteriormente y se eliminaron duplicados.

3. RESULTADOS

En total se elaboraron 194 fichas razonadas. Hacia la mitad del proceso de búsqueda, selección y creación de entradas razonadas (aproximadamente 100 fichas), se realizó un balance y mediante matriz DAFO se evaluó la distribución de obras que estaban configurando el CR. Esto permitió detectar que la escultura y algunos períodos estaban infra representados, y se reorientó la búsqueda.

Los temas relacionados con la penitencia, ya sea en forma de *vánitas*, o de arrepentimiento, o como parte del relato sobre la vida ermitaña de la etapa final en la vida de la Magdalena según la *Leyenda dorada*, han podido ser reconocidos en 78 de las obras incluidas en el CR (algo más del 40% del total).

En 50 obras del CR María Magdalena muestra desnudez, específicamente el torso, uno o los dos pechos. Otras 30 se han considerado en la categoría de semi-desnudez por los tres observadores, es decir, hombros o piernas eran mostrados, o se aplicaban transparencias, o vestía escotes exagerados. Finalmente, en 114 obras el personaje no mostraba su cuerpo.



Salvo en 8 ocasiones siempre ha sido caracterizada como una mujer joven. Incluso en 14 de las 16 obras cuyo tema era su fase ermitaña en el desierto conserva esta apariencia a pesar de que cronológicamente se sitúan al final de una vida además excesivamente dilatada si se sigue el relato de Vorágine.

Hay 52 obras donde su postura es erguida, de pie, y 23 donde no es posible describirla porque el plano utilizado por el artista corta el cuerpo de la figura o es tapado por algún objeto. En 35 ocasiones está sentada o recostada. Y en otras 75 entradas del CR María Magdalena está arrodillada, postrada o tirada en el suelo. Son más las ocasiones en las que es mostrada claramente arrodillada que de pie, en 59 obras frente a 52.

En 43 obras es utilizado como atributo el nimbo o halo de santidad (un poco más del 22%). Una característica melena, generalmente suelta, de longitud larga, aparece en 183 de las entradas. Su color suele ser rubio, en ocasiones tendente al cobrizo, y son excepcionales los casos en los que se pinta como una mujer morena. Por último, la calavera se observa en 60 piezas y el pomo de ungüentos (recipiente de aceites o de perfume) en 82.

Existen ciertos elementos que forman parte de la iconografía de María Magdalena sobre los que se ha prestado una atención especial. En el siglo XIV los artistas representan preferentemente a María Magdalena vestida, pero todos coinciden en usar ropas de color rojo. ¿Una referencia al pecado, la pasión carnal o la lujuria? No. Precisamente en ese período el color rojo adquiere el significado teológico de ‘*caritas*’, amor, a Dios; incluso la Virgen aparece en ocasiones con ropas de este color (Erhardt y Morris, 2012, p. 463).

Los cabellos aprovechados para una utilidad adicional, principalmente para tapar su desnudez, parecen tomarse de Lucas 7:38: «Llorando, se arrojó a los pies de Jesús, de manera que se los bañaba en lágrimas. Luego se los secó con los cabellos; también se los besaba y se los unguía con el perfume»². El pelo largo en una mujer, tanto en la tardía Edad Media como en el Renacimiento, es un símbolo de libertinaje sexual (Aikema, 1994, p. 52; Erhardt y Morris, 2012, p. 302).

En la mayoría de los tratados artísticos escritos en el Renacimiento los estudios anatómicos sobre el cuerpo masculino son numerosos y muy detallistas, mientras que los de las mujeres son más escuetos: debían ser representadas de pie con las rodillas ligeramente juntas y las manos cubriéndose o bien el pecho o bien el sexo. Leonardo, en el *Tratado de la Pintura*, por ejemplo, dice: «Cómo se dibujarán las mujeres. Las mujeres se representarán siempre en actitudes pudorosas, juntas las piernas, recogidos los brazos, la cabeza baja y vuelta hacia un lado» (LXIV). Estos mismos tratados en España analizan lo contrario (Val Cubero, 2001, p. 105): cómo *no se debe* dibujar un cuerpo desnudo femenino, por las consecuencias morales que esta representación pueda tener. En España

² Se ha utilizado la Nueva Versión Internacional (NVI), edición de 2020, para todas las citas extraídas de la Biblia.



predominaba la concepción de que una pintura de cuerpo femenino era inmoral y, de hecho, las obras de este género son muy escasas durante el período. Francisco Pacheco en el *Libro de la pintura* (Libro II, capítulo I) denuncia a los «pintores que han extremado con licenciosa expresión de tanta diversidad fábulas (...) cuyos cuadros ocupan los salones y camarines de los grandes señores y príncipes del mundo».

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

La historia del arte desde el siglo XIII contribuyó, voluntaria o involuntariamente, a apuntalar la confusión de las Marías bíblicas y a ratificar el sermón de Gregorio Magno, al combinar en una sola, la Magdalena, todo rasgo de pecado atribuido a cualquiera de ellas. La explicación al predominio de obras en el CR correspondientes a los siglos XVI y XVII puede deberse a que fue entonces cuando la representación artística de María Magdalena alcanza su máxima popularidad y difusión, siendo la segunda mujer más presente en el arte de ese período solo por detrás de la Virgen (Erhardt y Morris, 2012, p. 438). Y es precisamente entonces cuando las diversas facetas bajo las que se concibe el personaje, fraguadas en su mayor parte durante la Edad Media y también después por el neoplatonismo humanista (Marsilio Ficino), eclosionan en una figura multifacética donde, quizá, se puede encontrar algo de orden.

Se podrían agrupar las representaciones de María Magdalena en dos categorías: los retratos individuales y los grupales. En estos segundos, aparece formando parte de una escena más amplia, generalmente con una importante carga espiritual (Crucifixión, Sepulcro), y, por ello, aunque mayoritariamente arrodillada o postrada, su actitud es piadosa (llorando, rezando, etc.). Por el contrario, los retratos tienen como tema María Magdalena y en ellos aparece sola, como mucho acompañada de algún ángel. El ambiente en estos casos es importante: solitario, oscuro, agreste, salvaje, íntimo. La desnudez se hace mayoritaria y los gestos, bajo el epíteto de ‘penitente’, tienen mucho de insinuantes: recostada, desnuda total o parcialmente, mirada perdida. Se debaten estas obras entre el erotismo y la contrición, y bordean todas ellas los límites de la ortodoxia cristiana. Si se indaga más en ellas, un buen número de las incluidas dentro del CR pertenecientes a los siglos de la alta Edad Moderna fueron o propiedad de monasterios y destinadas a ser exhibidas (como la de Jerónimo Jacinto Espinosa), o encargos privados para disfrute doméstico (masculinos: embajadores, cortesanos, monarcas, etc.; como las de Veronés, Vouet, Mengs, Negri, Trevisani, Liss, Guercino). Parece esto confirmar esa dicotomía entre sexo y pecado. El tema de María Magdalena penitente no constituye además ningún pasaje bíblico, y la escenografía en el desierto de hecho es apócrifa, derivada de la *Leyenda dorada*.



5. CONCLUSIONES

El presente estudio ha permitido obtener algunos datos sobre la transmisión de la figura de María Magdalena a lo largo de la historia del arte y la construcción de estereotipos femeninos. También ha demostrado el potencial que la técnica del CR tiene como técnica exploratoria para una investigación de este tipo. El CR ha permitido poner en evidencia que, en épocas y latitudes diversas, a pesar de la influencia mayor o menor de determinados escritos de carácter teológico que implicaban a María Magdalena, y de ciertos datos biográficos exactos de alguna obra, subsiste una misma iconografía que es coincidente y redundante: una mujer joven, de largos cabellos, sueltos y alborotados, de color rubio y rojizo, con un recipiente para aceites y perfumes, agitada por fuertes emociones, ya sean de arrepentimiento, éxtasis, duelo, amor; y colocada en posturas sumisas y débiles, en entornos naturales o sociales agresivos. El enfoque feminista de género permite profundizar en más aspectos. Una pregunta poco habitual entre los historiadores del arte (sí, ‘los’ en este caso), es qué sexo contemplaba la obra de arte y qué efecto diferente causaría sobre uno u otro. Y, sin embargo, podría descolocar al observador actual conocer el dato de que la Magdalena de 1531 de Tiziano pudo ser encargada por Vittoria Colonna, una poderosa mujer del Cinquecento (sería el único caso de cliente no hombre que tuvo el artista) (Aikema, 1994, p. 57; Debby, 2003, p. 30). ¿Qué veía Colonna en ese cuadro? Probablemente no un desnudo, sino una mujer. Y para plasmar una mujer, Tiziano le ha despojado de sus ropas, la ha colocado en un ambiente solitario, ha cargado su mirada de piedad, hace que intente tapar su cuerpo más que por rubor por protección. Es arrepentimiento.

Por todo esto, y por el análisis de sesgos que se ha ofrecido, se debe concluir lo fuertemente estereotipada que ha permanecido la figura de María Magdalena. Esto es aún más manifiesto si se tiene en cuenta la ausencia de evidencia sobre el contenido real de la persona, ya que apenas es citada una decena de ocasiones en los Evangelios.

Valoramos como algo positivo que uno de los mayores resultados de esta investigación haya sido sembrar dudas, más que aportar respuestas, y establecer un cuestionamiento constante de las interpretaciones vigentes. Esta ha sido la principal aportación que la historia del arte feminista ha realizado en el estudio. Creemos que nosotros mismos, como autores, hemos rectificado varias veces nuestra visión del tema, desde una inicial, que subrayaba la sensualidad y lo erotizante del tema, y estaba cargada de certidumbre, pasando por una permanente discusión, para llegar al punto final de sentirnos desconfiados hacia las ideas obvias. La Magdalena de Tiziano en 1531 tiene el poder de forzarnos a replantear de una forma radical la mirada de nuestra época y la de la suya. Y, gracias a ello, su interpretación adquiere mayor profundidad y corrige sesgos, acercándonos más a la mentalidad creadora del artista. La aparente sexualidad de muchas de las imágenes de María Magdalena sigue ‘desafiando’ a los historiadores del arte, como sentencia Debby (2003, p. 32), y es tal vez la forma



más breve de resumir esta necesidad de replantear las interpretaciones que se realizan desde la crítica presente.

6. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quería dar las gracias a mis compañeros y compañeras de clase por su apoyo y ánimos para la realización de este trabajo, así como por todas esas veces en las que se presentaban dificultades, pero salíamos adelante. En especial, me gustaría agradecer a nuestro profesor, Pablo Ijalba, toda su guía y apoyo constante a lo largo de los meses que duró esta investigación. Y gracias, especialmente, por habernos ayudado, en mi caso, sobre todo, a hacernos preguntas que nunca nos habíamos planteado. Ahora nos podemos sentir un poco más sabios, y un poco más críticos.



7. BIBLIOGRAFÍA

- Aikema, B. (1994). "Titian's Mary Magdalen in the Palazzo Pitti: An ambiguous painting and its critics". *Journal of the Warburg and Courtauld Institutes*, 57(1), pp. 48-59.
- Andruchow, M. (2020), *Colección de obras de la Facultad de Artes: Catálogo razonado y estudios críticos*, Buenos Aires, Universidad Nacional de La Plata.
- Bolton, L. (2020). "Beautiful penitent whore: the desecrated celebrity of Mary Magdalene". *Celebrity Studies*, 11(1), pp. 25-42.
- Casey, M. (2010), *Jesus of Nazareth: An Independent Historian's Account of his Life and Teaching*, London, T & T Clark International.
- Debby, N. B. A. (2003). "Vittoria Colonna and Titian's Pitti 'Magdalen'". *Woman's Art Journal*, 24(1), pp. 29-33.
- Erhardt, M., y Morris, A. (2012), *Mary Magdalene: Iconographic studies from the Middle Ages to the Baroque*, Leiden, Brill.
- Ehrman, B. E. (2007), *Simón Pedro, Pablo de Tarso y María Magdalena: Historia y leyenda del cristianismo primitivo*, Barcelona, Ares y Mares.
- Museo de Arte Contemporáneo. (2017), *Catálogo Razonado: Colección Museo de Arte Contemporáneo*, Santiago de Chile, Facultad de Artes, Universidad de Chile.
- Parker, R., y Pollock, G. (2021), *Maestras antiguas: mujeres, arte e ideología*, Madrid, Akal.
- Val Cubero, A. (2001), *La percepción social del desnudo femenino en el arte: siglos XVI-XIX*, Tesis Doctoral, Universidad Complutense de Madrid.



CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA VIDA

PRIMER PREMIO |

- 148 - **Estudio sobre encapsulación molecular de Isorapontigenina en “anillos únicos moleculares”**
PATRICIA SÁNCHEZ SALMERÓN
- 161 - **Micorremediación como alternativa sostenible para el tratamiento de las colillas de cigarrillos**
CLAUDIA ALIAGA GIMENO
- 172 - **Las nutrias reaparecen en las costas de A Coruña y Sada**
MENCÍA CARDESÍN RIAL Y AARÓN DEUS TORÍO

SEGUNDO PREMIO |

- 184 - **Morfología y ecología de una población española de *Colpodium Caudatum* (Ciliophora, Colpodidiidae) encontrada por primera vez en Europa**
JUAN RODERO MADRID
- 198 - **Las nanopartículas de plata en el mundo de las bacterias**
PAU CROSAS GIMENO
- 208 - **La bomba biológica, el pulmón verde del planeta**
MARTA FERNÁNDEZ PÉREZ Y PABLO JAVIER POVEDA GARCÍA
- 220 - **Relación biótica entre abejas y agricultura: eficiencia en polinización de cultivos**
NEREA RODRÍGUEZ MONTIEL

TERCER PREMIO |

- 232 - **Evaluación de la foto-identificación como herramienta para el seguimiento de poblaciones de anfibios**
MIGUEL GONZÁLEZ PARREÑO



CIENCIAS DE LA TIERRA Y DE LA VIDA

- 244 - **Análisis de la población de células macrogliales retinianas en un modelo animal de sepsis**
DAVID MORENO PINEDA
- 256 - **Estimulación multisensorial: un viaje a través de la memoria**
AINHOA MARÍN MARTÍNEZ

ACCÉSIT |

- 266 - **Estudio antropométrico de la composición corporal para diagnóstico del riesgo asociado a la obesidad en la población adolescente**
NOELIA ALCAIDE PUERTO, PAULA OLMO AGUDO Y JESSICA PUERTO NIETO
- 278 - **Asociación de la dispepsia con el estrés, la ansiedad y la depresión**
RAWAN DAHMAN ABARRICHE
- 290 - **Informe antropológico de la colección medieval de la plaza de la Horta (Zamora)**
CRISTINA CHAMORRO MARTÍNEZ Y CARLA MARTÍNEZ-FALERO GESTOSO
- 303 - **Parada cardíaca extrahospitalaria en Navarra: técnicas de reanimación y elaboración del duelo**
MARÍA BAYANO FLAMARIQUE Y ALICIA PIEDRAFITA SANROMÁN

PREMIO FUNDACIÓN VENCER EL CÁNCER |

- 314 - **La vida tras el cáncer infantil: estudio sobre la calidad de vida y efectos tardíos en supervivientes de la Región de Murcia**
LEIRE DÍAZ BAS



Estudio sobre encapsulación molecular de Isorapontigenina en “anillos únicos moleculares”

/ PRIMER PREMIO

AUTORA | PATRICIA SÁNCHEZ SALMERÓN

COORDINADOR | MIGUEL ÁNGEL BLASCO GARCÍA

CENTRO | IES DR. PEDRO GUILLÉN

CIUDAD | ARCHENA-MURCIA

RESUMEN |

En este trabajo se realiza un estudio en profundidad sobre la interacción entre isorapontigenina (un tipo de estilbeno que posee efectos antioxidantes, anti-inflamatorios, anticancerígenos, cardioprotectores y antidiabéticos) y diferentes ciclodextrinas (CDs) naturales y modificadas. Este compuesto bioactivo forma un complejo de estequiometría 1:1 con todas las CDs probadas, tanto naturales (α -CD, β -CD y γ -CD) como modificadas (M- β -CD e HP- β -CD). Entre las CDs naturales, la interacción de isorapontigenina con α -CD fue la más eficiente. Sin embargo, las CDs modificadas mostraron mayores constantes de encapsulación (K_F) que todas las naturales, siendo la más alta la proporcionada por HP- β -CD ($3082,87 M^{-1}$). El complejo de encapsulación HP- β -CD/Isorapontigenina mostró una gran dependencia con el pH, siendo la interacción entre ambos menos efectiva en la región de pH donde la isorapontigenina comienza a sufrir la deprotonación de su grupo hidroxilo. Los valores de la constante de encapsulación del complejo de inclusión HP- β -CD/Isorapontigenina varían a medida que los valores de pH son más bajos; de este modo, la constante de encapsulación de dicho complejo a pH = 3 es de $4942,21 M^{-1}$, a un pH = 5 es de $4021,48 M^{-1}$, a pH = 7 es de $3082,87 M^{-1}$, y a pH = 9 es de $2943,22 M^{-1}$.

En el presente trabajo se realiza, además, un estudio cualitativo, mediante espectroscopía de absorción, sobre la influencia de la encapsulación de la isorapontigenina en la solubilidad de esta en agua, llegando a la conclusión de que la solubilidad de este compuesto bioactivo aumenta a medida que aumenta la concentración de HP- β -CD.



ABSTRACT |

In this work, an in-depth study is carried out on the interaction between isorhapontigenin (a type of stilbene that has antioxidant, anti-inflammatory, anticancer, cardioprotective and antidiabetic effects) and different natural and modified cyclodextrins (CDs). This bioactive compound forms a 1:1 stoichiometry complex with all tested CDs, both natural (α -CD, β -CD and γ -CD) and modified (M- β -CD and HP- β -CD). Among natural CDs, isorapontigenin interaction with α -CD was the most efficient. However, modified CDs showed higher encapsulation constants (K_F) than all natural CDs, the highest being that provided by HP- β -CD ($3082.87 M^{-1}$). The HP- β -CD/Isorapontigenin encapsulation complex showed a great dependence on pH, being the interaction between both less effective in the pH region where isorapontigenin begins to suffer deprotonation of its hydroxyl group. The values of the encapsulation constant of the HP- β -CD/Isorapontigenin inclusion complex vary as the pH values are lower; thus, the encapsulation constant of this complex at pH = 3 is $4942,21 M^{-1}$, at pH = 5 is $4021,48 M^{-1}$, at pH = 7 is $3082,87 M^{-1}$, and at pH = 9 is $2943,22 M^{-1}$.

In the present work, a qualitative study is also carried out, by means of absorption spectroscopy, on the influence of the encapsulation of isorapontigenin on its solubility in water, concluding that the solubility of this bioactive compound increases as the concentration of HP- β -CD increases.



1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día, el ser humano desea alcanzar una serie de logros en el campo de la salud relacionados con procesos biológicos como el cáncer, la cardio protección, la diabetes, e incluso el enriquecimiento en sustancias antioxidantes de los alimentos tradicionales, para convertirlos en funcionales. A todo esto, puede ayudar en gran medida el estudio a nivel molecular de una serie de sustancias químicas que han demostrado poseer efectos beneficiosos relacionados con lo anterior. La isorapontigenina (trans-3,4',5-trihidroxi-3'-metoxiestilbeno) es un estilbeno menos estudiado que otros miembros de esta familia, del cual se conoce que muestra una amplia variedad de actividades biológicas entre las que destaca funcionando como antioxidante (Wang, Lin y Liu, 2001), anti-inflamatorio (Yongzhuang *et al.*, 2019), anticancerígeno (Yinhong *et al.*, 2019; Subedi *et al.*, 2019), cardioprotector (Hong-Liang *et al.*, 2005) y antidiabético (Xin Yi Chu *et al.*, 2020). Pero, a pesar de estas propiedades saludables que sugieren que podría ser una biomolécula nutricional y farmacológica potencialmente útil, también presenta problemas relacionados con sus propiedades químicas; baja solubilidad en agua, mala biodisponibilidad y se oxida con facilidad. Por ello, deben utilizarse nuevas estrategias que aumenten su biodisponibilidad, solubilidad y estabilidad frente a los agentes prooxidantes, con lo que se hace necesaria su encapsulación mediante un tipo de moléculas con alta capacidad de complejación; las ciclodextrinas (CDs).

Las CDs son oligosacáridos cíclicos formados por unidades de glucosa unidas por enlaces α (1,4), siendo las más comunes α -CD, β -CD y γ -CD que contienen seis, siete y ocho unidades de glucosa respectivamente. Estas moléculas poseen un centro hidrofóbico y una parte externa hidrofílica, lo que produce un equilibrio dinámico en el que el agua u otros compuestos son reemplazados en el hueco de la ciclodextrina y hace que el complejo formado sea altamente hidrosoluble. Los compuestos poco solubles en agua y las dos mitades hidrofóbicas de las moléculas anfílicas interactúan con la cavidad de la CD para formar los llamados complejos de inclusión; sin embargo, la solubilidad de dichos complejos depende de varios factores, como el tipo de CD utilizada. Debido a que las CDs son capaces de aumentar la biodisponibilidad de diferentes compuestos y proteger diferentes moléculas contra la acción de agente externos, su uso en las industrias farmacéutica y alimentaria está aumentando (López-Nicolás y García-Carmona, 2008).

Para la encapsulación de isorapontigenina se han utilizado ciclodextrinas naturales (α -CD, β -CD y γ -CD) y modificadas (HP- β -CD y M- β -CD) y, además, se ha estudiado la influencia del pH en el proceso de encapsulación, así como la influencia de esta encapsulación en la solubilidad en agua de dicho compuesto bioactivo. En relación con esto último hay muy pocos estudios realizados, y en el presente trabajo se hace un estudio cualitativo de la misma.



2. PROBLEMA Y OBJETIVOS

Justificación: En los últimos años, las ciclodextrinas están teniendo un papel muy importante en la encapsulación molecular de ciertos compuestos bioactivos no solo para mejorar, con ello, la calidad de algunos productos alimenticios sino, además, para favorecer el desarrollo de nuevos productos como es el caso de los alimentos funcionales.

La encapsulación de moléculas en el interior de las ciclodextrinas tiene una serie de ventajas entre las que destacan la estabilización de sustancias sensibles a la luz y/u oxígeno, la fijación de sustancias volátiles, la protección de distintas sustancias frente a la degradación por microorganismos, el aumento de la solubilidad, absorción y biodisponibilidad de diversas moléculas o el enmascaramiento de colores, sabores y aromas desagradables. Por lo anterior, el objetivo general de este proyecto es estudiar la encapsulación molecular de la isorapontigenina en ciclodextrinas.

Objetivos específicos:

- Determinar las longitudes de onda máximas de excitación y de emisión del complejo CD-isorapontigenina.
- Evaluar cuál es la ciclodextrina más adecuada para la encapsulación de la isorapontigenina.
- Establecer la estequiometría del complejo de inclusión.
- Obtener la constante de encapsulación del complejo de inclusión CD-isorapontigenina.
- Conocer la dependencia de la constante de encapsulación con la acidez del medio.
- Analizar la influencia de la encapsulación de la isorapontigenina en la solubilidad de esta última en agua.

3. METODOLOGÍA

Preparación de las muestras. Para la preparación de las muestras se realizarán unas tablas que recogerán volúmenes crecientes de la disolución concentrada (disolución madre de ciclodextrina) y se irán completando hasta un volumen total de 3000 μ L con una disolución reguladora de pH. De esta manera, se obtendrán 20 tubos (exceptuando el caso de β -CD, que se obtendrán 19 tubos) de disolución con concentraciones crecientes de ciclodextrina. A su vez, estas tablas recogerán las concentraciones de compuesto bioactivo y el volumen de este, ambas cantidades constantes. La concentración de isorapontigenina se fijará a 25 μ M y la concentración de CD irá variando entre 0 y 25mM (excepto β -CD, que será de 0 a 10mM) disolviéndose todos los reactivos en disolución tampón.



El estudio se realizará con todas las ciclodextrinas indicadas con anterioridad, a pH = 7. Una vez se obtenga la CD que mayor intensidad de fluorescencia proporcione y, por ello, la más indicada para encapsular al compuesto bioactivo, se prepararán distintas disoluciones reguladoras de pH = 3, pH = 5 y pH = 9, para comprobar en qué condiciones de pH encapsula mejor la citada CD.

Para obtener una disolución de pH = 3 se partirá de ácido acético 0,1M, al que se le irá añadiendo hidróxido sódico (NaOH) 5 M, controlado por el pH-metro; en cambio, para obtener la disolución de pH = 5 y pH = 7 se partirá de dihidrógenofosfato sódico 0,1 M, al que también se le irá añadiendo NaOH; por último, para obtener la disolución de pH = 9 se partirá de ácido bórico 0,1 M, al que, como en los demás, se le irá añadiendo NaOH.

Estudios de fluorescencia. La intensidad de fluorescencia se medirá utilizando un espectrofluorímetro Kontron SFM-25, el cual está equipado con células controladas termostáticamente, con una fuente de lámpara de xenón y una cubeta de cuarzo, que se utilizarán para realizar todas las mediciones de fluorescencia.

Para realizar los estudios de fluorescencia se determinarán, en primer lugar, los valores óptimos de las longitudes de onda de emisión y de excitación, a partir de la realización de los espectros de excitación (registrando la intensidad de fluorescencia, manteniendo fija la $\lambda_{emisión}$ y variando la $\lambda_{excitación}$) y de emisión (registrando la intensidad de fluorescencia, fijando la $\lambda_{excitación}$ y variando la $\lambda_{emisión}$) de la isorapontigenina, y se establecerán los valores relativos de intensidad de fluorescencia a 25°C. Los valores obtenidos se introducirán en el espectrofluorímetro, para poder obtener la intensidad de fluorescencia del complejo CD-isorapontigenina a los distintos pH.

Determinación de las constantes de encapsulación. Para determinar la estequiometría de la interacción entre CD-isorapontigenina, se propondrán dos modelos matemáticos: un modelo de estequiometría 1:1, donde una molécula de isorapontigenina es encapsulada por una molécula de CD y un modelo de estequiometría 1:2, donde una molécula de isorapontigenina es encapsulada por dos moléculas de CD.

El primer paso será cuantificar la interacción isorapontigenina-CD basada en el efecto de la rigidez estructural, es decir, comprobar que la intensidad fluorescencia aumenta a medida que aumenta la rigidez estructural; según esto, a medida que aumenta la concentración de CD, la isorapontigenina tendrá menos grados de libertad y, por tanto, al tener menor movilidad aumentará así la intensidad de fluorescencia. Para esto, se usará el método de Benesi-Hildebrand, que permite obtener la constante de encapsulación (K_F).

Suponiendo que la composición del complejo sea de estequiometría 1:1, la expresión se puede escribir como: Isorapontigenina + CD \rightleftharpoons CD-Isorapontigenina.



Por tanto, la constante de encapsulación, K_F , viene dada por: $K_F = \frac{[CD-Isorapontigenina]}{[Isorapontigenina][CD]}$ donde [CD], [Isorapontigenina] y [CD-Isorapontigenina] representan las concentraciones en el equilibrio de cada una de las sustancias.

La relación entre la intensidad de fluorescencia relativa y la constante de encapsulación viene dada por la expresión $\frac{1}{F-F_0} = \frac{1}{(F_\infty-F_0)K_F[CD]} + \frac{1}{F_\infty-F_0}$ donde [CD] indica la concentración de CD; F_0 la intensidad de fluorescencia de la isorapontigenina en ausencia de CD; F_∞ la intensidad de fluorescencia cuando todas las moléculas de isorapontigenina están esencialmente acomplejadas con CD; y F es la intensidad de fluorescencia observada en cada concentración de CD probada. En dicha expresión se puede observar la dependencia lineal de $1/(F-F_0)$ con $1/[CD]$, por lo que representando gráficamente una magnitud frente a la otra se calculará la ecuación de la recta. La K_F , en las gráficas, será el cociente entre la ordenada en el origen y la pendiente de la recta, expresada en M^{-1} .

Para estudiar la posible presencia de complejos de orden superior entre CD e isorapontigenina, también se analizará un gráfico de $\frac{1}{F-F_0}$ y una función de $1/[CD]^2$. Por tanto, suponiendo que la estequiometría del complejo de inclusión sea 1:2, se obtendrá la siguiente expresión $\frac{1}{F-F_0} = \frac{1}{(F_\infty-F_0)K_F[CD]^2} + \frac{1}{F_\infty-F_0}$

Tras esto, el valor del coeficiente de correlación (R^2) de Pearson, presente también en las gráficas, permitirá discernir la estequiometría más probable.

Estudios de solubilidad. Para poder realizar estudios sobre la solubilidad del compuesto bioactivo en presencia de CD, se prepararán cuatro muestras en las que se partirá de una disolución de CD madre 30 mM, y que tendrán un volumen total de 1mL. Cada una de las disoluciones tendrá una concentración saturada constante de isorapontigenina (1 mg/mL) y una concentración de CD variable, la cual irá en aumento; la primera disolución será de concentración 0 mM, la segunda será de 1 mM, la tercera será de 5 mM y la última de 10 mM. Todos los tubos pasarán por la centrifuga, para poder precipitar la isorapontigenina no disuelta y, después, se utilizará un espectrofotómetro visible-UV que proporcionará el espectro de absorción del compuesto bioactivo disuelto. A partir de las gráficas obtenidas, se podrá analizar la influencia de la concentración de CD sobre la solubilidad de la isorapontigenina.

4. RESULTADOS Y PREANÁLISIS

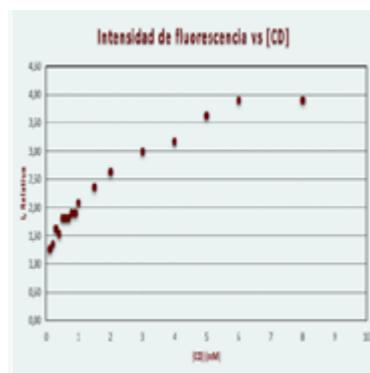
Una vez realizados los espectros de emisión y de excitación se observa que las longitudes de onda óptimas de emisión y excitación del compuesto bioactivo fueron 390 y 261 nm, respectivamente. A partir de estas longitudes, se obtuvo las intensidades de fluorescencia relativas que presentaron las distintas CDs con la isorapontigenina, que fueron la base para obtener las constantes de encapsulación de cada complejo CD-isorapontigenina. Así, utilizando la ya nombrada ecuación de Benesi-Hildebrand, con el modelo propuesto de estey-

quiometría 1:1, la representación de $1/(F-F_0)$ vs $1/[CD]$ permitió obtener una recta cuya ecuación proporcionó K_F . Más tarde, para la propuesta estequiometría 1:2 se representó también $1/(F-F_0)$ vs $1/[CD]^2$.

Por ello, se estudiaron los complejos formados por las cinco CDs utilizadas (α -CD, β -CD, γ -CD, M- β -CD e HP- β -CD) con la isorapontigenina a pH = 7. Así, al observar los datos de las siguientes gráficas se comprueba que, en la interacción entre los distintos complejos de inclusión (α -CD-Isorapontigenina; β -CD-Isorapontigenina; M- β -CD-Isorapontigenina; HP- β -CD-Isorapontigenina) la intensidad de la fluorescencia del compuesto bioactivo aumentaba a medida que aumentaba la concentración de las correspondientes CDs y, por tanto, debido al aumento de la rigidez estructural.

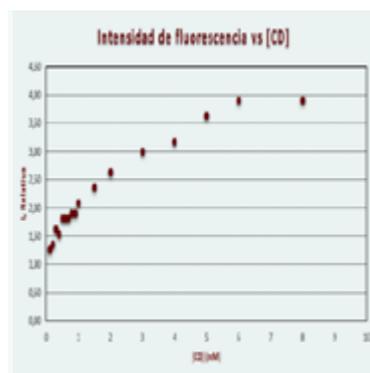
Gráfica 1

Representación gráfica del incremento de la intensidad de fluorescencia relativa presentada por el complejo α -CD-Isorapontigenina. FUENTE: realización propia.



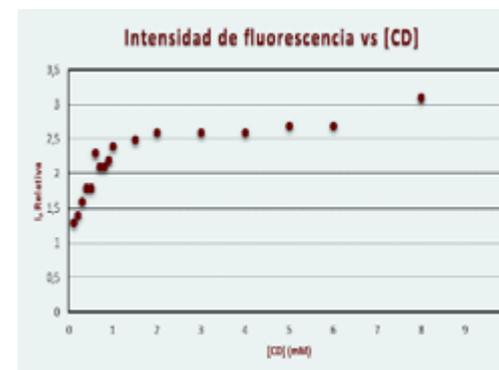
Gráfica 2

Representación gráfica del incremento de la intensidad de fluorescencia relativa presentada por el complejo β -CD-Isorapontigenina. FUENTE: realización propia.



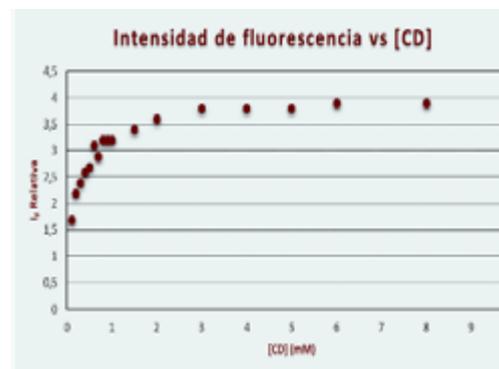
Gráfica 3

Representación gráfica del aumento de la intensidad de fluorescencia relativa presentada por el complejo M- β -CD-Isorapontigenina. FUENTE: realización propia.



Gráfica 4

Representación gráfica del aumento de la intensidad de fluorescencia relativa presentada por el complejo HP- β -CD-Isorapontigenina. FUENTE: realización propia.



Además, una vez realizados ambos modelos de estequiometría 1:1 y 1:2 se pudo descartar este último, debido a que el primer modelo presentaba un valor del coeficiente de correlación de Pearson más próximo a la unidad en todos los complejos de inclusión. A partir de la ecuación presentada por la estequiometría 1:1, se obtiene el valor de la constante de encapsulación de todos los complejos, donde n es el valor de la ordenada en el origen y m el valor de la pendiente de la recta obtenida al hacer una regresión lineal de los datos. Este valor se puede observar en la siguiente tabla.

Tabla 1

Valores experimentales de K_F a pH = 7 y coeficientes de correlación de Pearson (derivados de los modelos de estequiometría 1:1 y 1:2 para los complejos de encapsulación CD/Isorapontigenina). FUENTE: realización propia.

Tipo CD	K_F (M^{-1})	Coeficiente de correlación	
		Modelo 1:1	Modelo 1:2
α -CD	1494,58	0,9323	0,7278
β -CD	617,45	0,9859	0,955
γ -CD	116877,37	0,0607	0,0178
M- β -CD	1642,02	0,9597	0,7941
HP- β -CD	3082,87	0,9936	0,8932



En el caso del complejo γ -CD-Isorapontigenina, un aumento en la concentración de la CD no produce ningún aumento significativo en la intensidad de fluorescencia que emite el compuesto bioactivo. Realizados los dos modelos de estequiometría 1:1 y 1:2 se descartan ambos, ya que tanto uno como otro presentan un coeficiente de correlación de Pearson muy alejado a la unidad (0,0607 y 0,0178, respectivamente). Por este motivo, no se puede calcular el valor de la constante de encapsulación para este complejo de inclusión.

Estudiados los complejos de las anteriores CDs con la isorapontigenina a pH = 7, se observa el complejo de encapsulación HP- β -CD-Isorapontigenina con distintas disoluciones reguladoras de pH = 3, pH = 5 y pH = 9, para ver en qué condiciones de pH encapsula mejor dicha CD al compuesto bioactivo. En las gráficas realizadas se puede observar que la intensidad de fluorescencia que muestra la isorapontigenina aumenta considerablemente a medida que aumenta la concentración de HP- β -CD y, por ello de nuevo, al aumentar su rigidez estructural. Para el complejo a los distintos pH también se establece la estequiometría 1:1 y, de igual modo que a pH = 7, la recta proporcionada por la representación de la inversa de la fluorescencia frente a la [CD] permitió el cálculo de las constantes de encapsulación, cuyos valores se pueden observar en la Tabla 2. Una vez trabajados los diversos complejos de encapsulación entre el compuesto bioactivo y las distintas CDs, se pasó a comprobar de qué manera influía la HP- β -CD en la solubilidad de la isorapontigenina.

Tabla 2

Valores experimentales de K_f con distintas reguladoras de pH y coeficientes de correlación de Pearson (derivados de los modelos de estequiometría 1:1 y 1:2 para los complejos de encapsulación CD/Isorapontigenina). FUENTE: realización propia

Valor de pH	K_f (M^{-1})	Coeficiente de correlación	
		Modelo 1:1	Modelo 1:2
<u>3</u>	4942,21	0,8514	0,5924
<u>5</u>	4021,48	0,9794	0,8157
<u>7</u>	3082,87	0,9936	0,8932
<u>9</u>	2943,32	0,9825	0,944

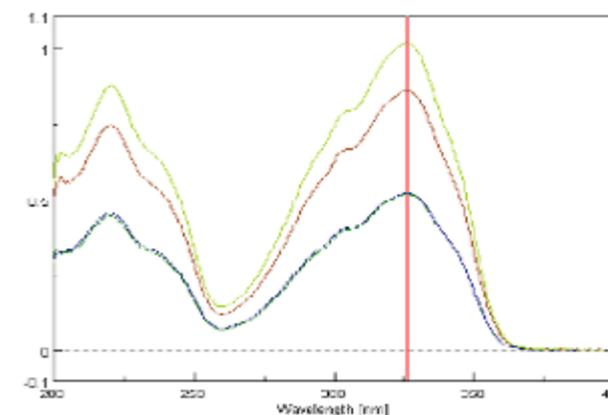
La cantidad disuelta de este estilbano se puede cuantificar midiendo la absorbancia de una disolución de este, por lo que a partir de las cuatro disoluciones con concentración de isorapontigenina constante y concentración variable de HP- β -CD (a recordar: 0 mM, 1 mM, 5 mM y 10 mM, respectivamente) se obtuvo la Gráfica 5. En ella se observa cómo a mayor valor de absorbancia (eje vertical), mayor isorapontigenina hay disuelta, ya que la absorbancia es directamente proporcional a la concentración. Por tanto, la solubilidad del compuesto bioactivo aumenta a medida que aumenta la concentración de HP- β -CD. Esto se debe a que sólo el compuesto bioactivo disuelto absorberá radiación electromagnética de 325 nm (como muestra la gráfica), perteneciente a la región



del ultravioleta cercano. De este modo, en las disoluciones de concentraciones 0 mM y 1 mM, la intensidad relativa de absorbancia de la isorapontigenina apenas varía. Por otro lado, se aprecia un aumento en la intensidad relativa de absorbancia con la disolución de concentración 5 mM; y con la disolución más concentrada, la de 10 mM, se observa un gran aumento en la intensidad relativa de absorbancia de la isorapontigenina.

Gráfica 5

Espectro de absorbancia de las cuatro disoluciones de isorapontigenina encapsulada con HP- β -CD, indicando la franja vertical la longitud de onda de máxima absorción. El color verde oscuro corresponde a la disolución 0 mM; el color azul a la disolución 1 mM; el color rojo a la disolución 5 mM; y el color verde claro corresponde a la disolución 10 mM. FUENTE: realización propia.



5. ANÁLISIS Y CONCLUSIONES

Una vez obtenidos los valores de las constantes de encapsulación para las cinco ciclodextrinas se observa, en la Tabla 1, que el valor más elevado corresponde a HP- β -CD (3082,87 M^{-1}). Por tanto, la CD que mejor encapsula al compuesto bioactivo y, por ello, la elegida para la encapsulación molecular de la isorapontigenina es la HP- β -CD. Se puede advertir que los valores de las constantes de encapsulación de las CDs naturales con la isorapontigenina son inferiores a las de las CDs derivadas de la β -CD; según Matencio, García Carmona y López Nicolás (2016, p. 2367-2373), en la obtención de CDs modificadas utilizando como base β -CD, se añaden a esta sustituyentes (grupo metilo en el caso de M- β -CD, y grupo hidroxipropil en el caso de HP- β -CD) que propician la estabilidad del complejo de inclusión, cambiando así las interacciones intermoleculares que se dan entre la molécula huésped y la CD (interacciones mediante fuerzas de Van der Waals, interacciones dipolo-dipolo e interacciones mediante enlaces de hidrógeno). Estas diferencias, basadas en las interacciones intermoleculares, explicarían la mejor actividad de las CDs modificadas respecto a las naturales en la formación del complejo de inclusión con la isorapontigenina, justificando así la necesidad de realizar dichas modificaciones sobre las CDs naturales, con el fin de mejorar sus características.

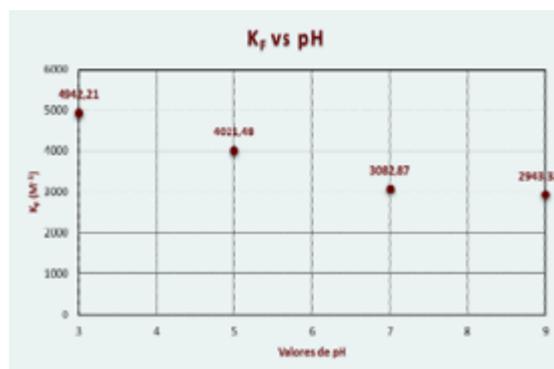


Tras la justificada elección de la HP- β -CD, se procede al estudio de la influencia del pH en el complejo HP- β -CD-Isorapontigenina con la Tabla 2. Una vez observados los resultados obtenidos apreciamos que la mejor condición de pH a la que HP- β -CD encapsula a la isorapontigenina es a pH = 3, dado que proporciona un elevado valor de K_F . Cuando se utiliza una molécula huésped en un complejo de inclusión con CD en alimentos o en la industria nutracéutica, un factor importante a considerar es el pH del medio. De hecho, se ha demostrado (Matencio, García Carmona y López Nicolás, 2016, pp. 2367-2373) que el estado de protonación tiene una gran influencia en las constantes de encapsulación.

Existe una dependencia de K_F con respecto al pH y su disminución podría coincidir con la región donde la isorapontigenina comienza la deprotonación de sus grupos hidroxilos (Matencio, García Carmona y López Nicolás, 2016, pp. 2367-2373). Una posible causa de esta dependencia de K_F con el pH, según Matencio, García Carmona y López Nicolás (2016, p. 2367-2373), es la hipotética formación de un enlace de hidrógeno entre el grupo hidroxilo de la isorapontigenina y los grupos hidrofílicos de la CD a valores de pH inferiores al valor pK_a , habiendo distinta cantidad de las formas protonada y desprotonada de la molécula, porque el enlace de hidrógeno es uno de los tipos más importantes de interacción en la estabilización de los complejos de inclusión. El hecho de que el complejo entre HP- β -CD y la forma protonada de la isorapontigenina sean más estables que la interacción con las formas desprotonadas de este antioxidante, antidiabético e, incluso, anticancerígeno es de gran interés para la industria alimentaria y farmacéutica, ya que la forma protonada de los estilbenos presenta diversos efectos biológicos beneficiosos para la salud del ser humano (Matencio, García Carmona y López Nicolás, 2016, pp. 2367-2373).

Gráfica 6

Representación gráfica de la influencia del pH del medio respecto a los valores de K_F del complejo HP- β -CD. FUENTE: realización propia.



En cuanto a los resultados obtenidos de la experimentación para la solubilidad del compuesto bioactivo, en ausencia de CD el menor valor de absorbancia se relaciona con una menor cantidad de isorapontigenina disuelta. Se debe a que a medida que se va aumentando la cantidad de CD, y debido a la formación del complejo de inclusión HP- β -CD/Isorapontigenina, la intensidad relativa de la absorbancia a 325 nm (longitud de onda) va aumentando.

Esto demuestra que el complejo HP- β -CD/Isorapontigenina es más soluble que la isorapontigenina libre, lo que supone que la encapsulación además de proteger el compuesto bioactivo de su degradación también supone un incremento de su solubilidad en un medio acuoso, es decir, una disminución de su hidrofobicidad.

Por tanto, las conclusiones de este proyecto son:

- Las longitudes de onda máximas de excitación y de emisión del complejo CD-isorapontigenina son 261 y 390 nm, respectivamente.
- La ciclodextrina más adecuada para la encapsulación de la isorapontigenina es la HP- β -CD.
- El complejo de inclusión formado por HP- β -CD/Isorapontigenina se corresponde con una estequiometría 1:1.
- El valor de la constante de encapsulación del complejo de inclusión HP- β -CD/Isorapontigenina es de 3082,87 M^{-1} .
- La constante de encapsulación del complejo de inclusión HP- β -CD/Isorapontigenina aumenta a medida que el pH del medio disminuye.
- La encapsulación de la isorapontigenina incrementa la solubilidad de esta en agua, aumentando a medida que aumenta la concentración de HP- β -CD.

6. BIBLIOGRAFÍA

Matencio, A., García Carmona, F., y López Nicolás, JM. (2016). "Encapsulation of piceatannol, a naturally occurring hydroxylated analogue of resveratrol, by natural and modified cyclodextrins". *Food and Function*, (7), pp. 2367-2373.

López-Nicolás, J.M y García-Carmona, F. (2008). Rapid, simple and sensitive determination of the apparent formation constants of trans-resveratrol complexes with natural cyclodextrins in aqueous medium using HPLC. *Food Chemistry*, (4), pp. 868-875.



Micorremediación como alternativa sostenible para el tratamiento de las colillas de cigarrillos

/ PRIMER PREMIO Y ESTANCIA CSIC

AUTORA | CLAUDIA ALIAGA GIMENO

COORDINADORA | CRISTINA SAN SATURNINO DE LA MATA

CENTRO | COLEGIO ALEMÁN DE VALENCIA

CIUDAD | VALENCIA

RESUMEN |

Las colillas de los cigarrillos constituyen la primera fuente de basura en el mundo, contaminando la flora y la fauna. Como alternativa sostenible en este trabajo se ha investigado la degradación enzimática de los compuestos tóxicos contenidos en las colillas de cigarrillos por los hongos *Pleurotus Ostreatus* y *Pleurotus Eryngii*. Se dejó crecer el micelio de los hongos en las colillas. Tras un tiempo, se tomaron muestras de las colillas tratadas y se analizaron mediante espectrometría de masas de alta resolución (Mass Hunter y METLIN Database). Los resultados mostraron que las colillas que habían estado con el hongo, no presentaban ninguno de los insecticidas y fungicidas analizados, esto se debe al poder enzimático de los hongos

ABSTRACT |

Cigarette butts are the first source of garbage in the world, contaminating flora and fauna. As a sustainable alternative, in this work I have investigated the enzymatic degradation of the toxic compounds contained in cigarette butts by the fungi *Pleurotus Ostreatus* and *Pleurotus Eryngii*. The mycelium of the fungi was allowed to grow on the butts. After some time, samples of the treated butts were taken and analyzed by high resolution mass spectrometry (Mass Hunter and METLIN Database). The results showed that the butts that had been with the fungus did not present any of the insecticides and fungicides analyzed, this is due to the enzymatic power of the fungi.



INTRODUCCIÓN

El informe de 2017 de la ONG Ocean Conservancy, indica que las colillas suponen el 13% del número total de desperdicios recogidos en su campaña mundial. Este resultado concuerda con los datos de consumo de tabaco: anualmente se fuman 6 billones de cigarrillos en todo el mundo y, de estos, 4.5 billones son depositados en espacios públicos. Estos desechos pueden llegar a viajar miles de kilómetros y contaminar diferentes ecosistemas. El filtro que contienen los cigarrillos está principalmente constituido de acetato de celulosa que no es degradable. Diversos estudios de Greenpeace muestran que su efecto contaminante puede durar entre 7 y 12 años.

El doctor Granda-Orive (2017), neumólogo y coordinador del área de tabaquismo de SEPAR señala que las colillas de los cigarrillos constituyen la primera fuente de basura en el mundo, por delante incluso de los envases de alimentos, botellas y bolsas de plásticos.

El material del que están hechas la mayoría de las colillas, acetato de celulosa es fotodegradable. Esto significa que, en condiciones ideales del medio ambiente, los rayos ultravioletas del sol pueden llegar a fragmentar el filtro en piezas más pequeñas, pero el material de origen no es biodegradable. Las colillas retienen numerosas sustancias como cadmio, arsénico, nicotina, y otros componentes como el metanol, ácido acético y alquitrán. Cuando estas sustancias entran en contacto con el agua, se liberan en el medio, teniendo efectos devastadores en la naturaleza.

Hay que concienciar a la gente con campañas impactantes que remuevan sus conciencias. Por todo lo expuesto anteriormente no comprendo cómo los gobiernos no toman medidas más fuertes para evitar que las colillas se tiren al suelo y no realizan campañas para concienciar a la gente de que este residuo es fatal para la naturaleza. Estamos ante un problema que creo que se tiene que solucionar de otra forma que no sea la sanción. Hay que crear campañas para que la gente se sienta mal por el mal que va a causar al medio ambiente. A las personas menos comprometidas con el medio ambiente se les podía incentivar económicamente para que reciclaran.

Es por ello, que empecé este trabajo, para encontrar una solución a este problema tan grave y actual. Lo primero que hice fue informarme más sobre este problema y de algunas posibles soluciones y estudios que ya habían. Encontré que varios trabajos habían utilizado hongos de podredumbre blanca para degradar los tóxicos del petróleo. En México, un grupo de investigadores había empezado a utilizar estos hongos para degradar los componentes del alquitrán. Fue a partir de ese momento cuando empecé a trabajar, sin embargo, fue muy difícil encontrar información sobre los procesos o reacciones que ocurren entre las enzimas y los tóxicos y por eso ese es uno de los puntos en los que he estado trabajando últimamente.



ANTECEDENTES

Mi trabajo es la continuación del trabajo que realicé el curso pasado. En el estudio que realicé pude demostrar que la colilla contiene sustancias tóxicas que pasaban a la tierra y que las plantas que crecían en la tierra donde habían colillas crecían menos que las plantas que crecían en la tierra donde no habían colillas, estos resultados van en la línea de los obtenidos por Dannielle Green y Bas Boots, profesores de biología en la Universidad Anglia Ruskin, encontraron que la presencia de colillas de cigarrillos en el suelo reduce el éxito de la germinación y la longitud de los brotes (Universidad Anglia Ruskin (ARU), 2019).

El año pasado solo obtuve crecimiento de hifas, pero no obtuve crecimiento de ningún hongo, creo que una de las razones fue que empecé de en el mes de mayo y no pude controlar la temperatura (Aliaga G. y col. 2022). Para solucionar este problema este año he comprado una incubadora para poder mantener la los valores de la temperatura y humedad controladas.

Como en el colegio carecemos de los instrumentos necesarios para analizar si las hifas del hongo habían sido capaces de bajar la toxicidad de las colillas, lo medí de forma indirecta. El rábano es una especie que no crece en sustratos con toxicidad por eso planté semillas de rábanos en las colillas donde habían estado creciendo los hongos desde mayo hasta julio de 2021. También planté semillas en colillas de tabaco que no habían sido biodegradadas por los hongos. Pude comprobar de esta forma mi hipótesis de que sólo el crecimiento de las hifas en las colillas biodegradado las mismas, ya que las semillas plantadas en este sustrato crecieron y por el contrario no lo hicieron el el sustrato de colillas que no habían sido biodegradadas.

También pude demostrar que si dejaba reposar las colillas en el agua el líquido obtenido podía ser utilizado como insecticida y mataba insectos como mosca negra o pulgones. Pero debido a que no poseemos en el laboratorio de la escuela ninguna máquina que me permitiera medir la cantidad de tóxicos que habían pasado al agua este es uno de los procesos que pretendo mejorar en mi trabajo de este año. Para ello, contacté con la Profesora M^a José Ruiz, Catedrática en Toxicología y líder del grupo de investigación RiskTox de la facultad de Farmacia de la Universidad de Valencia. Este grupo de investigación me ayudo a analizar los extractos de las colillas e identificó varias sustancias con potencial insecticida. Para los análisis se utilizó un equipo de cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas de alta resolución con analizador en tiempo de vuelo (HPLC-Q-TOF HRMS) y la búsqueda de los compuestos de interés e identificación en base de datos se llevó a cabo a través de Mass Hunter y METLIN Database.



HIPÓTESIS

1. Las colillas sumergidas en el agua pasan sus tóxicos al agua y de esa forma el líquido obtenido es insecticida.

1.1. A mayor cantidad de colillas mayor cantidad de tóxicos pasarán.

1.2. A mayor tiempo de inmersión mayor transferencia de tóxicos

2. Los hongos crecerán más rápidamente en el sustrato sin papel ni tabaco, debido a que contienen un porcentaje menor de tóxicos.

3. El *Pleurotus Ostreatus* tendrá un mayor poder de micorremediación que el *Pleurotus Ergynii*.

4. Las sustancias tóxicas presentes inicialmente en las colillas desaparecen gracias al proceso de micorremediación que ejercerán las colillas.

OBJETIVOS

1. Medir si hay sustancias tóxicas en las colillas que fueron micorremediadas por el micelio el año pasado, el sustrato en el que crecieron los rábanos.

2. Comprobar que las colillas cuando se sumergen en el agua los residuos tóxicos pasan a la misma.

3. Micorremediar la colilla de tabaco mediante el crecimiento en ella de dos especies de hongos para:

3.1. Ver en que sustrato crecen más:

3.1.1. Colilla sin papel ni tabaco.

3.1.2. Colilla entera.

3.2. Ver cuál de ellos tiene más poder biorremediador

3.2.1. *Pleurotus Ostreatus*

3.2.2. *Pleurotus Ergynii*.

4. Comprobar si las sustancias tóxicas de las colillas pasan al hongo y por lo tanto no son comestibles o ver si por el contrario gracias al poder enzimático que ejerce el hongo es capaz de crecer y neutralizar esas sustancias tóxicas.

MÉTODOLÓGIA

1.- RECOGIDA DE COLILLAS Y PREPARACIÓN DE LOS SUSTRATOS

Las colillas para hacer este trabajo han sido proporcionadas por varios fumadores que nos han recogido ellos mismos las colillas. Nos ha ido guardando en frascos a las colillas de los cigarrillos que iban fumando.



Como quiero tener dos sustratos, en uno he cogido por una parte las colillas enteras y en el otro sustrato he tenido que separar los distintos componentes que podíamos obtener: los restos de tabaco, los filtros de acetato de celulosa y el papel de las colillas.

En un caso utilizaré como sustrato solo las colillas y quitaré el papel y el tabaco, y en el otro caso tendré como sustrato la colilla entera.

2.- PREPARACIÓN DE LOS SUSTRATOS CON LOS HONGOS

Voy a utilizar botes de cristal para colocar los diferentes tipos de sustratos con las dos especies de hongos utilizadas y con cantidades diferentes de micelio. Lo primero que he hecho ha sido colocar la misma cantidad de sustrato en todos los botes y a continuación esterilizarlos en una olla a presión. Una vez han sido esterilizados y se han enfriado ya he pasado a introducir el micelio en los botes. He puesto tres cantidades: 10, 20 y 30 gramos.

RESULTADOS

Lo primero que he analizado es si hay sustancias tóxicas en las colillas en las que se plantó el micelio y en las que a posteriormente crecieron los rábanos de forma que demostré de forma indirecta que no tenía tóxicos las colillas después de crecer el micelio. Los resultados nos indican que al analizar el sustrato en el que crecieron las hifas el año pasado y en el que luego crecieron los rábanos no se encuentran restos de las siguientes sustancias: Fenpropimorph, Dodemorph, N-Methylnicotinium, 2,6-diaminotoluene, Norharman, Polyzonimine ni Phenylpiperazine. Por el contrario, si analizamos colillas cogidas del suelo que no han sido micorremediadas sí que encontramos las siguientes sustancias: Fenpropimorph, Dodemorph, N-Methylnicotinium, 2,6-diaminotoluene, Norharman, Polyzonimine ni Phenylpiperazine. Por lo tanto, podemos concluir que nuestro primer objetivo se cumple.

El segundo objetivo era comprobar si las sustancias tóxicas de las colillas pasan al agua y esta puede ser utilizada como insecticida. En mi anterior trabajo herví las colillas en el agua, ahora sólo he dejado las colillas a remojo en el agua. (ver tabla nº1)

- Prueba 1: 1 litro de agua con 3 gramos de colillas, que estuvieron 1 día al sol
- Prueba 2: 1 litro de agua con 3 gramos de colillas, que estuvieron 3 días al sol
- Prueba 3: 1 litro de agua con 6 gramos de colillas, que estuvieron 1 día al sol
- Prueba 4: 1 litro de agua con 6 gramos de colillas, que estuvieron 3 días al sol
- Prueba 5: 1 litro de agua con 9 gramos de colillas, que estuvieron 1 día al sol
- Prueba 6: 1 litro de agua con 9 gramos de colillas, que estuvieron 3 días al sol



Parto de la hipótesis que cuando más gramos de colillas y más tiempo de inmersión más sustancias insecticidas encontraremos en el agua.

Tabla 01

Tóxicos en las muestras del agua con colillas

COMPONENTE	Fenpropimorph	Dodemorph	N-Methyl nicotinium	2,6-diamino toluene	Notharman	Polyzomimine	Phenylpiperazine
FUNCIÓN	Fungicida	Fungicida	Insecticida	Insecticida	Insecticida	Insecticida	Insecticida
PRUEBA 1	X		X			X	
PRUEBA 2	X	X	X			X	
PRUEBA 3	X		X			X	
PRUEBA 4	X	X	X			X	
PRUEBA 5	X		X	X	X	X	X
PRUEBA 6	X	X	X	X	X	X	X

Podemos observar que las colillas al sumergirse en el agua le pasan las sustancias insecticidas y fungicidas a la misma y que en el caso de la prueba 6 cuando hay 9 gramos y está 3 días es cuando más sustancias han pasado al agua, por lo tanto, nuestro segundo objetivo también se cumple. Puede parecer confuso que las pruebas que solo estuvieron un día contengan Dodemorph y las demás no. Esto se debe a que este fungicida pertenece a los fungicidas morfolina, los cuales se degradan a partir de los 30 grados en lugares con poco oxígeno. Esto tiene sentido, dado que las colillas estuvieron varios días en la botella, es decir un lugar cerrado con poco oxígeno y dándole el sol todo el día.

Si pasamos analizar los resultados para el objetivo tres encontramos que el hongo que crece antes es el *Ostreatus*, un mes antes que el *Ergyni*, Las hifas se desarrollan más rápidamente en el sustrato donde sólo se encuentra la colilla que donde está todo mezclado: colilla, papel y restos de tabaco, tanto en el caso del *Ostratus* como en el del *Ergynii*. Las primeras hifas que aparecen son las del *Ostreatus*, señalar que donde menos hongos obtenemos es en la muestra con 10 gramos de micelio. (ver tabla nº2)



Tabla 02

Fotos de los diferentes hongos en distintos momentos de crecimiento



Mi objetivo tres en su apartado dos era ver el poder micorremediador de los hongos y ver si uno de ellos micorremediaba mejor las colillas que el otro. De los resultados del año pasado ya hemos visto que las colillas después de crecer el micelio dentro de ellas dejan de tener una serie de sustancias analizadas, pero quería ampliar el estudio de las sustancias analizadas. Además, mi cuarto objetivo era ver si las sustancias tóxicas habían pasado al hongo y también comprobar si en el caso que pasaran disminuía la cantidad de tóxicos a medida que pasaba el tiempo. Para ello lo primero era obtener hongos cosa que no obtuve en el trabajo anterior. Afortunadamente he obtenido hongos, una vez medidos y fotografiados los he puesto en el horno a 65º centígrados para secarlos y luego guardarlos en botes independientes para posteriormente analizar si los tóxicos del sustrato de las colillas en las que han crecido han pasado a ellos o han sido capaces de eliminarlos.



Pero no he podido medir el apartado dos ni mi cuarto objetivo debido a que el espectrómetro de masas de la universidad se ha estropeado y como tienen acumulación de trabajos para analizar ya me han dicho que no me van a poder medir mis hongos ni los sustratos en lo que han crecido hasta más adelante.

Para poder entender como este hongo es capaz de micorremediar las colillas es importante conocer cómo funciona su actividad enzimática. Los hongos de podredumbre blanca, a los que pertenece el *Pleurotus Ostreatus* y *Pleurotus Eryngii*, se caracterizan por su capacidad de mineralizar y degradar la lignina utilizando un sistema enzimático extracelular, compuesto por tres enzimas: *Manganeso peroxidasa (MnP)*, *Lacasa* y *Ligninoperoxidasa (LiP)*.

La colilla del cigarrillo está compuesta por un papel fino y por un filtro de acetato de celulosa, donde se quedan una gran parte de los tóxicos. El acetato de celulosa se produce al hacer reaccionar la celulosa con ácidos y catalizadores. La celulosa es un compuesto orgánico que abunda en la naturaleza, proviene de los árboles en un 50%. Es como una fibra formada de vegetales que están unidas por moléculas de glucosa mediante lignina. Es decir, en el acetato de celulosa aún se puede encontrar un porcentaje alto de lignina y tal vez hemicelulosa.

La lignina es un polímero propio de las plantas vasculares de estructura tridimensional. Se encuentra principalmente en la pared celular y la protege ante patógenos, también hay una pequeña proporción en el interior de la célula. Posee una variedad de centros activos que les permite interactuar con otros compuestos. Alguno de estos grupos funcionales son hidroxilos fenólicos, alifáticos, metoxilos.

Normalmente los hongos tienen un desafío para sobrevivir: obtener energía. Algunos de los mecanismos involucran la producción y secreción de enzimas. El mecanismo es, sin embargo, muy complejo, ya que la lignina es un polímero muy grande y, además, la degradación enzimática tiene que ser oxidativa y no hidrolítica, ya que la lignina tiene enlaces C-C y éter. Las enzimas anteriormente nombradas rompen los enlaces carbono-carbono y carbono-oxígeno de la lignina y de los compuestos considerados como xenobióticos, permitiendo la formación de estructuras más sencillas y de alguna manera menos contaminantes. Para catalizar estas reacciones tan poderosas el hongo necesita peróxido de hidrógeno, el cual el hongo produce. Por eso este hongo también puede degradar compuestos con estructura similar a la lignina. Se puede utilizar esta hipótesis para la degradación de los xenobióticos. Este hongo es capaz de degradar una amplia variedad de HAPs, es decir Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos. Se sabe que el tabaco contiene algunos HAPs (benceno, pireno, antraceno)

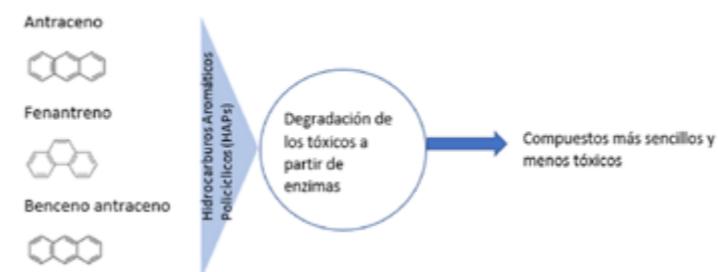
Ya se ha comprobado que enzimas como las ligninas peroxidases pueden oxidar HAPs de tres o cuatro anillos como el antraceno, el fenantreno y el pireno.



Los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) constituyen un gran grupo de productos químicos. Como opción prometedora, las enzimas fúngicas se consideran una opción poderosa para la degradación de los HAP. *Pleurotus Ostreatus* es el más apropiado para la degradación de estos compuestos debido a su producción de enzimas ligninolíticas. Las peroxidases son enzimas que contienen hemoproteínas que tienen ciclos catalíticos comunes. Una molécula de peróxido de hidrógeno oxida la enzima en reposo retirando dos electrones. Posteriormente, la peroxidasa se reduce de nuevo en dos pasos de una oxidación de electrones. Las lacasas son oxidases que contienen cobre. Reducen el oxígeno molecular al agua y oxidan los compuestos fenólicos. Las lacasas han sido caracterizadas como enzimas de baja especificidad de sustrato que reducen el oxígeno molecular a agua y son capaces de oxidar monofenoles, difenoles, y aminofenoles. La lignina peroxidases complementan el trabajo de las lacasas por cuanto no solo oxidan compuestos fenólicos, sino también compuestos no fenólicos y aromáticos.

Figura 1

Sistema lignolítico de degradación de los xenobióticos



Sin embargo, en algunas investigaciones se ha comprobado que algunos compuestos no se degradan ante este sistema, sino por los sistemas oxidativos de las *monooxigenasas del citocromo P-450* y reductivo de las transferasas en la fase I del metabolismo. En la fase II es donde un grupo de enzimas cataliza reacciones de conjugación reduciendo los xenobióticos. Algunos investigadores creen que estos compuestos se degradan sin ser utilizados como sustratos para el hongo, es decir, por cometabolismo. No obstante, los hongos se alimentan de compuestos como el etanol, los cuales están presentes en las colillas, es por ello, que creo que algunos de estos compuestos si que se utilizan como sustratos.

El sistema principal es el de las enzimas ligninolíticas, en el que intervienen un grupo de hemoproteínas, conocidas como *LiPs* y *MnP*.

El Manganeso peroxidasa utiliza su acción oxidativa a través de los radicales de Mn^{3+} a partir de Mn^{2+} . Se forman quelatos cuando el Mn^{3+} se estabiliza con ácidos carboxílicos. Las ligninas peroxidases ejercen su acción oxidativa a partir de algunos compuestos orgánicos. Estas enzimas necesitan H_2O_2 para reaccionar, el cual lo producen ellas mismas, para formar radicales libres Mn^{3+} y AV.



Varios xenobióticos son degradados por reacciones similares a las conocidas como fase I del metabolismo, en las que las enzimas P-450 entran en acción. En los tóxicos de la colilla el CYP81B2 y CYP71A11 provocan la hidroxilación y dimetilación de por ejemplo el clortolurón. En nuestro cuerpo hay fases para la biotransformación de xenobióticos. En la primera fase los compuestos son modificados mediante reacciones de oxidación, reducción y de hidrólisis y se convierten en productos más hidrosolubles, puesto que aparecen nuevos grupos de carácter polar. En el hongo, además, el P-450 introduce un átomo de oxígeno en otras moléculas formando un epóxido. En la fase II los metabolitos ya formados en la fase I se juntan con moléculas endógenas de carácter polar para formar productos de conjugación. Esto se cree que es lo que ocurre con los tóxicos que contiene la colilla.

Se había comprobado que el *Pleurotus Ostreatus* era capaz de reducir los niveles del plomo y del cadmio de suelos contaminados o degradar, mineralizar el DDT y HAPs como el fenantreno. En este trabajo se ha podido demostrar que este hongo también es capaz de degradar los siguientes compuestos: Fenpropimorph, Dodemorph, N-Methylnicotinium, 2,6-diaminotoluene, Norharman, Polyzonimine y Phenylpiperazine.

CONCLUSIONES

1. Las colillas sumergidas en el agua pasan las sustancias tóxicas que contienen de carácter insecticida y funguicida al agua. Por lo tanto, podemos concluir que las colillas tienen poder insecticida y funguicida.
2. Al analizar las colillas también comprobamos que contienen las sustancias insecticidas y funguicidas, pero por el contrario estas sustancias no están presentes en las colillas en las que el año pasado creció el micelio y en el que posteriormente crecieron los rábanos.
3. Los hongos crecen más rápidamente y en mayor número en el sustrato en el que se encuentran sólo las colillas que en el que también está presente el papel y el tabaco.
4. El *Pleurotus Ostreatus* crece antes que el *Pleurotus Ergynii*.
5. El *Pleurotus Ostreatus* crece con mayor facilidad que el *Pleurotus Ergynii* en el sustrato donde está presente el papel y el tabaco.
6. El último objetivo en el que quería comprobar si las sustancias tóxicas de las colillas pasan al hongo y por lo tanto no son comestibles o ver si por el contrario gracias al poder enzimático que ejerce el hongo es capaz de crecer y neutralizar esas sustancias tóxicas, no he podido comprobar porque en diciembre se estropeó el espectrómetro de masas, por lo tanto, este objetivo de mi investigación queda pendiente.
7. Este material considero que puede tener diversos usos. Tiene un aspecto parecido a la lana de roca, sería interesante en futuros estudios comprobar si sirve para



construir paneles para la construcción que sirvan para aislar el ruido. Además, tiene un punto de combustión lento (Murrplastik, 2016). Como tiene mucha facilidad para mantener la humedad se me ocurre que se podría mezclar el material obtenido con tierra de cultivo. Como retiene tanto la humedad no haría falta regar las plantas con tanta frecuencia y esto vendría bien en zonas donde el agua escasea.

En el próximo trabajo me gustaría centrarme en el metabolismo que ocurre entre la nicotina y el citocromo P450, otra enzima que producen este tipo de hongos. Se ha comprobado que algunos compuestos no se degradan ante el sistema de las enzimas ligninolíticas, sino por los sistemas oxidativos de las monooxigenasas del citocromo P450. Es por ello, que he decidido investigar más sobre este campo, dado que hay muy poca información. En la siguiente figura se puede ver una hipótesis que he realizado basándome en la síntesis de la nicotina y el metabolismo que ocurre en nuestro hígado (Vieyra Reyes, P, Jiménez Garcés, C., Hernández González, M., Gómez Olivan, L.) sobre el metabolismo que podría tener lugar.

BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA





Las nutrias reaparecen en las costas de A Coruña y Sada

/ PRIMER PREMIO

AUTORES | MENCÍA CARDESÍN RIAL Y AARÓN DEUS TORÍO

COORDINADORA | MARÍA JESÚS MOURAZOS GONZÁLEZ

CENTRO | IESP EUSEBIO DA GUARDA

CIUDAD | A CORUÑA

RESUMEN |

La nutria euroasiática (*Lutra lutra* L.) es una especie presente en la Península Ibérica. Tras el proceso de disminución sufrido a partir de los años 50, ha comenzado su recuperación ocupando en ocasiones nuevos hábitats antropogénicos, como es el caso de los embalses artificiales. Estudios previos determinaron que las nutrias costeras gallegas evitan las zonas más pobladas o contaminadas. Sin embargo, este trabajo confirma por primera vez la existencia de *Lutra lutra* en los puertos deportivos de Sada y A Coruña y ahonda en el conocimiento de su dieta a través del estudio de los excrementos (*spraints*) recogidos a lo largo de los meses de febrero a mayo de 2022 en esas rías. Ambas rías presentan unas condiciones abióticas similares, pero difieren en el tamaño de las poblaciones humanas, el tránsito de embarcaciones, las características de sus playas y el número de visitantes anuales.

La dieta de la nutria en ambas rías varía ligeramente, estando conformada en su mayor parte por peces marinos y existiendo ocasionalmente muestras mixtas con cangrejo *Carcinus maenas*. En Sada se detectaron 13 grupos distintos de peces, mientras que en A Coruña ascendieron a 9. Además, en Sada hubo tres muestras exclusivas de cangrejo americano.

Este trabajo contribuye al conocimiento del comportamiento de las nutrias costeras de la fachada atlántica española, confirma la mejora de la calidad de las aguas costeras, y propone la utilidad de la observación de *spraints* de nutria como una herramienta válida para monitorizar la calidad de las aguas costeras.

Palabras clave: nutria, *Lutra lutra*, *spraints*, Sada, A Coruña, biodiversidad, calidad de las aguas.



ABSTRACT |

The Eurasian otter (*Lutra lutra* L.) is a species present in the Iberian Peninsula. After the process of decline suffered since 1950s, it has begun to recover, sometimes occupying new anthropogenic habitats, such as artificial reservoirs. Previous studies determined that Galician coastal otters avoid the most populated or polluted areas. However, this work confirms, for the first time, their existence in the marinas of Sada and A Coruña and deepens the knowledge of its diet through the study of the *spraints* collected during the months of February to May of 2022 in those rías. Both rías present similar abiotic conditions, but differ in the size of the human populations, the transit of boats, the characteristics of their beaches and the number of annual visitors.

The diet of the otter in both rías differs slightly, being made up mostly of marine fish, although in both places there were found mixed samples with *Carcinus maenas* crab. In Sada, 13 different groups of fish were detected while in A Coruña there were 9. In addition, in Sada there were three exclusive samples of American crab.

This work contributes to the knowledge of the behavior of the coastal otters of the Spanish Atlantic coast, confirms the improvement of the quality of the coastal waters, and proposes the usefulness of the observation of otter *spraints* as a valid tool to monitor the quality of coastal waters.

Keywords: otter, *Lutra lutra*, *spraints*, Sada, A Coruña, biodiversity, water quality



1. INTRODUCCIÓN

Debido a la situación global de pérdida de biodiversidad, se creó en 2015 la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. En esta, se muestran los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que constituyen una llamada de emergencia a todos los países en varios ámbitos, entre ellos, los que trabajan para preservar los océanos. Son en estos en los que se encuadra esta investigación, que integra, a través del estudio de la presencia y la dieta de la nutria marina (*Lutra lutra*), tres de esos objetivos:

6. Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y saneamiento para todos.

11. Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros y resilientes.

14. Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos para el desarrollo marino.

Se eligió este mustélido porque ya la Directiva Hábitats de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres, advertía en su anexo IV y anexo V que la nutria se encontraba entre las especies animales de interés comunitario que requiere una protección estricta. Sin embargo, las áreas estudiadas no pertenecen a ninguna zona de protección.

Así pues, con la intención de poner en valor los recursos medioambientales de las áreas urbanas de A Coruña y Sada y proponer un sencillo método de monitorización de la calidad de las aguas, se buscaron evidencias de la presencia de *Lutra lutra* en las costas de sus puertos deportivos y se analizaron sus hábitos alimenticios a través del análisis de sus heces (*spraints*).

2. ANTECEDENTES

La nutria marina (*Lutra lutra*) es un mustélido semiacuático con cuerpo alargado y extremidades cortas, cabeza ancha y aplanada, cuello no diferenciable del torso, morro redondeado y provisto de vibrisas táctiles en hocico, boca y mentón (Ruiz Olmo, 2017). En Europa, las nutrias costeras aparecen en la fachada atlántica de manera discontinua en zonas donde pueden encontrar agua dulce, alimento, refugio, poco oleaje y profundidad y agua dulce para limpiar su pelaje y así no pierda su capacidad de impermeabilización y entren en hipotermia (Kruuk, 2006, Ruiz Olmo, 2017).

No obstante, las nutrias costeras están muy poco estudiadas. En Galicia no hubo registros de su presencia hasta las encuestas nacionales de los años 1984 (Delibes, 1990), 1992 y 2004 (Romero, 2008), así como artículos científicos sobre su comportamiento (Romero, 2018). Sin embargo, la existencia de numerosos topónimos al respecto, como Furna das Lontras o Punta das Londras (Real Academia Gallega, 2017) y la multitud de referencias a sus capturas en el pasa-



do para comerciar con su pelaje, hace suponer que su presencia haya sido constante hasta el último tercio del siglo XX, en donde sus poblaciones comenzaron a disminuir drásticamente.

3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. HIPÓTESIS

- Las nutrias aparecen en los puertos deportivos de pueblos y ciudades de tamaño medio con fuerte densidad de población.

Y si efectivamente hay nutrias en esas zonas:

- La dieta de las nutrias estará constituida mayoritariamente por peces e invertebrados costeros locales de aguas poco profundas.

- Los excrementos (*spraints*) de las nutrias se pueden utilizar como bioindicadores de aguas limpias costeras.

Para responder a estas cuestiones se marcaron varios objetivos primarios y secundarios:

3.2. OBJETIVOS PRIMARIOS

- Aprender a distinguir excrementos de nutria y, llegado el caso, vértebras de peces y restos de otros invertebrados digeridos por ellas.

- Confirmar la existencia de nutrias en los puertos deportivos costeros de A Coruña y Sada buscando sus excrementos y localizando las zonas de concentración de *spraints*.

- Analizar los excrementos para profundizar en la dieta de las nutrias costeras en el caso de su existencia en estas villas.

3.3. OBJETIVOS SECUNDARIOS

- Describir la presencia de nutrias a través de la toponimia gallega.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. ÁREAS DE ESTUDIO

Los puertos deportivos de Sada y A Coruña se encuentran, respectivamente, dentro de las rías de Betanzos y A Coruña, en el Golfo Ártabro, cerca de un lugar de interés comunitario (LIC): la Costa Ártabra (ES1110002; 1997) (Figura 1). Ambas ciudades presentan una gran densidad de población, sobre todo A Coruña con 6.499,71 habitantes/km² en comparación con Sada con 595,92 habitantes/km². La temperatura media de las aguas en el periodo estudiado (febrero-junio) rondó los 14,84° C, mientras que la del aire fue de 15,33° C y la media de días lluviosos fue de 12,4 (Consellería de Medio Ambiente, Territorio e Vivenda).



Figura 1

Localización de los puertos deportivos de A Coruña y Sada



4.2. SELECCIÓN DE TRAYECTOS Y VISITAS A LOS PUERTOS

Con Google Earth (TM) se buscaron posibles lugares con rocas accesibles para nutrias siguiendo las indicaciones expuestas en Guitián (2017).

Para confirmar la hipótesis de que existían visitas periódicas de las nutrias a la zona de estudio, se inspeccionaron los trayectos seleccionados en busca de excrementos en los meses de febrero a mayo de 2022.

4.3. APRENDIZAJE DE IDENTIFICACIÓN DE EXCREMENTOS DE NUTRIA

Antes de empezar los muestreos, se aprendió a reconocer los excrementos con la ayuda de las fotografías del trabajo de Guitián (2017) y las facilitadas por la profesora.

4.4. SONDEOS

Para los sondeos se siguió la metodología recomendada en UICN. Consiste en la búsqueda de huellas, secreciones anales y *spraints* a lo largo de tramos determinados de ribera. Se adaptó para tramos de costa como en Romero et al. (2018). Dado que los tramos estudiados fueron rocosos se prescindió de la búsqueda de huellas. El trabajo de campo se llevó a cabo en salidas de campo distribuidas en dos periodos. Se recogieron las muestras del puerto de Sada en 2 puntos de muestreo de 200m y 600m respectivamente, y en el puerto de A Coruña en un único punto de 200m.

La identificación de *spraints* se realizó de forma visual, ya que presentan un aspecto característico con un intenso olor a pescado. Pueden llegar a formarse grandes cúmulos llamados letrinas. Las muestras fueron almacenadas en bolsas estándar de polietileno que se almacenaron en el laboratorio a 5 °C.



4.5. PROCESADO DE MUESTRAS

Las muestras se limpiaron bajo agua de grifo templada a través de una malla de 0,5mm para posteriormente separar las piezas en distintas categorías bajo luz solar o lupa (adaptado de Guillaud et al., 2017). (Figura 2).

Figura 2

Procesamiento de las muestras

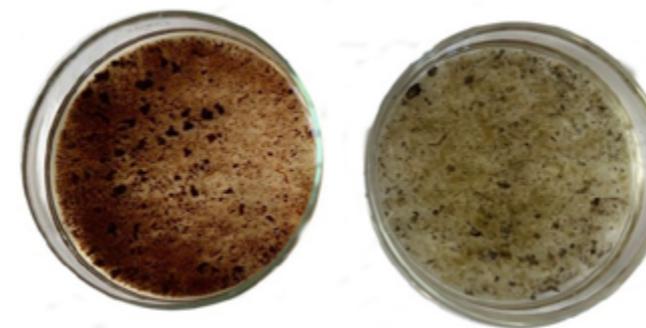


4.6. IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL CONTENIDO DE LAS MUESTRAS

La identificación del contenido se realizó mediante un estereomicroscopio binocular a 200 o 400 aumentos. Este se dividió en dos categorías: cangrejo (restos de exoesqueleto) y pez (vértebras, escamas y otolitos). Las muestras mixtas puntuaron en ambas categorías (Figura 3). Se consideró que las vértebras de un mismo tipo encontradas en un solo *spraint* se correspondían a un pez (Guitián, 2017). El número de otolitos encontrados sirvió para orientar el número de peces comidos. Se diseñó una tabla con los distintos tipos de vértebras de peces, cangrejo y otros restos de seres vivos encontrados, siguiendo lo reflejado en artículos de otros autores). En total se analizaron 18 muestras del puerto deportivo de Sada y 6 del puerto deportivo de A Coruña de invierno-primavera (febrero-mayo), incluida la muestra del mes de septiembre de 2022.

Figura 3

Muestras en agua después del tratamiento. Izquierda: muestra solo con cangrejo americano. Derecha: muestra solo con peces





Para determinar el tipo de pez a través de las vértebras se utilizaron las guías de vértebras de Conroy et al. (1993) y Camphuysen & Henderson (2017) entre otras. En los casos que no fue posible llegar a nivel de especie, se dieron nombradas por familia u orden. Luego se calculó la frecuencia relativa de aparición de cada taxón identificado (FRO) con el paquete Calc de Drive. Para ello se consideró la aparición de presa como “aparición” y se dividió por el número total de apariciones de todos los tipos de presas en el conjunto de *sprints* (Clavero et al., 2004; Romero & Guitián, 2017). Aquí se consideraron los mejillones, otros moluscos e insectos como ingesta adicional no intencionada, por lo que no se tuvieron en cuenta.

4.7. OBSERVACIÓN MEDIANTE CÁMARA TRAMPA, VÍDEOS Y FOTOS VECINALES

La adquisición de una cámara de trapeo *CEYOMUR MODELO CY50* permitió estudiar las visitas de nutrias a los puertos de Sada y A Coruña. Esta se instaló escondida bajo un entrante artificial en el puerto de A Coruña en los meses de mayo a junio de 2022.

4.8. ESTUDIO TOPONÍMICO

Mediante el uso de la herramienta de la Real Academia Gallega (2017), Toponimia de Galicia (en línea), se realizó un estudio toponímico en relación a las nutrias.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. PRESENCIA DE LA NUTRIA EN LOS PUERTOS DEPORTIVOS DE SADA Y A CORUÑA

Se han tomado en cuenta varios indicadores para afirmar que hay presencia de nutria (*Lutra lutra*) en los puertos deportivos con alta presión antrópica.

En primer lugar, la observación a simple vista. Adjuntamos un vídeo del puerto de Sada de diciembre de 2021: <https://youtu.be/ebEgWwXNwCU>

El volumen más importante de evidencias se encuentra en el hecho de que en todos los puntos de muestreo se recogieron *sprints* en los días de sondeo. En total se recogieron 18 muestras en Sada y 6 muestras en A Coruña. No se recogieron todos los *sprints* debido a su función señalizadora (Kruuk, 2006, Ruiz-Olmo, 2017). Además, se analizaron los pelos encontrados con la ayuda de la guía dicotómica “*A guide to the identification of Irish mammal hair*”, de Cornally, A. & Laptop, C. (2016). Desafortunadamente no se obtuvieron resultados con la cámara de trapeo.

Se sabe que las nutrias necesitan la presencia de puntos de agua dulce cercanos para beber y desalinizar el pelaje. Proponemos como posibles puntos el río Mero para el puerto de A Coruña, debido a la presencia de nutrias río arriba,



en el embalse de Cecebre (Guitian, 2017), y el río Grande para el puerto de Sada. Romero et al. (2008) afirman que en zonas de alta densidad de población no puede aparecer dicho mamífero. No obstante, a densidades tan elevadas como las de Sada y A Coruña hemos confirmado su existencia. Probablemente su desaparición se debió a factores como la contaminación de las aguas de la época y su caza, prohibida en 1975, y no a la densidad de población.

A la vista de los resultados es evidente que las nutrias de estas localidades tienen preferencia por peces pequeños, planos, alargados y de fondo. En concordancia con otros estudios, casi el 100% de los peces ingeridos son característicos de zonas intermareales. Además, partiendo de que en la localidad de A Coruña no aparece cangrejo americano en los *sprints*, la aparición del mismo en el puerto de Sada refleja que las nutrias se mueven entre aguas dulceacuícolas y las salobres de esa zona de ría, más parecida a una zona de estuario. Finalmente, aunque se podría pensar que estos resultados están en línea con las capturas habituales realizadas por el ser humano, esto no es así. De todas ellas, sólo la aguja participa de la dieta de *Lutra lutra*. Esto señala cierta preferencia de dieta, y no una adaptación completa a las presas potenciales.

La realidad de la presencia de nutrias en las costas de la ciudad de A Coruña y la localidad de Sada permite poner en valor su patrimonio natural y de biodiversidad. A su vez proporciona una herramienta para contribuir a solicitar medidas de protección para los espacios naturales de estas zonas.

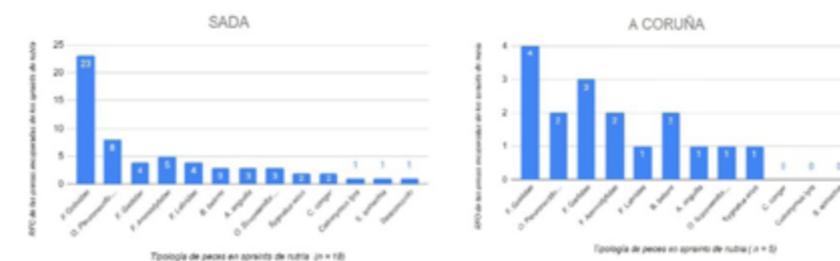
5.2. ANÁLISIS DE LA DIETA

Las tres categorías principales en la dieta de la nutria marina en las localidades estudiadas fueron: peces marinos de 13 grupos diferentes (88%), cangrejo común (7,9%) y cangrejo americano (3,4%). Otros seres vivos fuera de estas tres categorías se consideraron accesorios de alimentación y no se tuvieron en cuenta a la hora de contabilizar. De los 18 *sprints* recogidos en Sada: 11 fueron muestras exclusivas de peces, 4 fueron muestras mixtas de cangrejo común y peces y 3 fueron exclusivas de cangrejo americano. En cuanto a los *sprints* de A Coruña: 3 de las 6 muestras presentaban *C. maenas* y ninguna cangrejo americano.

Además, existen ligeras diferencias en las frecuencias de peces entre los *sprints* recogidos y Sada y en A Coruña, tal y como se indica en la figura 4.

Figura 4

Frecuencia relativa de aparición de los distintos peces en los *sprints* de nutria de A Coruña y Sada



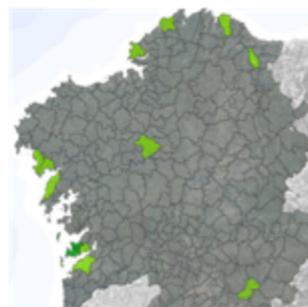


5.3. TOPONIMIA RELACIONADA CON LA NUTRIA EN GALICIA

Nada menos que 30 accidentes geográficos se nombran con el término lontra o londra en Galicia, siendo éstos el nombre en gallego de dicho mustélido. De entre ellos todos son costeros menos cuatro (Figura 5)

Figura 5

Mapa de Galicia mostrando los ayuntamientos con topónimos relacionados



6. CONCLUSIONES

1. Se describe por primera vez la presencia de la nutria en las localidades de A Coruña y Sada, reflejando el buen estado de recuperación de la especie en las zonas pobladas de Galicia.
2. Las nutrias pueden aparecer en puertos deportivos cuyas aguas contienen poca carga de contaminación.
3. Las nutrias costeras del Golfo Ártabro, en las zonas densamente pobladas, se nutren mayoritariamente de peces, sólo un 4% se alimenta de cangrejo americano y sólo un 8% tiene alimentación mixta de peces y cangrejo marino. Su dieta piscícola es variada, estando dominada cuantitativamente por gobios y peces planos.
4. La aparición de nutrias en estas zonas indica la buena calidad de las aguas, por lo que la detección de su presencia mediante sus *spraints* se podría utilizar como un indicador de la calidad de las aguas.
5. El alto número de topónimos en las costas gallegas con referencia a nutrias sugiere su presencia histórica desde hace siglos.

7. AGRADECIMIENTOS

Queríamos agradecer al instituto IES Plurilingüe Eusebio da Guarda, por habernos proporcionado los materiales necesarios. A la comunidad de pescadores y a la cofradía de Sada por facilitarnos numerosos datos. Por último a nuestra profesora Chus Mourazos, quien nos ayudó enormemente a lo largo del proceso y a quien debemos este resultado.



BIBLIOGRAFÍA

- @mencar9716 (2023) Vértebras de spraints de otter (18 de enero de 2023). [Vídeo en línea]. Disponible en <https://www.youtube.com/shorts/07Ey5wDBIs0> [Consultado: 18-01-2023]
- Cornally, A. & Laptop, C. (2016), A guide to the identification of Irish mammal hair, en F. Marnell & R. Jeffrey (Eds.), Irish Wildlife Manuals Series, National Parks and Wildlife Service, Department of the ARts, Heritage, Regional Rural and Gaeltacht Affairs, Ireland, pp 1 - 36, www.npws.ie/sites/default/files/publications/pdf/IWM92.pdf
- Delibes, M. (1990). La nutria (*Lutra lutra*) en España. ICONA Serie Técnica, Madrid.
- Directiva 92/43/CEE, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres. Diario Oficial de la Comunidad Europea, núm. 206, de 22 de julio de 1992, páginas 7 a 50 (44 págs.). www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-1992-81200
- Gutián Caamaño, A., (2017). Comparación de la dieta de *Lutra lutra* en dos embalses con distintos gremios de grandes piscívoros. [TFG]. Universidade de A Coruña.
- Kees Camphuysen, K & Henderson, P (2017). North Sea Fish and Their Remains. Pisces Conservation Ltd.
- Instituto Nacional de Estadística (s.f). Cifras oficiales de población de los municipios españoles en aplicación de la Ley de Bases del Régimen Local (Art. 17) [en línea] disponible en www.ine.es/jaxiT3/Datos.htm?t=2868#!tabs-tabla [consultado: 6 de junio de 2022]
- Kruuk H. Otters. (2006). Ecology, behaviour and conservation. Oxford University Press, New York.
- Naciones Unidas (s.f). Objetivos de desarrollo del Milenio [en línea] disponible en <https://www.un.org/development/desa/es/millennium-development-goals.html> [consulta: 13 de junio de 2022]
- Real Academia Gallega (2017). Toponimia de Galicia [en línea] disponible en <https://toponimia.xunta.gal/gl/proxecto/actual> [consulta: 21 de abril de 2022].
- Romero, R. (2006). La nutria (*Lutra lutra* L.) en Galicia: Distribución geográfica y ecología trófica de las poblaciones costeras. Tesis doctoral. Universidade de Santiago de Compostela. 215 pp
- Romero, R., Nores, C., García-Rovés, P, Gutián, J., Ruiz-Olmo, J. (2008). Distribución y uso del espacio costero de las nutrias en la fachada cántabro-atlántica. In: J. M. López-Martín & J. Jiménez (Eds.). La nutria en España. Veinte años de seguimiento de un mamífero amenazado. SECEM, Málaga, pp: 397-420 <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7665574>



Romero Suances, R. & Guitián, J., (2017). *Food and feeding habits of Eurasian otter, Lutra Lutra, and American mink, Neovison vison, in an Atlantic island of northwest Spain*. Folia Zoologica -Praha- 66(2):117-125. DOI: [10.25225/fozo.v66.i2.a6.2017](https://doi.org/10.25225/fozo.v66.i2.a6.2017)

Romero Suances, R (2018). The Recovery of a Coastal Eurasian Otter (*Lutra lutra*) Population in the Galician Atlantic Islands Maritime-Terrestrial National Park. IUCN Otter Spec. Group Bull. 35 (1): 37 - 46. https://www.iucnosgbull.org/Volume35/Romero_2018.pdf

Ruiz-Olmo, J. (2017) Nutria – *Lutra lutra*. En: Enciclopedia Virtual de los Vertebrados Españoles. Salvador, A., Barja, I. (Eds.). Museo Nacional de Ciencias Naturales, Madrid. <http://www.vertebradosibericos.org/>



Morfología y ecología de una población española de *Colpodidium caudatum* (Ciliophora, Colpodidiidae) encontrada por primera vez en Europa

/ SEGUNDO PREMIO Y ESTANCIA CSIC

AUTOR | JUAN RODERO MADRID

COORDINADOR | JOSÉ LUIS OLMO RÍSQUEZ

CENTRO | IES AZUER

CIUDAD | MANZANARES-CIUDAD REAL

RESUMEN |

El presente trabajo muestra la morfología y ecología de la primera población europea de *Colpodidium caudatum* (Ciliophora, Colpodidiidae) identificada en el IES Azuer (Manzanares, Ciudad Real). La curiosidad sobre los microorganismos que se podían encontrar en aguas residuales o muestras de suelo me llevó a la actual investigación. Tras el análisis de muestras recogidas de un imbornal en mi propio instituto, nos percatamos de un protozoo muy característico llamado *Colpodidium caudatum* del cual no se arrojaban nuevos datos desde hace veintiún años. A partir de este descubrimiento, nos adentramos de lleno en la historia de este protozoo, pasando por sus grandes descubridores y aportadores de información como han sido Wilbert y Foissner, entre otros. En este punto, se decidió realizar un gran estudio del primer *Colpodidium caudatum* encontrado en Europa para, más adelante, realizar distintas comparaciones con las demás especies de *Colpodidium* existentes y con las otras poblaciones de *Colpodidium caudatum*. La insistencia que se puso en los cultivos nos ayudó, al menos, a poder grabarlo por primera vez en vídeo y realizar varias tinciones, para así poder estudiar correctamente su morfología e infraciliación y describirlo de una forma más precisa. Además, se han podido comprobar aspectos de su ecología como las especies con las que convive, que es capaz de sobrevivir largos períodos de sequías en estado de quiste de resistencia y su naturaleza cosmopolita pudiendo ser considerada, además una especie “emblema” o “bandera”



ABSTRACT |

The present work shows the morphology and ecology of the first European population of *Colpodidium caudatum* (Ciliophora, Colpodidiidae) identified in the IES Azuer (Manzanares, Ciudad Real). The curiosity about the microorganisms that could be found in wastewater or soil samples led me to the present investigation. After the analysis of samples collected from a scupper or sink in my own institute, we noticed a very characteristic protozoan called *Colpodidium caudatum* of which no new data had been released for twenty-one years. From this great discovery we fully delve into the history of this protozoan across its great discoverers and contributors of information such as Wilbert and Foissner, among others. At this point, it was decided to carry out a large study of the first *Colpodidium caudatum* found in Europe to later make different comparisons with the other existing *Colpodidium* species and with the other *Colpodidium caudatum* populations. The insistence that was placed on the crops helped us, at least, to be able to record it for the first time on video and carry out several stains in order to be able to correctly study its morphology and infraciliation and describe it more precisely. In addition, aspects of its ecology have been verified, such as the species with which it lives, that it is capable of surviving long periods of drought in a state of resistance cyst, and its cosmopolitan nature, which can also be considered an “emblematic” or “flag” species.



1. INTRODUCCIÓN

La vida microscópica representa un enigma para muchos, ya que desde la educación se enfoca el estudio en animales, plantas y otros seres cotidianos. Aunque no son visibles a simple vista, los microorganismos están en todos lados, algunos causando enfermedades y otros siendo beneficiosos para la salud.

Nos centraremos en los protozoos y en el mundo protista o protoctista. Estos seres microscópicos son seres unicelulares de tipo eucariota y se suelen encontrar mayoritariamente en ambientes húmedos y en la tierra. Se estima que apareciesen en Mesoproterozoico, es decir, hace unos 1630 millones de años.

Existen cuatro grupos en los que se clasifican los protozoos de forma tradicional (sin valor taxonómico real): Rizópodos, flagelados, ciliados y esporozoos.

Este proyecto tratará sobre los ciliados, un grupo de microorganismos eucariotas que se caracterizan por presentar cilios, ser heterótrofos y poseer macronúcleo y micronúcleo (Lynn, 2008). La mayoría son de vida libre y hay descritas más de 3000 especies (Finlay *et al.* 1996 a,b).

En nuestro caso, hemos realizado un estudio con la especie ciliada *Colpodidium caudatum*, que fue encontrada por primera vez en los suelos esteparios de Ningerhar en Afganistán en 1978 por Wilbert (1982). Posteriormente ha sido localizado en Kenia, Namibia, Australia, Japón, Tibet, China, Costa Rica (Foissner, 1995 y Foissner *et al.* 2002), pero nunca en Europa, hasta ahora.

En este trabajo vamos a comparar nuestra población europea con el resto de poblaciones descritas, se suministrarán nuevos datos morfológicos y ecológicos, así como la primera grabación en vídeo de *C. caudatum*. Además, de realizarse una revisión del género *Colpodidium* y una clave dicotómica, también por primera vez, para la identificación de las seis especies de dicho género.

2. ANTECEDENTES

Este proyecto de investigación surge como continuación de “Biodiversidad Críptica”, un proyecto previo del IES Azuer en Manzanares. Varios cursos recopilamos muestras de diversos ecosistemas, las analizaron en el laboratorio y compartieron los resultados en el “Biodiversidad Críptica en el IES Azuer”. (Josebio, 2015).

El concepto de biodiversidad ‘críptica’ no tiene significado oficial, aunque el término ‘críptico’ significa ‘oculto’ entonces se refiere a la biodiversidad oculta; organismos que no son posibles visualizar debido a su tamaño (menos de 2 mm).

Este estudio se centrará en la especie *Colpodidium caudatum* (Wilbert 1982). Esta especie fue analizada por primera vez en 1982 por el biólogo Von Norbert



Wilbert. Pero en este estudio han intervenido más expertos como Foissner y colaboradores (1995, 2002) o Dragesco y Dragesco-Kernéis (1986).

Colpodidium caudatum tiene una serie de rasgos generales descritos por Wilbert (1982):

- Es un protozoo unicelular con variedad de formas entre sus poblaciones.
- Suele ser alargado y delgado, o redondeado y ancho, como un huso.
- La mayoría de las poblaciones estudiadas constan de un solo macronúcleo y un micronúcleo que puede ser o no visible.
- Realiza la función de nutrición a través de su cavidad bucal la cual se suele encontrar cerca de la mitad del protozoo. Su aparato oral es visible en vivo ya que suele sobresalir. Por la zona de la cavidad bucal se encuentra además la membrana paroral de donde salen algunas cinétias (normalmente cuatro) alrededor de la boca.
- Está rodeado por cilios que sirven para darle movilidad.
- Consta de cinétias que pueden verse al teñir el protozoo. Son cilios que surcan todo el organismo y pueden ser cinétias o dicinétias (dos cinétias), según si el cilio está soportado por uno o dos cinetosomas.
- Para la excreción de sustancias, consta de citopigio.
- Contiene una vacuola contráctil y varias vacuolas digestivas.

Foissner en 1985 hará una descripción más detallada y comentará errores cometidos por Wilbert (1992). Foissner *et al.* (2002) realizarán la descripción de varias poblaciones nuevas como las de China, Kenia y Namibia.

3. OBJETIVOS

- Comparar la población europea con el resto de las poblaciones.
- Aportar nuevos datos morfológicos y ontogénicos de *Colpodidium caudatum*.
- Revisar el género *Colpodidium*.
- Elaborar una clave dicotómica para la identificación de las seis especies.
- Identificar las especies asociadas a *C. caudatum*.
- Determinar la naturaleza cosmopolita de *C. caudatum* y valorar sus implicaciones en la conservación de la biodiversidad.
- Identificar los quistes de resistencia u otras formas de resistencia.
- Realizar cultivos puros para su mantenimiento y futuros estudios genéticos.

4. MATERIAL Y MÉTODOS

Las muestras utilizadas son extraídas de un imbornal (Fig. 7) o sumidero, del IES Azuer. El imbornal suele contener aguas residuales, tierra húmeda o tierra seca con hojas.

Las muestras son recogidas con un recipiente vacío. Posteriormente, son llevadas al laboratorio en donde se visualizarán con el microscopio (Fig. 1)

Conservaremos la muestra para realizar un cultivo (Fig. 8).

El proceso para realizar los cultivos es sencillo. Si la muestra es líquida hay que echarle un grano de trigo (Fig. 3) partido. Si es sólida, habrá que agregarle agua (Fig. 3) y después el trigo. Tras unos días se analiza su contenido. Para ello, es necesario, con una pipeta (Fig. 4) coger una pequeña cantidad del cultivo y verla en el microscopio.

Además, podemos realizar tinciones (Fig. 6) con el método del carbonato de plata Fernández-Galiano (1994). Los cultivos puros realizados duran varias semanas y desaparecen por el cambio de las condiciones ambientales (Fig. 5).

Figura 1

Microscopio Swift Stellar 1



Figura 2

Lupa Pierron



Figura 3

Material cultivo: agua y trigo



Figura 4

Pipeta, portaobjetos, cubreobjetos y (recipiente)



Figura 5

Aislamiento

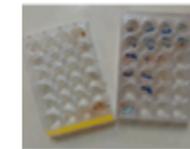


Figura 6

Tinciones realizadas



Figura 7

Imbornal



Figura 8

Cultivos y muestras



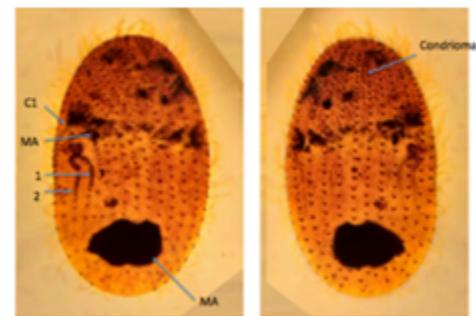


Para la identificación de las especies acompañantes se han utilizado libros y guías: Finlay *et al.* (1998), Patterson (1996) y Streble, H y Krauter, D. (1987).

5. RESULTADOS

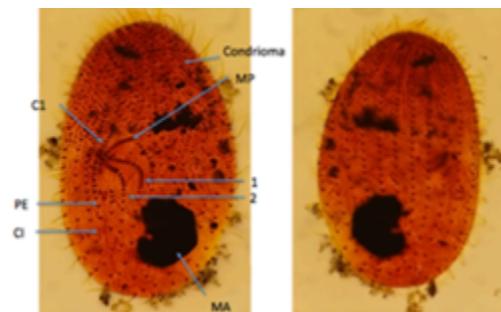
5.1. DESCRIPCIÓN DE LA POBLACIÓN ESPAÑOLA DE *COLPODIDIUM CAUDATUM*

- Tamaño in vivo entre 45-80 x 20-40 μm .
- Su forma es variable; desde la forma de banana con los extremos redondeados, hasta la forma ovoide (Fig. 9).
- El macronúcleo globular tiene superficie irregular, localizado en la mitad posterior y siempre por debajo de la cavidad bucal (Figs. 9-12, 13, 15, 17 y 19). El micronúcleo también globular y próximo al macronúcleo.
- Presenta una vacuola contráctil muy visible debajo de la cavidad oral con un poro excretor (Figs. 9, 15, 19).
- El citopigio se localiza debajo del poro excretor (Figs. 16 y 19).
- Su córtex es grueso, recubierto de cilios. Por debajo del mismo se encuentran numerosas mitocondrias alargadas constituyendo un condrioma, complejo y desarrollado (Figs. 18, 19 y 22).



Figuras 17 y 18

MA-Macronúcleo
MP-Membrana paroral C1
- Cinétia 1, 1,2- prolongaciones cavidad bucal



Figuras 19 y 20

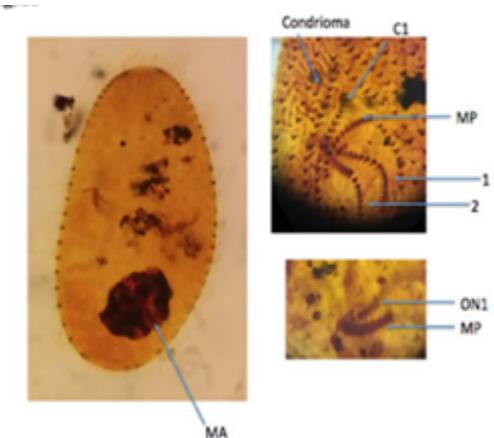
MA-Macronúcleo
MP-Membrana paroral
C1 - Cinétia 1, 1,2- prolongaciones cavidad bucal,
PE - poro excretor, CI: Citopigio



- No se han identificado extrusomas.
- El citoplasma es incoloro.
- Posee vacuolas digestivas con bacterias y residuos de la digestión.
- Nada rápidamente.
- Los cilios somáticos tienen una longitud de unos 5 a 10 μm y son más o menos rígidos.
 - Con la tinción de carbonato de plata se observa que cada cinétida está compuesta por un gran gránulo formado por el cinetosoma del que parte el cilio y una corta fibra cinestodésmica a su izquierda, otra fibra transversa a su derecha, formando un ángulo de unos 120 grados entre ambas fibras.
 - En cada cinétida hay un gránulo más pequeño que se corresponde probablemente a un saco parasomal o alveolocisto. Todo esto puede hacernos pensar equivocadamente que las cinetias están formadas por dos cinétidas en lugar de una.
 - La distancia entre las cinétidas en la parte anterior es menor que en la parte posterior de cada cinetia o fila de cilios (Fig. 21). Las cinétidas de la cinetia uno (C1) se encuentran muy próximas entre sí en su parte anterior (Figs. 10, 12, 13, 15, 17 y 19). La cinetia 1 (C1) es la situada más próxima a la derecha de la cavidad oral.
 - Las cinetias en su cara dorsal son bipolares, mientras que, en su cara ventral, las cinetias situadas a la izquierda del aparato oral, giran ligeramente en su parte anterior dando origen a una sutura preoral (SU) estrecha y casi recta, aunque a veces más girada. (Figs. 13, 15 y 19)
- No presenta cilio caudal.
- La cavidad bucal tiene forma de tubo y en su interior presenta una larga organela adoral ligeramente curvada (NO3) (Fig. 23).

Figuras 21, 22, y 23

MA-Macronúcleo
MP-Membrana paroral C1
- Cinétia 1, 1,2- prolongaciones cavidad bucal, ON1
- Orgánulos Nassulid





- Presenta cuatro cinetias postorales (PO1-4). La primera cinetia postoral (PO1) empieza justo debajo del final de la membrana paroral (PM), la segunda postoral (PO2) comienza en la cavidad bucal cerca de la abertura faríngea, la tercera postoral (PO3) surge al final de la organela adoral 3 u organela nassulida 3 (NO3). Esta es la organela adoral más larga constituida por unas 20 filas de cilios, cada una de estas filas formadas a su vez por tres cilios (Figs 17, 19 y 23). Finalmente, la cinetia postoral 4 (PO4) es muy pequeña y se encuentra a la izquierda del poro excretor.

- El aparato oral dispuesto ligeramente por debajo de la mitad del cuerpo y a veces central.

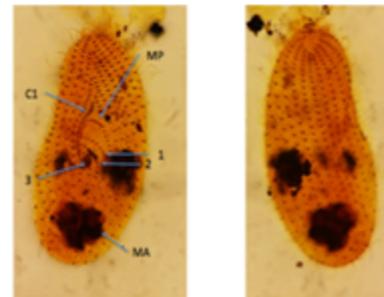
- La membrana paroral se localiza en el lado derecho de la cavidad bucal y se encuentra ligeramente curvada. Está compuesta por unas 16 dicinetidas, donde solo los anteriores cuerpos basales son ciliados.

- La distancia entre las dicinetidas aumenta desde su parte anterior a la posterior, es decir, las dicinetidas están más juntas al inicio de la membrana paroral (MP) que en su parte posterior o final están más separadas (Figs. 10, 12,17 y 19).

- La cesta citofaríngea típica de algunos nasúlidos es poco reconocible.
- El sistema de líneas argénticas o sistema argeófilo no ha sido observado.

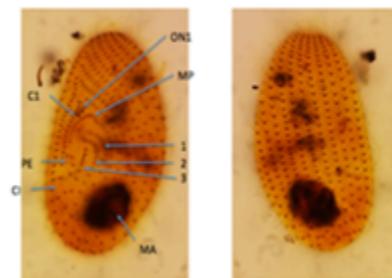
Figuras 13 y 14

MA-Macronúcleo
MP-Membrana paroral
C1 - Cinética 1, 1,2,3- prolongaciones cavidad bucal.



Figuras 15 y 16

MA-Macronúcleo
MP-Membrana paroral
C1 - Cinética 1, 1,2,3- prolongaciones cavidad bucal, PE - poro excretor, CI-Citopigio ONI - Órganulos nassulid



Características morfométricas de la población española de *Colpodidium caudatum*.

Características	X Media	M (mediana)	SD (desviación estándar)	SE (error estándar de la media aritmética)	CV (coeficiente de variación en %)	Min	Max	nº de individuos
Longitud del cuerpo (µm)	65.8	67	10.4	1.9	15.8	48	89	30
Ancho del cuerpo (µm)	34.5	34	6.16	1.1	18.0	23	45	30
Relación longitud/ancho del cuerpo	1.9	1.9	0.15	0.2	7.5	1.8	2.4	30
Extremo anterior del cuerpo al macronúcleo, distancia (µm)	41.9	42.5	7.0	1.3	16.7	28	57	30
Extremo anterior del cuerpo al poro excretor de la vacuola contráctil, distancia (µm)	42.5	42.0	6.7	1.2	14.5	32	57	30
Extremo del cuerpo anterior a la cumbre de la membrana paroral, distancia (µm)	26.8	26	4.8	0.8	16.2	18	37	30
Longitud del macronúcleo (µm)	34.2	34.5	3.9	0.7	24.6	32	30	30
Ancho del macronúcleo (µm)	14.6	15	2.7	0.5	18.9	10	22	30
Número de macronúcleos (µm)	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	30
Número de micronúcleos (µm)	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.0	7
Número de filas ciliares somáticas	21.1	21	1.4	0.3	6.5	19	23	30
Número de filas ciliares somáticas entre la parte anterior del cuerpo y la paroral	8.5	9	0.8	0.2	9.6	7	10	30
Número de cinetias en una cinética dorsal	30.6	31	2.1	0.4	7.0	27	35	30
Número de filas ciliares en el orgánulo nassulid 3	20	20	0.8	0.4	4.0	19	21	4
Número de dicinetidas en la membrana paroral	16.7	16	1.8	0.3	11.8	14	19	30

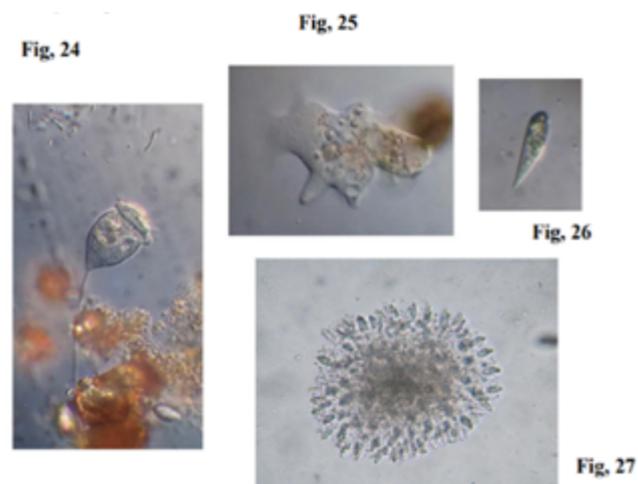
5.2. MORFOGÉNESIS DE LA POBLACIÓN ESPAÑOLA DE COLPODIDIUM CAUDATUM

No se han observado ejemplares en división, aunque sí algunos recién divididos. Aun así, no se pueden proporcionar nuevos datos sobre su morfogénesis. Foissner la describió en la población de Namibia, pero se necesitan más estudios, ya que algunas fases de su morfogénesis aún no están claras (Foissner *et al.* 2002).

5.3. ECOLOGÍA DE LA POBLACIÓN ESPAÑOLA DE COLPODIDIUM CAUDATUM

La población española de *C. caudatum* fue encontrada en un sumidero del IES Azuer donde se recolectó agua después de llover. La primera colecta se realizó en mayo de 2021 y desde entonces se ha recolectado periódicamente en días de lluvia. Además, también se recolectó material seco que estaba formado principalmente por hojas y suelo que se acumula en dicho sumidero. Al remojar esa muestra aparecieron varios individuos de *C. caudatum*. Esto significa que se encuentra en estado latente y muy probablemente en forma de quiste de resistencia. En otras ocasiones donde ha llovido mucho y el sumidero tiene agua residual y en abundancia, no lo hemos encontrado. Esto nos indica que es un ciliado asociado al suelo o a terrenos húmedos más que hábitats acuáticos.

Las especies de ciliados encontradas junto a *Colpodidium caudatum* han sido: *Vorticella sp.*, *Cyrtolophosis mucicola*, *Depranomonas revoluta*, *Colpoda steini*, *Colpoda inflata*, *Dileptus sp.*, *Metopus sp.* y varias especies de hipotricos y escuticociliados. Otros microorganismos identificados han sido: amebas desnudas o gran cantidad de flagelados heterótrofos (Figs. 24-27).



A pesar de más de 15 años de estudio de los ciliados y el análisis de más de 1000 muestras, Foissner nunca ha encontrado a *C. caudatum* en Europa siendo su continente más investigado. Además, veintiún años después de la última descripción de *C. caudatum*, la especie no ha sido ni localizada ni identificada de nuevo. Nuestro encuentro es el más reciente y representa el único hallazgo en este extenso periodo de tiempo. Estos hechos generan dudas sobre la presunta abundancia de *C. caudatum*, como afirmaba Foissner en 1995, y sugieren que en Europa podría ser aún más rara, considerándose posiblemente especie emblemática.

Por otra parte, *C. caudatum* también avala la naturaleza cosmopolita de la mayoría de los ciliados (Finlay 2002, Fenchel *et al.* 1997) al ser encontrada en todos los continentes menos en la Antártida.

5.4. REVISIÓN DEL GÉNERO COLPODIDIUM

Desde la primera descripción de *Colpodidium caudatum* por Wilbert (1982), su posición taxonómica ha estado en discusión. Según Wilbert, *C. caudatum* fue asignado a la familia Colpodidae dentro del orden Colpodida y clase Colpodea, ya que según sus observaciones presentaba dicinetidas en cada cinetia y tenía un inconspicuo vestíbulo, ambas características típicas de los colpódidos.

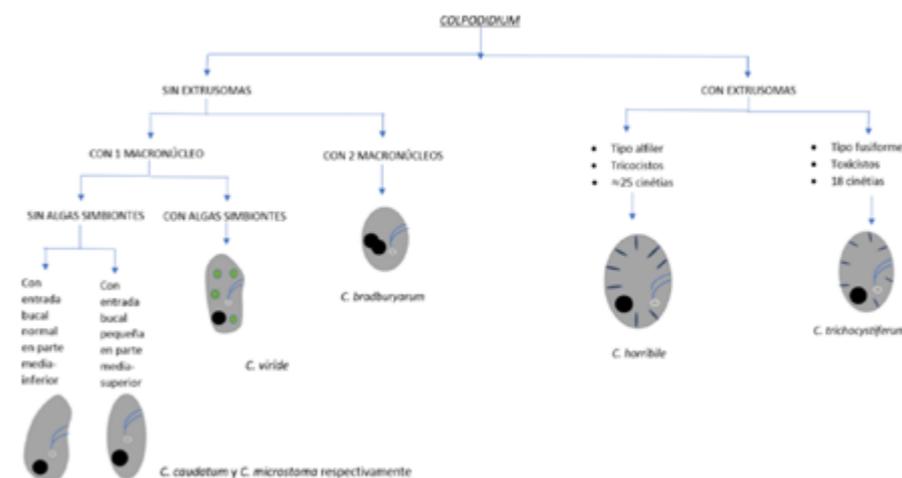
Posteriormente, Foissner (1990) se percató de que las dicinetidas eran realmente monocinetidas ya que la tinción de plata daba origen a dos gránulos impregnados; uno correspondiente a la base del cilio y el otro a un saco parasomal. Además, pudo observar el argiroma y tuvo presente la disposición del poro de la vacuola contráctil y del citopigio, así como su aparato oral. Llegó a la conclusión de que *Colpodidium caudatum* pertenecía a la familia Fugosoniidae y a la clase Nassophorea (Foissner 1995).

Nuevos datos ontogénicos obtenidos de una población encontrada en Namibia de *C. caudatum* permiten establecer una nueva familia, la Colpodidiidae y un nuevo orden Colpodidiida dentro de la Clase Nassophorea (Foissner *et al.* 2002). Con el fin de comprobar estas relaciones taxonómicas Breiner *et al.* (2008) estudiarán el ADN de la pequeña subunidad ribosomal (SSr-ADN) de *C. caudatum* llegando a la conclusión de que realmente se trata de un násulido.

Por tanto, la clasificación taxonómica actual de *Colpodidium caudatum* es: Dominio: Eukarya; Reino: Chromista; Filo: Ciliophora; Clase: Nassophorea; Orden: Nassulida; Familia: Colpodidiidae; Género: *Colpodidium* y Especie: *Colpodidium caudatum*.

Además, el género *Colpodidium* comprende seis especies: *Colpodidium caudatum*, *C. horribile*, *C. trichocystiferum*, *C. microstoma*, *C. bradburyarum* y *C. viride*. Se ha realizado una clave dicotómica para diferenciar las distintas especies de *Colpodidium* (Fig. 28)

Clave dicotómica de la especie *Colpodidium*:



6. DISCUSIÓN

- En relación al tamaño de las poblaciones podríamos diferenciar las poblaciones menores de 50-55 μm de longitud y las mayores de ese tamaño. Siendo la población de China la de mayor longitud. En el caso de la población española podemos encontrar un amplio rango (Tabla 2.)

- Según la forma del cuerpo las poblaciones son reniformes o fusiformes. En el caso de la española hemos encontrado formas que van desde forma fusiforme con extremos redondeados a formas casi ovoideas.



- La disposición de la cavidad bucal varía considerablemente dentro de las poblaciones, aunque en la mayoría de las ocasiones se localiza en la mitad o mitad superior del cuerpo, como ocurre en la población española (Figs. 9, 10, 17 y 19)

Características	Albanistán (Wilbert 1982)	Kenya (Foissner 1995)	Namibia	China	España
Forma del cuerpo	Fusiforme- ovoidal, delgada	Ligeramente reniforme	Reniforme	Muy fusiforme	Reniforme
Longitud del cuerpo en vivo	40-50	55-70	40-55	70-90	45-60
Ancho del cuerpo en vivo	15-20	25-35	15-25	25-40	20-40
Tamaño corporal medio después de la impregnación de plata	45x15	55x22	47x18	76x28	67x34
Macronúcleo, tamaño	70	60	?	50	43
Poros excretor tamaño	65	53	?	60	42
Margen superior de la abertura bucal	51	-33	-33	-40	
Nº de filas ciliares somáticas	19-20	16-19	20-25	19-23	19-23
Nº filas ciliares somáticas entre el extremo anterior del cuerpo y el paroral	8	5-7	5-6	8-11	7-10
Nº de cinétidas en una cinética dorsal	25-31	23-32	19-28	27-44	27-35
Nº de filas ciliares en el orgánulo massulid 3	7	15	12-14	19-22	19-21
Nº de dicinétidas en la membrana paroral	18	12-14	10-13	14-19	14-19
Corteza	Rígida	Rígida	Rígida	Muy flexible	Rígida
Cinétidas dorsales forma	± Derechas	± Derechas	± Derechas	Espiral	Espiral suave
Forma de sutura paroral	Ligeramente curvada, comienza en el lado derecho	± Derechas Comienzan ventralmente	± Derechas Comienzan ventralmente	Espiral, comienzan dorsalmente	Algo curvada, comienza ventralment e

- Respecto a la infraciliación somática existe un solapamiento tanto en el número de filas ciliadas (cinetias) somáticas (de 16 a 25) como en el número de cinétidas en las cinetias dorsales. También incluso en el número de dicinétidas de la membrana paroral (Tabla 2). Indica la variabilidad existente entre las distintas poblaciones.

- Una de las diferencias más marcadas entre la población china y el resto de las poblaciones es la forma de las cinétidas dorsales que dan origen a una forma de sutura muy espiral, a diferencia del resto de poblaciones que suele ser menos curvada, casi recta (Figs. 10, 12 15 y 19).



- *Colpodidium caudatum* muestra una fuerte variabilidad intraespecífica entre poblaciones, como ya habían propuesto Foissner *et al.* (2002).

No se ha tenido en cuenta la población de *C. caudatum* encontrada en Benin (Africa) descrita por Dragesco y Dragesco-Kernéis (1996) porque parece indicar que se trata de *C. horribile* al tener muchas características similares a dicha especie, en especial la larga membrana paroral (Foissner *et al.* 2002).

7. CONCLUSIONES

- La población española de *Colpodidium caudatum* presenta variabilidad interespecífica en la mayoría de sus características morfológicas. Es decir, es una especie con gran variabilidad entre poblaciones, pero no lo suficientemente para ser separada en otras especies, al menos al nivel de "morfoespecie".

- Son necesarios más estudios genéticos para determinar la posición taxonómica de *C. caudatum* y la necesidad de conseguir cultivos puros.

- *Colpodidium caudatum* es un ciliado cosmopolita y no muy común en Europa, lo que le permite ser considerado como una especie "emblema" o "bandera". También pone de manifiesto la naturaleza cosmopolita de la mayoría de los microorganismos y especialmente la de los ciliados.

- *Colpodidium caudatum* es un ciliado del suelo, aunque se reproduce y desarrolla mejor en los terrenos inundados temporalmente.

Destacar que el presente proyecto ha sido publicado como artículo científico por la revista internacional *Protist*: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1434461023000573?via%3Dihub>

BIBLIOGRAFÍA

A continuación, disponen de cuatro códigos QR; **el primero** contiene la bibliografía y webgrafía utilizada en el proyecto, **el segundo** para consultar los anexos, de forma completa y ampliada, que incluyen tablas, gráficas, imágenes y esquemas, **el tercero** contiene el enlace directo a la primera grabación de *Colpodidium caudatum* y **el cuarto** cuenta con los enlaces para dirigirse al artículo publicado por la revista internacional *Protist* sobre este proyecto.





Las nanopartículas de plata en el mundo de las bacterias

/ SEGUNDO PREMIO Y ESTANCIA CSIC

AUTOR | PAU CROSAS GIMENO

COORDINADOR | DIANA MARTÍNEZ JORDÁN

CENTRO | IES RAMON TURRÓ I DARDER

CIUDAD | MALGRAT DE MAR-BARCELONA

RESUMEN |

Este estudio, llevado a cabo desde junio hasta diciembre de 2022, busca desarrollar un conocimiento amplio sobre el mundo nanométrico y, por medio de la experimentación, responder las hipótesis planteadas. Como focos principales del trabajo se destacan: la síntesis de soluciones de nanopartículas de plata en diferentes condiciones y la evaluación de su efecto bactericida.

Se ha optimizado un procedimiento para la síntesis de nanopartículas de plata compatible con los recursos disponibles en un laboratorio no profesional. La síntesis se ha llevado a cabo a partir de nitrato de plata, ácido ascórbico e hidróxido de sodio, para estudiar (a partir de técnicas de espectroscopía y de dispersión de luz dinámica) la influencia del pH en la formación de las nanopartículas. Para evaluar su efecto bactericida, se han aplicado las soluciones a unas mascarillas higiénicas, para, a posteriori, hacer un estudio experimental de estas mediante la recogida de muestras, su cultivo y su seguimiento.

Los resultados demuestran que las nanopartículas de plata tienen efecto bactericida, porque los cultivos obtenidos de las mascarillas con el tratamiento idóneo presentan una cantidad mucho más pequeña de bacterias que aquellos cultivos sin tratamiento. Además, presentan una capacidad reductora del 82,35%, en cuanto al número de colonias de bacterias, versus las mascarillas sin tratamiento, que presentan una capacidad reductora del 43,70%



ABSTRACT |

This study, conducted from June to December 2022, seeks to develop a broad knowledge of the nanometric world and respond to the contemplated hypotheses through experimentation. The main focus of the work is to study the optical properties of nanostructures and nanoparticles (structural coloration of copper oxide), synthesize silver nanoparticles solutions and evaluate the bactericidal effect.

A procedure for the synthesis of silver nanoparticles compatible with the resources available in a high school laboratory has been optimized. The synthesis has been performed from silver nitrate, ascorbic acid and sodium hydroxide, to study (from spectroscopy and dynamic light scattering techniques) the influence of pH on the formation of nanoparticles. To assess its bactericidal effect, solutions have been applied to hygienic masks, and subsequently to carry out an experimental study by collecting samples, cultivating them accordingly and monitoring them.

The results show that silver nanoparticles have bactericidal effect because the crops obtained from masks with the proper treatment present a much smaller amount of bacteria than those crops without treatment. In addition, they have a reducing capacity of 82.35%, in terms of the number of bacteria colonies, to untreated masks, which have a reducing capacity of 43.70%.



1. INTRODUCCIÓN

Inicialmente, entré en contacto con el mundo nanométrico mediante la lectura de artículos sobre la coloración estructural que presentan algunos animales en la naturaleza. Siguiendo la investigación conocí el amplio mundo de las nanopartículas de plata y sus interesantes propiedades. Proponiéndome este trabajo, quise encontrar alguna manera de optimizar los complicados procedimientos que veía en los artículos de doctores y doctoras, para comprobar alguna de sus propiedades y encontrar una aplicación propia e innovadora.

2. ANTECEDENTES

A continuación se explicarán los conocimientos necesarios para entender la parte experimental de este trabajo.

2.1. NANOPARTÍCULAS DE PLATA (AGNPS): CONCEPTO, FORMACIÓN Y EFECTO BACTERICIDA

Las nanopartículas de plata son un tipo de nanopartículas de base metálica ampliamente empleadas actualmente. Muestran interesantes propiedades biomédicas, ópticas, magnéticas, electrónicas y catalíticas que, en general, se relacionan con su medida, forma, composición, cristalinidad y estructura, siendo interesantes desde el punto de vista de su aplicación práctica. Por ejemplo, las AgNPs se utilizan en campos quirúrgicos como la urología y la odontología, en apósitos de liberación lenta para evitar las infecciones.

El método más común para la formación de nanopartículas de plata es la reducción de una sal de plata. Esta tiene que estar en estado de oxidación, y cada catión Ag^+ gana un electrón para convertirse en Ag^0 , forma ideal para la formación de sus respectivas nanopartículas. Para que se produzca se necesitan dos compuestos: un reductor y un estabilizante, aunque hay moléculas que pueden actuar como ambos.

La propiedad bactericida de las sales de plata es conocida desde el siglo XIX. En estudios realizados actualmente se ha comprobado que tienen una alta capacidad para producir un efecto bactericida a concentraciones muy bajas. De este modo me pregunté si la plata en forma de nanopartícula, también tiene un efecto bactericida y, por medio de la investigación y experimentación, fui capaz de comprobarlo.

2.2. MECANISMO ANTIBACTERIANO DE LAS AGNPS

Algunos científicos creen que, al ser disueltas en agua, las AgNPs desprenden cationes de plata (Ag^+), los cuales pueden ser usados para la eliminación de patógenos. Se atribuye la gran eficiencia del efecto antibacteriano de las AgNPs a su medida fina y más larga área de superficie, por la cual pueden destruir la



membrana, introducirse en la bacteria y convertirse en cationes de plata en el citoplasma para dañar la estructura intracelular como efecto secundario.

3. HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

La hipótesis principal de este trabajo es que las nanopartículas de plata tienen efecto bactericida. Seguidamente, se ha hipotetizado que su formación es posible mediante el uso del ácido ascórbico como reductor y que una variación en el pH de la solución alterará el resultado elaborado.

Se plantearon los siguientes objetivos: encontrar un método de síntesis de nanopartículas de plata, comprobar cómo afecta el cambio de pH en sus propiedades y hacer un estudio de su efecto bactericida, encontrando una aplicación propia e innovadora.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. TÉCNICAS DE LABORATORIO PARA ANALIZAR LAS MUESTRAS OBTENIDAS

Para analizar las muestras de AgNPs, se han analizado mediante técnicas de espectroscopía y de dispersión de luz dinámica. Ambas se han usado para la caracterización de las nanopartículas, a fin de afirmar o refutar su presencia.

La espectroscopía UV-VIS es el tipo de espectroscopía que se ha utilizado para estudiar las soluciones. Analiza la interacción de la luz con moléculas que absorben su radiación. En general, la absorbancia de la radiación UV o visible se da por la excitación de los electrones de enlace, permitiendo conocer el tipo de enlace químico correspondiendo a cada banda de absorción electrónica. Para saber que una solución contiene nanopartículas de plata, su respectiva gráfica tiene que mostrar un pico de absorbancia a los 400 nm de longitud de onda.

La dispersión de luz dinámica (DLS) es una técnica no invasiva y bien establecida para determinar la medida y la distribución de moléculas y partículas, normalmente de la región nanométrica. Las aplicaciones típicas de la dispersión de luz dinámica son la caracterización de partículas, emulsiones o moléculas que han sido dispersadas o disueltas en un líquido. La medida ideal de las nanopartículas de plata está entre los 5 y 11 nm de diámetro.

4.2. MEDIOS DE CULTIVO DE CRECIMIENTO

Asimismo, dado que una de las propiedades de las nanopartículas de plata es el efecto bactericida, es necesario definir el concepto de medio de cultivo porque será usado posteriormente para analizar muestras que han sido tratadas con las soluciones preparadas.



Un medio de cultivo es un conjunto de nutrientes, factores de crecimiento y otros componentes que crean las condiciones necesarias para el desarrollo de microorganismos. Con estos, se intenta reproducir su hábitat natural de crecimiento para favorecer su proliferación in vitro. La diversidad metabólica de estos es tan grande que la variedad de medios de cultivo es muy grande.

4.3. EXPERIMENTACIÓN

La parte experimental de este trabajo está dividida en dos bloques. El primero de ellos consiste en la síntesis de nanopartículas de plata, llevando a cabo su análisis y caracterización. En segundo lugar, una vez estudiadas todas las soluciones, se han escogido dos para hacer un estudio de su propiedad bactericida. Se ha realizado mediante el seguimiento de medios de cultivo que incluían muestras de mascarillas higiénicas tratadas con AgNPs. El objetivo principal es ver la diferencia entre los resultados según diferentes parámetros —en este caso el tiempo y el pH de las soluciones— y compararlos con una mascarilla sin tratamiento.

4.3.1. Síntesis de nanopartículas de plata

La primera práctica consiste en la síntesis de nanopartículas de plata a partir de ácido ascórbico ($C_6H_8O_6$), que actúa como reductor y estabilizante, y de nitrato de plata ($AgNO_3$). Mediante la acción del reductor, los iones Ag^+ de la sal de plata se reducen y acontecen Ag^0 . La reacción principal es la siguiente:



Además, mediante el uso del hidróxido de sodio (NaOH) se han obtenido soluciones con diferentes pH, tres de un medio ácido y otras tres de un medio básico.

4.3.2. Estudio del efecto bactericida de las nanopartículas de plata

Una vez se ha asegurado la presencia de AgNPs en las soluciones básicas, se ha llevado a cabo un estudio de su efecto bactericida. Se ha hecho por medio del tratamiento de mascarillas, sumergiéndolas en las soluciones (en concreto las de pH=9 y pH=12). Después, se han usado durante 3 horas y han sido muestreadas. A continuación, se han dejado en aislamiento durante 24 horas en una bolsa zip y se han muestreado nuevamente. Además, se ha efectuado el mismo procedimiento con otra mascarilla que no había sido tratada, para compararlas.

Para comprobar que los medios de cultivo han dado lugar a resultados concluyentes, se ha examinado su posible contaminación mediante una placa control. Esta no ha sido sembrada, por lo tanto, si hubieran proliferado colonias de bacterias, no sería por las muestras si no por la contaminación del medio.



Figura 1

Placa control de la siembra



Se puede observar que la contaminación es mínima, siempre dejando margen de error debido a las condiciones en que se ha trabajado, puesto que esta práctica no se ha hecho en un laboratorio profesional. Aún esto, se puede decir que los resultados obtenidos pueden llevar a conclusiones fidedignas.

5. RESULTADOS

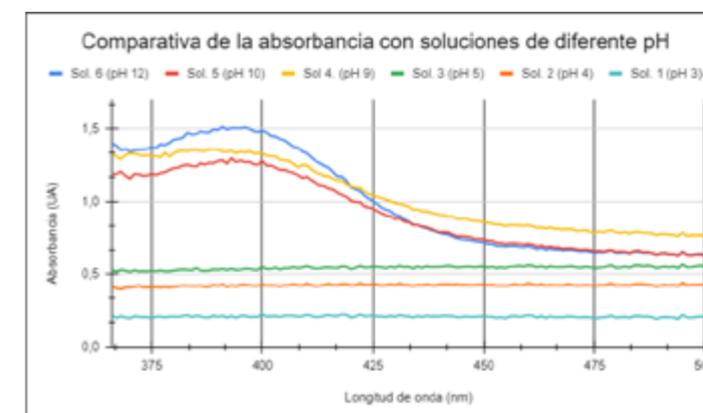
Una vez obtenidas las soluciones se han analizado objetivamente para confirmar la presencia de AgNPs según el pH de cada una. Se han llevado a cabo por medio de técnicas de espectroscopía y DLS que han determinado la absorbancia y los diámetros de las nanopartículas respectivamente.

5.1. RESULTADOS ESPECTROFOTÓMETRO

Esta práctica se llevó a cabo el 29 de noviembre de 2022, en uno de los laboratorios profesionales del Instituto de Química Avanzada de Cataluña (IQAC).

Figura 2

Gráfica comparativa de la absorbancia de cada solución según el pH





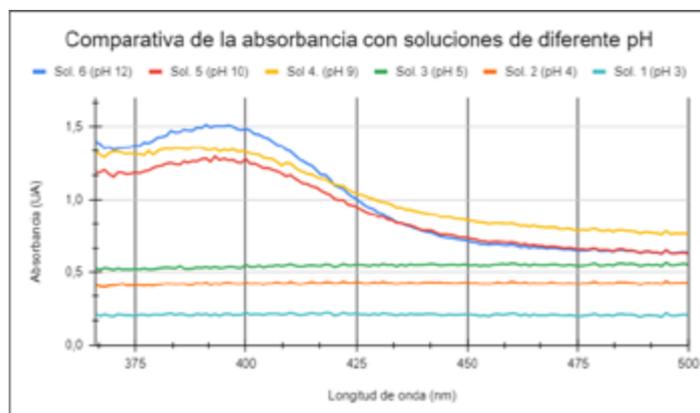
Mediante el uso del espectrofotómetro se ha hecho una gráfica con los resultados para comparar la absorbancia de las soluciones según su pH. Aquellas que tengan AgNPs, muestran un pico de absorbancia a los 400 nm.

Se observa, pues, que en las soluciones de pH ácido (1, 2 y 3) no se han formado nanopartículas de plata o bien se han formado en una cantidad muy baja, porque las gráficas no tienen el pico de requerido. Asimismo, se ha demostrado la presencia de AgNPs en las soluciones de pH básico (4, 5 y 6) porque los picos de absorbancia se dan 400 nm. Además, la reacción tiene el índice de rendimiento máximo, en cuanto a absorbancia, cuando su pH=12.

Si se recuerda la reacción (apartado anterior), se puede hipotetizar la razón por la cual no se forman nanopartículas de plata en las soluciones de medio ácido. Cuando la reacción se da, desprende protones de hidrógeno (H^+). Si el medio es ácido no hay lugar para estos protones, pero si es básico sí que los puede aceptar.

5.2.RESULTADOS DLS

Esta práctica se llevó a cabo el 29 de noviembre de 2022, en uno de los laboratorios profesionales del Instituto de Química Avanzada de Cataluña (IQAC). A partir del análisis anterior, se ha corroborado la presencia de AgNPs en las soluciones de carácter básico. Con la siguiente práctica, se caracterizarán los diámetros de las nanopartículas obtenidas.



En primer lugar, los resultados han dado lugar a nanopartículas de una medida demasiado grande (pico rojo) como para ser AgNPs. Se ha hipotetizado, pues, que estas se han agregado. De esta manera, se han filtrado las soluciones y se han vuelto a analizar con el objetivo de obtener nanopartículas ideales, es decir, de la medida esperada. Se ha usado un filtro de medida 0,45 μm , y han resultado nanopartículas de la medida ideal, alrededor de los 5-10 nm de diámetro.



5.3. RESULTADOS DE LA SIEMBRA

A continuación se han hecho las siguientes tablas con los resultados obtenidos:

Figura 2

Comparativa de los medios de cultivo de las mascarillas después de ser usadas durante 3 y 24 horas

MASCARILLA	SIN TRATAMIENTO	SOLUCIÓN 4 (PH=9)	SOLUCIÓN 6 (PH=12)
3 horas de uso			
Nº de colonias	+1300 colonias	40 colonias aproximadamente	85 colonias aproximadamente
24 horas de uso			
Nº de colonias	+760 colonias	20 colonias aproximadamente	15 colonias aproximadamente

6. CONCLUSIONES

La investigación ha permitido determinar una serie de conclusiones que responden a las hipótesis iniciales y permiten refutarlas o afirmarlas. Son las siguientes:

1. Las nanopartículas de plata tienen un efecto bactericida + Propuesta de una aplicación

Los resultados demuestran que las AgNPs tienen efecto bactericida porque los cultivos de las muestras de las mascarillas tratadas, tienen un número significativamente menor de colonias de bacterias que los cultivos de las muestras de las mascarillas que no han sido tratadas. Además, se ha comprobado que cuanto más básico el pH de la solución, hay una mayor capacidad reductora. Es el caso de la solución 6 (pH=12), que contiene un porcentaje de reducción del 82,35%.

Las posibles aplicaciones que se pueden extraer de esta experimentación son las siguientes: para un uso más amplio, en cuanto al tiempo, de las mascarillas y para el control de residuos de mascarillas. En este último, si se aplicara una solución de nanopartículas de plata a una mascarilla, esta no estaría tan contaminada, hecho que facilitaría su tratamiento como residuo.



2. Se puede hacer una solución de nanopartículas de plata mediante el ácido ascórbico como reductor

Se han obtenido nanopartículas de plata a partir de ácido ascórbico y nitrato de plata según diferentes parámetros de pH en las soluciones 4, 5 y 6. Se ha podido confirmar su presencia mediante el uso de la técnica de la espectrofotometría UV y la DLS, por las cuales también han sido caracterizadas por su medida ideal (5-10 nm) y sin la presencia de agregado, una vez filtrada la solución.

3. Un cambio en el pH de la solución alterará el resultado obtenido

Se han preparado soluciones de AgNPs siguiendo el mismo procedimiento, con una única variable: el pH. Se ha comprobado que en las soluciones con pH ácido (1,2 y 3) no se han formado nanopartículas de plata. Asimismo, se ha determinado la presencia de AgNPs en las soluciones de pH básico (4,5 y 6).

La reacción tiene el índice de rendimiento máximo, en cuanto a la absorbancia, cuando su pH=12. Se podría hipotetizar, pues, que el aumento de la absorbancia, utilizando este procedimiento de síntesis, es directamente proporcional a la basicidad pH. Cuanto más básica sea la solución, más alto será el valor de la absorbancia.

A partir de este trabajo de investigación, se proponen las siguientes ideas para una continuación: hacer un seguimiento del efecto bactericida de las nanopartículas de plata a las mascarillas en intervalos de tiempos más reducidos, buscar y probar otras aplicaciones (p.ej.: en detergentes, pinturas, etc.) y, por último, buscar diferentes parámetros en la síntesis de las nanopartículas: concentración, tiempo de reacción, temperatura, etc. y diferentes maneras de comprobar su presencia, como el efecto Tyndall.

7. AGRADECIMIENTOS

La realización de este trabajo ha sido posible gracias a la colaboración de muchas personas que me han guiado y aconsejado.

En primer lugar, agradecer a mi tutora Diana Martínez que me ha asesorado y apoyado durante todo el proceso. También a los profesores del instituto Sandra Estanyol, Víctor Gil i Laia Saladich, que me ayudaron a llevar a cabo las prácticas en el laboratorio correctamente.

A la Dra. Neus G. Bastús, investigadora en el Instituto Catalán de Nanociencia y Nanotecnología (ICN2), para dedicar una parte de su tiempo a resolver mis dudas. Así como a la Dra. Carme Fàbrega, investigadora en el Instituto de Química Avanzada de Cataluña (IQAC), que me dio la oportunidad de hacer algunas prácticas en el laboratorio de su grupo de investigación, y a su compañera Natàlia Navarro, que también me ayudó.



Por último, al CESIRE (centro de recursos pedagógicos específicos de apoyo a la innovación y la investigación educativa), por cederme material esencial para el inicio de mi investigación.

8. BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

- Ávalos, A., Haza, A. & Morales, P., 2013. Nanopartículas de plata: aplicaciones y riesgos tóxicos para la salud humana y el medio ambiente. *Revista Complutense de Ciencias Veterinarias*, 7(2). https://doi.org/10.5209/rev_rccv.2013.v7.n2.43408 (Acceso 13 septiembre 2022)
- Iturbe, J. L., Nestor, A. R. V., Mendieta, V. S. & Borja, M. A., 2013. Obtención y caracterización de nanopartículas de plata soportadas en fibra de algodón. *Superficies y vacío (México)* Num.3 Vol.26, 26(3), 73-78. <https://www.scielo.org.mx/pdf/sv/v26n3/v26n3a1.pdf> (Acceso 18 septiembre 2022)
- Monge, M., 2009. Nanopartículas de plata: métodos de síntesis en disolución y propiedades bactericidas. *Anales de la Real Sociedad Española de Química*, 105(1), 33-41. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2931286.pdf> (Acceso 5 octubre 2022)
- Silver, S., 2003. Bacterial silver resistance: molecular biology and uses and misuses of silver compounds. *FEMS Microbiology Reviews*, 27(2-3), 341-353. [https://doi.org/10.1016/s0168-6445\(03\)00047-0](https://doi.org/10.1016/s0168-6445(03)00047-0) (Acceso 7 octubre 2022)
- Tripathi, A., Chandrasekaran, N., Raichur, A. M. & Mukherjee, A., 2009. Antibacterial Applications of Silver Nanoparticles Synthesized by Aqueous Extract of Azadirachta Indica (Neem) Leaves. *Journal of Biomedical Nanotechnology*, 5(1), 93-98. <https://doi.org/10.1166/jbn.2009.038> (Acceso 23 octubre 2022)
- Velikov, K. P., Zegers, G. E. & van Blaaderen, A., 2003. Synthesis and Characterization of Large Colloidal Silver Particles. *Langmuir*, 19(4), 1384-1389. <https://doi.org/10.1021/la026610p> (Acceso 27 octubre 2022)



La bomba biológica, el pulmón verde del planeta

/ SEGUNDO PREMIO

AUTORES | MARTA FERNÁNDEZ PÉREZ Y PABLO JAVIER POVEDA GARCÍA

COORDINADOR | JAVIER ANTONIO ELIZALDE RAZQUIN

CENTRO | COLEGIO LUIS AMIGÓ

CIUDAD | MUTILVA-NAVARRA

RESUMEN |

A partir de la creación de la máquina de vapor comenzó lo que actualmente se conoce como calentamiento global. Las emisiones de CO_2 a la atmósfera aumentan considerablemente todos los años, generando así problemas globales. Sin embargo, existen organismos en la Tierra que transforman el CO_2 en oxígeno de manera natural, como es el caso de las diatomeas. Así mismo, los avances tecnológicos han dado lugar a la creación de las CCUS, unas tecnologías que capturan el CO_2 de la atmósfera. Es por ello que uniendo estos dos conceptos se plantea la creación de una bomba biológica artificial en la que se ha estudiado si las algas del río son capaces de transformar el CO_2 capturado de la atmósfera en O_2 . Para ello se ha creado un banco de ensayo experimental utilizado una pecera y las tecnologías de *Arduino*, con las que se hizo el seguimiento durante 33 días de la temperatura, presión, humedad, oxígeno y dióxido de carbono asociados al cultivo de algas. Los objetivos principales del proyecto han girado en torno a la construcción del banco de ensayo experimental, que sea económico, la realización de posterior cultivo de algas y conseguir hacer el seguimiento de los parámetros.



ABSTRACT |

Global warming began with the creation of the steam engine. Carbon dioxide emissions have been consistently increasing in the last years, causing global issues. Nevertheless, the Earth has natural organisms that transform the CO_2 into O_2 , such is the case of diatoms. Likewise, new technological progresses have given rise to the CCUS, which are technologies that capture de CO_2 from the atmosphere. The combination of these two concepts therefore poses the creation of an artificial biological bomb which permits us to study how the algae of the river are able to transform the CO_2 captured from the atmosphere into O_2 . For this reason, an experimental test bench was created by using a fish tank and *Arduino* technologies. These were used to keep track of the temperature, pressure, humidity, oxygen, and carbon dioxide associated to the seaweed cultivation during 33 days. The main goals of the project are building an economical experimental test bench, growing subsequent seaweed, and managing to keep track of the parameters.



INTRODUCCIÓN

Como todo el mundo sabe, a partir de la utilización de la máquina de vapor en la Primera Revolución Industrial (desde finales del siglo XVIII), puede hablarse del inicio del proceso de contaminación y calentamiento global en el planeta Tierra.

Se han establecido numerosos objetivos y acuerdos a nivel internacional. Uno de ellos es el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 13, *Acción por el clima*, que busca mitigar los niveles de CO₂ y de otros gases de efecto invernadero en la atmósfera (ONU, s.f.).

Muchos seres vivos transforman de manera natural el CO₂ en oxígeno (O₂). Este es el caso de las diatomeas. Estas, mediante la fotosíntesis, utilizan la energía procedente del sol para convertir el CO₂ en carbono orgánico (C). Este proceso es denominado “bomba biológica” (Cermeño, 2020).

Así mismo, la ciencia ha ideado y desarrollado numerosos métodos y formas de reducir estas emisiones de CO₂ a la atmósfera. Algunas de las soluciones que se plantean son fomentar el uso de energías renovables y la captura de carbono (CCUS).

Por todo esto, la motivación para realizar este proyecto de investigación se basa en poder encontrar una forma de ayudar a mitigar el cambio climático de una manera innovadora, económica y útil para la sociedad.

ANTECEDENTES

Últimamente, se ha hablado mucho sobre la posibilidad de encontrar la forma de realizar la fotosíntesis de manera artificial.

En referencia a las tecnologías más novedosas en relación con este tema, cabe destacar las CCUS (por sus siglas en inglés *Carbon Capture Use and Storage*), las cuales quedan definidas bajo un conjunto de procesos tecnológicos con el propósito de reducir las emisiones de carbono en la atmósfera. Es un proceso tecnológico artificial mediante el cual se retira el CO₂ del aire y se convierte en materiales aprovechables o se almacena en el subsuelo de manera segura y permanente. (Freeman y Yellen, 2019).

El estudio de la fotosíntesis artificial ha sido tratado en trabajos fin de carrera, grado, máster o tesis doctorales. Un ejemplo es el trabajo titulado *Captura de CO₂ mediante algas unicelulares*, presentado en 2010 por M^a José García Vicente, en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la Universidad Politécnica de Madrid. En él se llevó a cabo un cultivo de *Nannochloropsis gaditana* en un biorreactor al que se le inyectaron concentraciones de CO₂ para medir la cantidad de esta sustancia que esta especie de alga puede capturar.



Por último, muy recientemente, investigadores del CSIC y de la Universidad de Sevilla han descubierto un mecanismo para retirar el CO₂ atmosférico utilizando microalgas (Mallén-Ponce, Pérez-Pérez y Crespo, 2022).

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Tras el análisis realizado, la hipótesis planteada es la siguiente: ¿sería posible desarrollar una bomba biológica “artificial” y económica con la que poder transformar el CO₂ capturado de la atmósfera en oxígeno?

Por ello, los objetivos de esta investigación son:

- Construir un prototipo de banco de ensayo experimental a escala reducida, con el fin de analizar y valorar la viabilidad técnica de este concepto de bomba biológica “artificial”.
- Conseguir que el prototipo sea económico y fácil de utilizar.
- Conseguir realizar un cultivo de algas para su posterior seguimiento y estudio.
- Hacer un seguimiento de los distintos parámetros en el prototipo a lo largo del tiempo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Primero de todo, para la realización de la bomba biológica “artificial” se ha diseñado un prototipo 3D de lo que sería el banco de ensayo (imagen 1 del anexo). En él se puede observar que hay un depósito (01) para contener el fluido de estudio (02), formado por fitoplancton y agua. Alrededor del depósito se pueden ver los diferentes elementos que se han considerado necesarios inicialmente:

- **Depósito estanco (01):** de 2 m x 1 m x 1 m (2 m³). Fabricado un material transparente, con el fin de que el contenido se vea con claridad y las algas puedan captar la luz solar y realizar la fotosíntesis
- **Fluido de estudio (02):** compuesto por una mezcla de fitoplancton, en una proporción de 70%.
- **Calentador/resistencia (03):** para mantener la temperatura del agua entre los 15 y 22° C (dependiendo de la especie), temperatura óptima en la que vive el fitoplancton.
- **Sensor de temperatura del agua (04):** con el fin de mantener controlada la temperatura del agua y así proporcionar las condiciones óptimas para el posible desarrollo de vida del fitoplancton.
- **Sensor pH (05):** con el fin de mantener controlada la acidez del agua entre 7 y 9.
- **Ventana de acceso de alimentación de fitoplancton (06).**
- **Sensor de presión de ambiente (07):** para controlar la presión del depósito.



- **Sensor de temperatura ambiente (08):** para controlar la temperatura fuera del agua.
- **Sistema de circulación del agua (09):** para evitar que el agua se estanque y se creen organismos no deseados.
- **Sistema de medición de O₂ (10):** para controlar la concentración de O₂ del depósito.
- **Drenaje (11):** como fuente de salida del fluido.
- **Sistema de medición del CO₂ (12):** con el fin de tener controladas en todo momento las cantidades de CO₂ en el ambiente del depósito.
- **Sistema de iluminación (13):** para permitir que el fitoplancton pueda hacer la fotosíntesis

Tras la fase de diseño, se ha continuado con el desarrollo y construcción del prototipo real de bomba biológica “artificial”. Para su realización se ha decidido utilizar principalmente la tecnología de *Arduino*. Los componentes utilizados para la construcción del prototipo real (imagen 2 del anexo) han sido:

- **Depósito estanco:** se ha utilizado una pecera de vidrio de 11 L de capacidad, de la marca *Radys* (Amazon, 2021).
- **Fluido de estudio:** una muestra de agua del río Arga, situado en Navarra, a su paso por la ciudad de Pamplona en Ororbia (42° 48' 51.5" N - 1° 44' 55.2" W), donde el río es un poco más estrecho y la corriente tranquila. Se ha recogido agua de los dos puntos con algas y piedras en botes de cristal para después cultivarlas en casa (wikiHow, s.f.).
- **Sensor de temperatura del agua:** se ha usado un termómetro digital con pantalla sumergible pensado para peceras, con un rango de temperaturas de -50 °C a 70 °C, modelo 80348 del fabricante *Gamefox* (Amazon, 2021).
- **Sensor de presión de ambiente:** sensor de *Arduino* modelo BMP-180 (GY-68) (Naylamp Mechatronics SA, 2021).
- **Sensor de humedad y temperatura ambiente:** modelo *Arduino* DHT-11 (Del Valle-Hernández, s.f.).
- **Sistema de circulación del agua:** bomba de agua conectada a un relé KY-19. (Agricultura Electrónica, 2019).
- **Sistema de medición del CO₂:** sensor de *Arduino* modelo MH-Z19 (Prometec, s.f.).
- **Sistema de medición de O₂:** de sensor de *Arduino* KE-25. (anon., 2020).

Todos estos elementos se han conectado a una placa de *Arduino MEGA 2560 R3*, excepto la bomba de agua y el relé que se han conectado a una placa de *Arduino UNO* (tabla 1 del anexo de tablas). Para visualizar los datos de los sensores, se ha conectado una pantalla LCD 20x4. Cada componente cuenta con



su propia programación, que puede ser descargada en el siguiente enlace: <https://bit.ly/3GoDHwl>.

Se ha realizado el experimento de dos fases: en la primera, se realiza el cultivo de fitoplancton en un depósito diferente al principal; en la segunda fase se transfiere el cultivo al depósito estanco y, una vez en él, se toman los datos de los sensores tres veces al día, entre las 7:30-8:00, entre las 14:30 y las 15:00 y finalmente entre las 14:30 y las 15:00

RESULTADOS

Primero de todo, se ha podido realizar un prototipo de banco de ensayo experimental. La pecera está sensorizada con diferentes elementos de *Arduino*. Todo esto puede verse en la imagen 2 del anexo de figuras. Estos sensores se encuentran controlados y conectados a dos placas, una placa *Arduino MEGA 2560 R3* y otra placa *Arduino UNO*. Los sensores utilizados y sus puertos de conexión se pueden observar en la imagen 1 del anexo de tablas. La programación de la bomba de agua se puede encontrar en este enlace <https://bit.ly/3wVVv04>.

En segundo lugar, en referencia a los costes del prototipo, hay que destacar que el precio final del mismo ha sido de 146,27.

Tercero, en referencia al cultivo de algas. Se pudo observar a microscopio óptico la existencia de algas en las muestras recogidas en Ororbia

Por último, durante 34 días, del 22 de marzo al 24 de abril de 2022, se estuvieron recogiendo los datos de los diferentes sensores tres veces por jornada. Una vez terminado el proceso se han analizado los resultados recogidos por cada sensor:

- Para las temperaturas, hay que diferenciar la ambiental, medida con el sensor DHT-11, de la del agua, medida con el termómetro acuático. Los resultados de la media diaria de los dos sensores se pueden observar en la imagen 3 del anexo de figuras,
- En segundo lugar, en referencia a los datos obtenidos por el sensor de presión BMP-180 (GY-68). En la imagen 4 del anexo de figuras puede observarse que la gráfica de resultados.
- En tercer lugar, en el caso del sensor de CO₂ se observa un coeficiente de variación del 37,51%, el cual es superior al 30%, así que se toma el valor de la mediana, 5.037 ppm, como resultado. Los valores medios quedan reflejados en el gráfico de la imagen 5 del anexo de figuras.
- En cuarto lugar, el coeficiente de variación del sensor de O₂ (KE-25) es de 46,50%, superior al 30%, por lo que se vuelve a tomar la mediana de los datos recogidos como resultado, 16,70%. Los valores medios quedan reflejados en el gráfico de la imagen 6 del anexo de figuras.



- Por último, el análisis de los datos recogidos por el sensor de humedad (DHT-11). En la imagen 7 del anexo, se observan los valores medios diarios.

El resumen de resultados queda reflejado en la tabla 2 del anexo de tablas.

CONCLUSIONES

Respondiendo a la hipótesis, se puede concluir que sí se ha podido desarrollar una bomba biológica artificial siguiendo el modelo planteado al principio del experimento. De esta manera se ha cumplido con el primero de los objetivos. Además, el precio final del prototipo es de 146,28 €, siendo este un precio no demasiado elevado.

En cuanto a la sencilla utilización del prototipo, se puede decir que esta es una parte a mejorar, ya que durante la toma de mediciones el sensor de CO₂ dio algún que otro problema no mostrando correctamente los datos en la pantalla LCD. También cabe destacar los altos valores de los coeficientes de variación de los sensores de CO₂ y O₂, y es por ello que una mejora para el futuro podría ser la implementación de unos sensores de mejor calidad.

Finalmente, entre las futuras mejoras del proyecto hay que destacar incluir un sensor de medición del pH del agua y la hermetización de la pecera.



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a nuestro tutor Javier Elizalde y a nuestros compañeros de equipo. Al padre de Marta, José Luis Fernández, a la madre de Marta, Ana Pérez. Y, por último, al Colegio Luis Amigó.

BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

- Agricultura Electrónica. (2019) *Bomba de agua controlada con Arduino*, de <https://create.arduino.cc/projecthub/agriculturaelectronica/bomba-de-agua-con-arduino-602930>.
- Anónimo. (2020) *How to use KE-25 Oxygen Sensor with Arduino*, de <https://miliohm.com/how-to-use-ke-25-oxygen-sensor-with-arduino/>.
- Amazon. (s.f.) *Amazon*, de [enlace](#).
- Amazon. (s.f.) *Amazon*, de https://www.amazon.es/gp/product/B06X4283L1/ref=ppx_yo_dt_b_search_asin_title?ie=UTF8&psc=1.
- Amazon. (s.f.) *Amazon*, de [enlace](#).
- Cermeño, P. (2020) *Las diatomeas y los bosques invisibles del océano*. España: Catarata.
- Del Valle-Hernández, L. (s.f.) *Cómo utilizar el sensor DHT11 para medir la temperatura y humedad con Arduino*, de [enlace](#).
- Del Valle Hernandez, L. (s.f.) *Programa fácil*, de <https://programarfácil.com/blog/arduino-blog/sensor-dht11-temperatura-humedad-arduino/>.
- Freeman, M. y Yellen, D. (2019) "Capturemos el carbono", *Investigación y ciencia*, 319 (2), p. 11.
- García-Vicente, M.J. (2010) *Captura de CO₂ mediante algas unicelulares*. Trabajo fin de grado. Universidad politécnica de Madrid.
- Mallén-Ponce, M.J., Pérez-Pérez, M.E., Crespo, J.L. (2022) *PNAS*, de <https://www.pnas.org/content/119/2/e2115261119>.
- Organización de Naciones Unidas. (s.f.) *Objetivo 13: Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos*, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/climate-change-2/>.
- Nylamp mechatronics. (s.f.) *Tutorial sensor de presión barométrica BMP180*, de https://nayloramechatronics.com/blog/43_tutorial-sensor-de-presion-barometrica-bmp180.html.
- Prometec. (s.f.) *Sensores de CO₂: MH-Z19*, de <https://www.prometec.net/sensores-de-co2-mh-z19/>.
- WikiHow. (s.f.) *Cómo cultivar algas*, de [enlace](#).



ANEXO DE FIGURAS

Imagen 1

Prototipo inicial del banco de ensayo realizado a ordenador mediante la aplicación. (Elaboración propia).

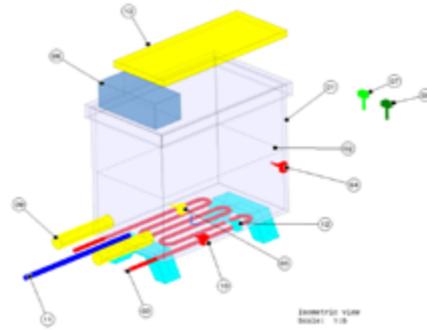


Imagen 2

Imagen del prototipo real, una vez construido con los sensores y las conexiones necesarias para su funcionamiento. (Elaboración propia).

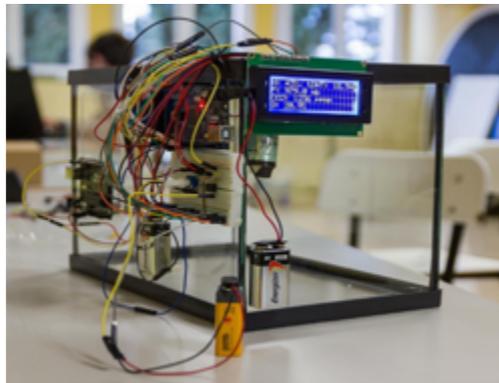


Imagen 3

Gráfica resultados obtenidos tras la realización de la media diaria de las tres mediciones del sensor DHT-11 (sensor temperatura del aire) y el termómetro del agua. (Elaboración propia).

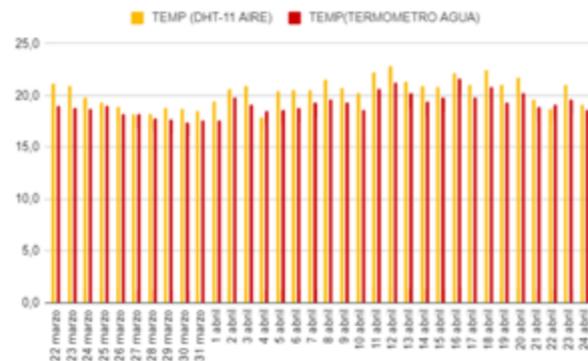


Imagen 4

Gráfica resultados obtenidos tras la realización de la media diaria de las tres mediciones del sensor de presión. (Elaboración propia).

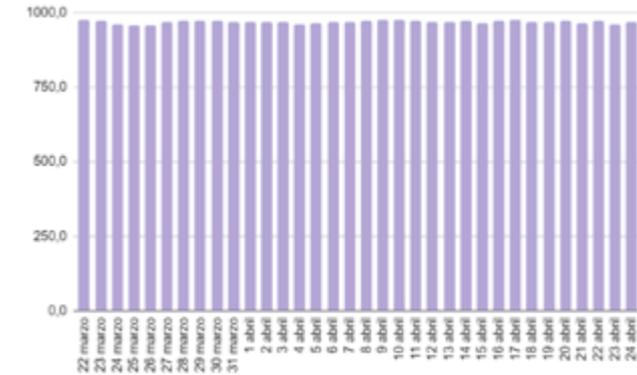


Imagen 5

Gráfica resultados obtenidos tras la realización de la media diaria de las tres mediciones del sensor de CO₂. (Elaboración propia).

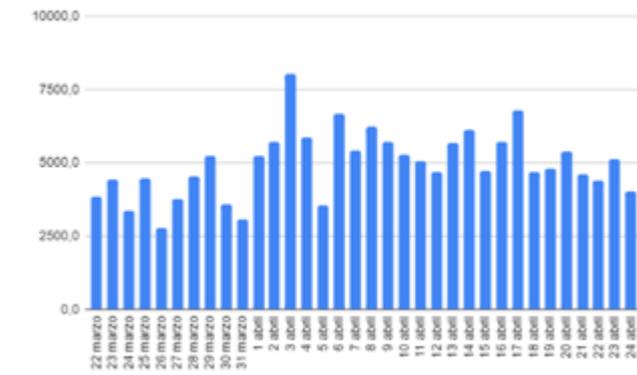


Imagen 6

Gráfica resultados obtenidos tras la realización de la media diaria de las tres mediciones del sensor de O₂. (Elaboración propia).

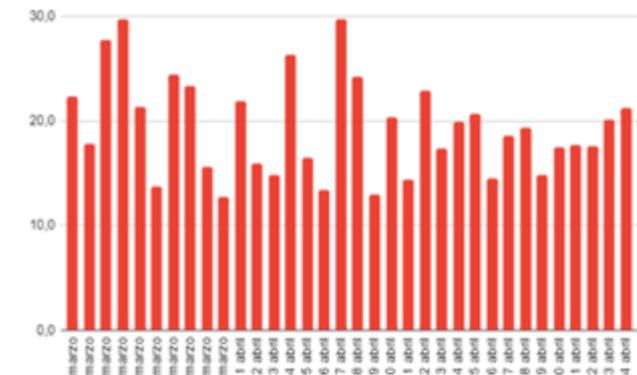




Imagen 7

Gráfica resultados obtenidos tras la realización de la media diaria de las tres mediciones del sensor de humedad DHT-11. (Elaboración propia).

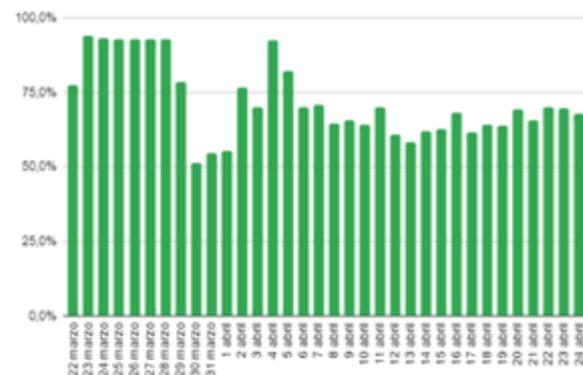


Tabla 2

Tabla de resultados por mediciones diarias y haciendo la media de estas tres mediciones. (Elaboración propia).

		T AIRE (°C)	T AGUA (°C)	PRESIÓN (MILIBAR)	CO ₂ (PPM)	O ₂ (%)	HUMEDAD (%)
RESULTADOS POR MEDICIONES	Media	20,33	19,18	969,15	4957,90	19,47	71,96
	Desviación típica	1,75	1,23	5,15	1859,50	9,05	14,23
	Coefficiente de variación (%)	8,61	6,40	0,53	37,51	46,50	19,78
	Mediana	20,20	19,25	969,55	5037,00	16,70	69,00
MEDIA DIARIA	Media	20,33	19,18	969,15	4957,90	19,47	71,96
	Desviación típica	1,32	1,03	4,59	1125,09	4,70	12,66
	Coefficiente de variación (%)	6,51	5,39	0,47	22,69	24,16	17,59

ANEXO DE TABLAS

Tabla 1

Conexiones de los distintos elementos y sensores a su placa correspondiente. (Elaboración propia).

MATERIAL	CONECTOR PLACA
Sensor de humedad y temperatura (DHT-11)	3 (Arduino MEGA)
Sensor de presión BMP-180 (GY-68)	SDA20 / SCL21 (Arduino MEGA)
Sensor de CO2 (MH-Z19)	TX118, RX119 (Arduino MEGA)
Sensor de O2 (KE-25)	A0 (Arduino MEGA)
Pantalla LCD 20x4	12, 11, 10, 9, 8, 7 (Arduino MEGA)
Relé KY-019	13 (Arduino UNO)



Relación biótica entre abejas y agricultura: la eficiencia en la polinización de cultivos

/ SEGUNDO PREMIO

AUTORA | NEREA RODRÍGUEZ MONTIEL

COORDINADORA | MARÍA TERESA HERVÁS ABELLÁN

CENTRO | IES LOS ALBARES

CIUDAD | CIEZA-MURCIA

RESUMEN |

El principal objetivo de esta investigación es estudiar la importancia de las abejas en la polinización de los campos de cultivo de Cieza, para ello se elaboró una encuesta realizada a 88 agricultores de Cieza (Murcia), desarrollada a partir de la información obtenida de las entrevistas realizadas a los expertos, como instrumento de triangulación: Carlos Zafra, técnico- veterinario y apicultor de la Asociación de Apicultores de la Región de Murcia (AARM); Félix Torres, especializado en el área de zoología, doctor en Biología; Adaya Marín, técnica- veterinaria de la Agrupación Murciana de Apicultores Profesionales (AMAP) y a Domingo Lucas, apicultor de Cieza (Murcia); y un registro de datos morfológicos y monitorización de ácaros Varroa , para una valoración de la salud del apiario seleccionado. La principal conclusión extraída es que un declive de la población de abejas afectaría directamente a la producción agrícola y economía de Cieza, pues es una comarca agrícola. Esto se debe a que el empleo de abejas en los cultivos da lugar a una mejora del tamaño y calidad de los frutos, asegurando una mayor variedad de frutos y vegetales. Además, se han identificado los factores implicados en la disminución de agentes polinizadores, en especial la abeja melífera: cambios de uso del suelo, la urbanización, la modificación del paisaje, la globalización, la agricultura intensiva y el uso de plaguicidas, la contaminación medioambiental, las especies exóticas invasoras, los patógenos, el cambio climático y enfermedades como la Varroosis, analizada a través de una muestra en la presente investigación.



ABSTRACT |

The main objective of this research is to study the importance of bees in the pollination of crop fields in Cieza, for which a survey was carried out on 88 farmers from Cieza (Murcia), developed from the information obtained from the interviews. made to the experts, as a triangulation instrument: Carlos Zafra, technical- veterinarian and beekeeper of the Association of Beekeepers of the Region of Murcia (AARM); Félix Torres, specialized in the area of zoology, PhD in Biology; Adaya Marín, veterinary technician from the Murcian Association of Professional Beekeepers (AMAP) and Domingo Lucas, beekeeper from Cieza (Murcia); and a record of morphological data and monitoring of Varroa mites, for an assessment of the health of the selected apiary. The main conclusion drawn is that a decline in the bee population would directly affect the agricultural production and economy of Cieza, since it is an agricultural region. This is because the use of bees in crops leads to an improvement in the size and quality of the fruits, ensuring a greater variety of fruits and vegetables. In addition, the factors involved in the reduction of pollinating agents have been identified, especially the honey bee: changes in land use, urbanization, modification of the landscape, globalization, intensive agriculture and the use of pesticides, environmental pollution, invasive alien species, pathogens, climate change and diseases such as Varroosis, analyzed through a sample in the present investigation.



1. INTRODUCCIÓN

El 90% de las plantas con flores requieren la labor de la polinización para reproducirse, a su vez el 75% de los cultivos alimentarios del mundo dependen de esta acción. Pero los polinizadores no solo intervienen en la seguridad alimentaria, sino que además son indispensables para conservar la biodiversidad. A pesar de esto en los últimos años la información sobre la crisis de polinizadores ha aumentado (ONU, 2017).

La apicultura ha constituido una actividad de marcada importancia en la economía agraria murciana desde tiempos muy lejanos. La tradición apícola en la Región de Murcia tiene un lógico desarrollo si tenemos en cuenta la abundante variedad de frutales y productos de huerta con lo que cuenta (Espejo, 1996). Algo semejante sucede con Cieza cuya economía está basada en la agricultura especialmente en la producción de frutos de hueso y en mayor cantidad, el melocotón, lo que significa que sin esta valiosa actividad su economía estaría en peligro, la razón de la importancia de mantener la apicultura. Por ende, es preciso considerar que el uso de fitosanitarios amenaza a los polinizadores, ya que pone en riesgo su supervivencia (Cerrillo, 2017). Según García (2019), el uso incontrolado de fitosanitarios es el mayor problema al que se exponen, y en 2019 hubo un repunte de casos de intoxicación en la Región de Murcia, un 50% más que en 2018, todos en zona de cítricos.

En línea con esta problemática, se plantea la actual investigación, abordando el siguiente problema: ¿Es eficaz la polinización entomófila, y en especial la abeja melífera (*Apis mellifera*) en los campos de cultivo de Cieza?

OBJETIVO GENERAL:

Estudiar la importancia de las abejas en la polinización de los campos de cultivo de Cieza.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Analizar los beneficios específicos de la apicultura frente a otros modelos de polinización.
2. Identificar los factores implicados en la disminución de agentes polinizadores.
3. Analizar una de las enfermedades que afecta a la abeja melífera.

Por todo esto, es importante investigar la eficiencia de la polinización entomófila, y en especial la abeja melífera en los campos de cultivo de Cieza, teniendo en cuenta la actualidad y prevalencia de este problema en la sociedad. Concluyendo que la finalidad es mostrar la importancia de la polinización en la producción de frutales de Cieza.



2. ANTECEDENTES

El uso de la apicultura en la polinización de frutales se da en la mayoría de los municipios de la Región de Murcia. Se hallan dos zonas dónde se sitúan la mayoría de las colmenas para la polinización de frutales: la mitad septentrional del espacio regional y la Vega del Segura, por la abundancia de cítricos. La Región de Murcia cuenta con un censo de 106.825 colmenas. En función del número de colmenas adquiridas tal y como describe Espejo (1996), se pueden clasificar en tres grupos: apicultores profesionales, semiprofesionales y aficionados. Aquí es de gran relevancia mencionar que los apicultores de la Región de Murcia manejan colmenas de disposición horizontal, tipo Layens (Pérez, 2015). En términos de gestión de la polinización, Garibaldi et al. (2020) expone que, los agricultores esporádicamente suelen hacer un seguimiento de los niveles de polinización de los cultivos imprescindibles para guiar las decisiones agrícolas, dado que las pocas recomendaciones que existen sobre la polinización se centran en un número específico de abejas (de la miel), o abejorros para el área de cultivo. Éstas son pautas inexactas para vaticinar la polinización real que reciben los cultivos.

3. METODOLOGÍA

Se presenta en este trabajo una investigación de enfoque cuantitativo, un alcance descriptivo, es de carácter transversal y el método de toma de datos es mixto. En este epígrafe se muestra las cuatro fases en las que se ha realizado el presente proyecto (Figura 1):





4. RESULTADOS

INSTRUMENTO 1: ASESORAMIENTO DE EXPERTOS

Las opiniones de los expertos entrevistados fueron:

Entrevista 1: Carlos Zafra Santillana

Relación entre la apicultura y la actividad agrícola: los agricultores poseen mayor conocimiento sobre la muerte de abejas por intoxicación por productos fitosanitarios, utilizan compuestos menos nocivos con el fin de protegerlas. La producción de Cieza se vería afectada a largo plazo, sin el cuidado de las abejas por parte de los apicultores. Los factores que afectan a la población de abejas son: cambio climático, enfermedades (Varroosis y *Nosema ceranae* y fumigaciones.

Innovaciones en el sector apícola: uso y aplicación de nuevas moléculas orgánicas para el control de Varroa, otras para intentar descubrir falsificaciones de miel, sobre el síndrome de desabejado y para enfocar parte de las subvenciones a la comercialización de mieles.

Entrevista 2: Félix Torres González

Relación entre la apicultura y la actividad agrícola: su importancia reside en que contribuye a aumentar y fomentar la producción de cultivos y ello repercute en el sector económico del sector agrícola. Por ello, cada vez hay que tener más en cuenta a estos polinizadores. La pérdida de colmenas asusta a los agricultores, ya que afecta a la producción de los cultivos. Los factores que afectan a la población de abejas son: cambio climático, la urbanización, la modificación del paisaje, el uso de agentes biocidas, insecticidas, y la globalización, esta última conlleva el transporte de especies exóticas invasoras, enfermedades (Varroosis, *Nosema ceranae*) y productos fitosanitarios.

Innovaciones en el sector apícola: estudio de enfermedades de caracterización de poblaciones, estudios de control de calidad de mieles, composición de mieles, manejo de colmenas, viabilidad; estudios enfocados hacia aspectos ecológicos en cuestión de polinizadores silvestres.

Entrevista 3: Adaya Marín García

Relación entre la apicultura y la actividad agrícola: La desaparición de las abejas afectaría directamente a la producción agrícola de Cieza, pues es una comarca eminentemente frutícola. La actividad agrícola y la apicultura podrían compatibilizarse de manera adecuada, ya que hay que tener en cuenta, que la finalidad de la apicultura orientada a la polinización es conseguir una producción de frutas de calidad. Los factores que afectan a la población de abejas son: fumigación de cultivos con productos contraindicados para las abejas o en



momentos no adecuados, cambios de uso del suelo, la agricultura intensiva y el uso de plaguicidas, la contaminación medioambiental, las especies exóticas invasoras, los patógenos y el cambio climático.

Innovaciones en el sector apícola: el campo de investigación que se está llevando a cabo en estos momentos reside en la lucha contra el ácaro Varroa y selección genética de abejas resistentes a enfermedades, y una serie de desarrollos para erradicar los efectos de la avispa asiática.

Entrevista 4: Domingo Lucas Bastida

Pérdida de colmenas: desde 2012 se ha ido observando una gran pérdida de colmenas debido a enfermedades como la Varroosis enfermedad producida por un ácaro, ectoparásito llamado *Varroa destructor*, y la loque (enfermedad bacteriana). La Varroosis ocasiona la muerte de las abejas, se trata con un producto denominado Amitraz, cuando la colmena está escasa de crías. En cuanto al tipo de colmenas utilizadas son Layens, no aportan ningún beneficio, pero tampoco son perjudiciales.

Subvenciones de los apicultores: pertenece a la AMAP, recibe subvenciones para los tratamientos que son insuficientes, pues los cuidados del colmenar son costosos, asimismo no dispone de fondos ofrecidos por la Región de Murcia para erradicar de sus colmenas el ácaro Varroa.

Innovaciones en el sector apícola: síndrome de despoblamiento de colmenas, propuestas como la contratación de técnicos y especialistas para la información, y asistencia técnica a los apicultores de las agrupaciones de apicultores en la sanidad apícola, lucha contra agresores de la colmena y a nivel de laboratorio, formación de apicultores entre otros.

INSTRUMENTO 2: ENCUESTAS A AGRICULTORES

Se ha empleado el cuestionario “Polinización en los campos de cultivo de Cieza” para determinar el impacto que tiene la abeja sobre la producción y la actividad agrícolas sobre la vida de estas, realizadas a agricultores de Cieza. Los resultados obtenidos de la encuesta se dividen en cuatro bloques: el papel de las abejas en la agricultura, rendimiento en los principales cultivos de Cieza (Murcia); factores que afectan a la población de abejas, conocimiento sobre la despoblación de las abejas y relación entre apicultura y agricultura. En la Tabla 1 se han recogido algunos de los resultados.



Tabla 1

Resultados de preguntas de doble respuesta

PREGUNTAS	RESPUESTAS	
	Sí	No
Desempeñan las abejas un papel importante en la actividad agrícola	96,4%	3,6%
Dependen los cultivos de la labor de los polinizadores	93,2%	7,4%
Disminución del rendimiento de cultivos en función de una disminución de polinizadores	76%	24%
Posibilidad de merma de la producción agrícola de sus cultivos por el declive de las abejas	84%	16%
Creencia sobre si la labor de las abejas ayuda a asegurar que se tenga variedad de frutas y vegetales para nuestra alimentación	93%	7,5%
La abeja de la miel juega un papel fundamental para garantizar el equilibrio del medio ambiente, la producción de alimentos y la economía agrícola de Cieza	93%	7,5%

El 9,1% de los agricultores no realiza fumigaciones en sus cultivos, y el 94,3% de estos los fumigan al menos una vez al mes, el 63,3% las realizan por la mañana. En la Figura 2 aparecen las respuestas a la presencia o no de *Vespa velutina* (abeja asiática) y de abejarucos, grandes depredadores de las abejas.

Figura 2

Presencia de abejarucos y *Vespa velutina* en Cieza según los encuestados



El 68,2% no emplean ninguna alternativa a los agroquímicos, mientras que un 31,8% sí; siendo las alternativas utilizadas: utilización de productos naturales y ecológicos, feromonas y trampas, control biológico de plagas y barreras naturales para depredadores, atrayentes inversos, biopesticidas, trampas químicas, microorganismos, utilización de ozono.

La Figura 3 refleja las consecuencias que puede traer la desaparición de las abejas o una despoblación de las colmenas en Cieza.

Figura 3

Consecuencias que pueden traer la desaparición de las abejas o una despoblación de las colmenas en Cieza



En la tabla 2 se muestran los resultados de preguntas de doble respuesta:

Tabla 2

Resultados de las preguntas de doble respuesta del bloque: Conocimiento sobre la despoblación de abejas

PREGUNTAS	RESPUESTAS	
	Sí	No
Conocimiento sobre la disminución de polinizadores en los campos de cultivo	84,1%	15,9%
La agricultura puede verse afectada por la disminución y/o desaparición de las abejas	91,9%	9%
Aumento en los últimos años de las poblaciones de abejas debido a que los apicultores se benefician de la actividad agrícola en Cieza	32,1%	67,9%
Declive de las abejas debido a prácticas agrícolas intensivas	72,8%	25%

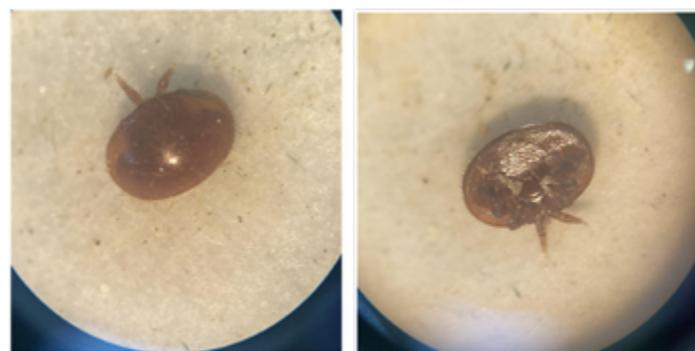
El 86,40% considera que la relación entre apicultura y agricultura se benefician mutuamente. El 75% de los agricultores emplea la abeja para la polinización de sus cultivos, y el 51,10% ha contratado colmenas trashumantes.

INSTRUMENTO 3: REGISTRO DE DATOS DE ABEJAS MELÍFERAS DEL COLMENAR Y MONITORIZACIÓN DE ÁCAROS VARROA

Se procedió a la realización del estudio de un colmenar de la Sierra de Ascoy de Cieza (Murcia), se llevó a cabo dos muestreos, y posterior análisis de la muestra de abejas obtenidas en el laboratorio de Biología del IES Los Albares de dicho municipio.

Primer muestreo (mayo de 2022): se recolectaron 289 abejas, se obtuvieron 3 ácaros de *Varroa destructor* (Figura 5).

Figura 5

Ácaro hembra de *Varroa destructor*

Hembra cara dorsal

Hembra cara ventral

Seguidamente se calculó el porcentaje de infestación del colmenar, dividiendo el número de ácaros contados entre el tamaño de la muestra (289 abejas), luego se multiplicó por 100, este fue el 1,04% de infestación, un porcentaje de infestación medio-alto, ya que la población de *Varroa* se multiplica por 4, cada vez que se reproducen en las celdillas. Se realizó un estudio morfológico de las abejas de la muestra, de 289 abejas se observó que 288 eran obreras y una zángano. La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos de dicho estudio (Tabla 3):

Tabla 3

Resultados del primer registro de la morfología de la muestra de abejas

TIPOS DE ABEJA	MEDIDA TOTAL DE LA ABEJA (MM)	MEDIDA DE ABDOMEN (MM)	MEDIDA DE ALAS DELANTERAS (MM)	PRESENCIA DE ANTENAS
288 obreras	10mm: 15,91% 11mm: 28,72% 12mm: 31,14% 13mm: 14,52% 14mm: 6,92% 15mm: 1,04%	5mm: 25% 6mm: 38,76% 7mm: 20,77% 8mm: 12,12% 9mm: 2,42%	8mm: 99,65%	Todas presentan antenas
1 zángano	13mm: 0,35%	7mm: 0,35%	9mm: 0,35%	Presenta antenas

Segundo muestreo (septiembre de 2022): fue de 304 abejas, se obtuvieron 0 ácaros de *Varroa destructor*. El porcentaje de infestación del colmenar fue el 0% de infestación. Se realizó seguidamente un estudio morfológico de las abejas de la muestra, de 307 abejas se observó que 295 eran obreras y 12 eran zánganos. La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos de dicho estudio (Tabla 4):

Tabla 4

Resultados del segundo registro de la morfología de la muestra de abejas

TIPOS DE ABEJA	MEDIDA TOTAL DE LA ABEJA (MM)	MEDIDA DE ABDOMEN (MM)	MEDIDA DE ALAS DELANTERAS (MM)	PRESENCIA DE ANTENAS
295 obreras	11mm: 11,4% 12mm: 28,34% 13mm: 26,71% 14mm: 17,59% 15mm: 8,77% 16: 1,64%	5mm: 14% 6mm: 29,64% 7mm: 26,71% 8mm: 25,73%	9mm: 96,09%	Todas presentan antenas
12 zánganos	17mm: 3,91%	8mm: 3,91%	12mm: 3,91%	Presentan antenas

De la muestra seleccionada de 307 abejas se observa que, a excepción de los zánganos, las 295 abejas obreras poseen alas de 9mm. Asimismo, no se obtuvo ningún ácaro *Varroa*.

5. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

Las conclusiones obtenidas relacionadas con cada uno de los objetivos al que responden han sido:

Objetivo 1: Analizar los beneficios específicos de la apicultura. Tras la realización de la encuesta a 88 agricultores y las entrevistas a expertos, se puede concluir, en función de sus opiniones, que el empleo de abejas en los cultivos da lugar a una mejora del tamaño y calidad de los frutos, asegurando una mayor variedad de frutos y vegetales. Además, de depender de estas, pues el 62,32% de los agricultores confirman que el rendimiento de sus cultivos disminuye debido a una merma de producción agrícola, por el declive de las abejas; desempeñan un papel importante en la actividad agrícola. La abeja melífera juega un papel fundamental garantizando el equilibrio del medio ambiente, la producción agrícola y la economía de Cieza. Asimismo, de las entrevistas realizadas a expertos se concluyó que su importancia reside en que contribuye a aumentar y fomentar la producción de cultivos, y ello repercute en el sector económico de la actividad agrícola. Son, por tanto, clave para el equilibrio de los ecosistemas y los seres humanos.

Objetivo 2. Identificar los factores implicados en la disminución de agentes polinizadores. Como resultado de las entrevistas efectuadas, los expertos destacan una gran pérdida de colmenas debido a enfermedades como la Varroosis, la loque o la *Nosema ceranae*. La fumigación de cultivos con productos contraindicados para las abejas o en momentos no adecuados, pudiendo matar a estas. Existen otros factores como los cambios de uso del suelo, la urbanización, la modificación del paisaje, la globalización, la agricultura intensiva y el uso de plaguicidas, la contaminación medioambiental, las especies exóticas invasoras, los patógenos y el cambio climático. Los agricultores encuestados coinciden en la disminución de agentes polinizadores con el uso de monocultivos, puesto que el 61% de ellos considera que perjudica a las abejas. La fumigación de cultivos con productos contraindicados para las abejas, y en momentos no adecuados (mañana y tarde), son realizadas por el 63,3% de los encuestados.

**Objetivo 3. Analizar una de las enfermedades que afecta a la abeja melífera.**

La enfermedad analizada fue la Varroosis producida por el ácaro *Varroa destructor*, ectoparásito, se elaboró un registro de datos de abejas melíferas del colmenar y monitorización de ácaros Varroa de dos muestras recolectadas en dos periodos de tiempo (mayo y septiembre), una muestra de 289 en un primer periodo, y de 307 abejas en un segundo periodo, con el fin de observar la muestra, y determinar los cambios morfológicos de esta en presencia de ácaros varroa. Se observa que la primera muestra, donde se hallaron 3 ácaros, tiene menor tamaño de abdomen, cuerpo y alas, en comparación con la segunda muestra. Sin embargo, las dos presentan antenas. Por tanto, se puede concluir que la primera muestra ha sufrido pequeños cambios morfológicos debido a la presencia de este ácaro.

Todo esto lleva a responder al objetivo general dado que se ha estudiado la importancia de las abejas en la polinización de los campos de cultivo de Cieza, demostrando que un declive de la población de abejas afectaría directamente a la producción agrícola y economía de Cieza, pues es una comarca agrícola. Ninguna otra actividad ganadera puede compararse con el papel de la apicultura en la protección, mejora y cuidado del medio natural (Pérez de Obanos, 2008). Del estudio internacional realizado por Dicks *et al.* (2021), se identificaron ocho factores implicados en la disminución de polinizadores: organismos genéticamente modificados cobertura y configuración de la tierra, manejo de la tierra, uso de pesticidas, manejo de polinizadores, cambio climático, especies exóticas invasoras, pestes y patógenos. Estos siete últimos respaldan algunos de los factores implicados en la disminución de polinizadores determinados en la presente investigación; y coincidiendo con Vignolo (2018), quien destaca las siguientes amenazas de los polinizadores: fragmentación de los hábitats, explotación agrícola intensiva, enfermedades (como la Varroosis), abuso de los tratamientos fitosanitarios, introducción de especies exóticas y cambio climático.

En lo referente al análisis de una de las enfermedades que afecta a la abeja melífera, en este caso la Varroosis, se han de realizar ensayos de distintos métodos con el fin de detectar eficazmente este parásito. El diagnóstico de la salud del colmenar seleccionado se basó en los signos clínicos que presentaron las abejas, como alas deformadas y los cambios morfológicos tanto en la colmena como en el laboratorio, además de la detección de parásitos en la colmena, tal y como exponen Maldonado *et al.* (2017) y Véto-pharma (2020).

**6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- Aguado Martín, L. O., Viñuela Sandoval, E., & Fereres Castiel, A. (2015). Guía de campo de los polinizadores de España. Ediciones Paraninfo, SA.
- Al Naggar, Y., Tan, Y., Rutherford, C., Connor, W., Griebel, P., Giesy, J. P., & Robertson, A. J. (2015). Effects of treatments with Apivar® and Thymovar® on *V. destructor* populations, virus infections and indoor winter survival of Canadian honey bee (*Apis mellifera* L.) colonies. *Journal of Apicultural Research*, 54(5), 548-554. <https://doi.org/10.1080/00218839.2016.1186917>
- Blanco, R. (2020). *Los polinizadores, esos grandes desconocidos*. http://www.asociacion-fagus.es/1/upload/5._blanco_2020_los_polinizadores_esos_grandes_desconocidos_ambiens_ibericus_.pdf
- Breed, M. F., Ottewell, K. M., Gardner, M. G., Marklund, M. H. K., Stead, M. G., Harris, J. B. C., & Lowe, A. J. (2012). Mating system and early viability resistance to habitat fragmentation in a bird-pollinated eucalypt. *Heredity*, 115(2), 100. <http://doi.org/10.1038/hdy.2012.72>
- Cerillo, A. (20 de febrero de 2017). El calvario de las abejas. *La Vanguardia*. <https://www.lavanguardia.com/natural/20170220/42161916074/abejas.html#foto-3>
- Coello, Z. (1 de julio de 2020). 15 animales polinizadores características y ejemplos. *Experto Animal*. <https://www.expertoanimal.com/15-animales-polinizadores-caracteristicas-y-ejemplos-24289.html>



Evaluación de la foto-identificación como herramienta para el seguimiento de poblaciones de anfibios

/ TERCER PREMIO

AUTOR | MIGUEL GONZÁLEZ PARREÑO

COORDINADORA | MARÍA POSE VILAS

TUTORES | ÍÑIGO MARTÍNEZ-SOLANO GONZÁLEZ Y GREGORIO SÁNCHEZ MONTES

CENTRO | COLEGIO MONTSERRAT FUHEM

CIUDAD | MADRID

RESUMEN |

Muchas especies de anfibios están amenazadas en el mundo, por lo que es necesario llevar a cabo programas de seguimiento de sus poblaciones. Los métodos basados en la Captura-Marcaje-Recaptura (CMR), basados en el marcaje de los individuos para su identificación, aportan información muy valiosa en este sentido. Sin embargo, en ocasiones los marcajes empleados resultan dañinos para los anfibios, por lo que el desarrollo y optimización de técnicas menos invasivas es de gran importancia. El marcaje fotográfico o foto-identificación es una técnica no invasiva basada en el reconocimiento de los individuos mediante sus patrones de coloración naturales. En este estudio se evalúa la utilidad de la foto-identificación para el seguimiento poblacional de nueve especies de anfibios en la Sierra de Guadarrama: *Alytes cisternasii*, *Bufo spinosus*, *Discoglossus galganoi*, *Epidalea calamita*, *Hyla molleri*, *Pelobates cultripes*, *Pelophylax perezi*, *Pleurodeles waltl* y *Triturus marmoratus*. Se utilizó un protocolo de fotografiado de bajo coste con el que se obtuvo una base de datos fotográfica fiable para foto-identificación. Se tomaron un total de 859 fotografías durante la temporada reproductora de 2022 y las imágenes fueron analizadas con ayuda del software Wild-ID. Los resultados muestran una alta eficacia del programa para la identificación individual de los anfibios, si bien es necesario optimizar el protocolo de toma y análisis de datos en algunas especies. La metodología empleada en este estudio representa una herramienta útil y asequible para el seguimiento de poblaciones de anfibios.

Palabras clave: *Alytes cisternasii*, *Bufo spinosus*, CMR, *Discoglossus galganoi*, *Epidalea calamita*, *Hyla molleri*, *Pelobates cultripes*, *Pelophylax perezi*, *Pleurodeles waltl*, *Triturus marmoratus*, Wild-ID



ABSTRACT |

Many amphibian species are threatened worldwide, which makes it necessary to implement population monitoring programs. Capture-Mark-Recapture (CMR) approaches provide valuable information based on the use of marks for individual identification. However, some marking methods can be harmful for amphibians, and in consequence the development and optimization of less invasive techniques is of great importance. The PMR (Photographic Mark-Recapture) or Photo-ID (Photo-identification) method is a non-invasive marking technique based on the identification of individual natural color patterns. This study assesses the utility of the PMR methodology in population monitoring of nine amphibian species in Sierra de Guadarrama: *Alytes cisternasii*, *Bufo spinosus*, *Discoglossus galganoi*, *Epidalea calamita*, *Hyla molleri*, *Pelobates cultripes*, *Pelophylax perezi*, *Pleurodeles waltl* and *Triturus marmoratus*. An inexpensive protocol was used to obtain a reliable photographic database for PMR analyses. A total of 859 photographs were taken during the 2022 breeding season and the images were analyzed with the software Wild-ID. The results show high effectiveness in individual identification, albeit the protocol for data capture and analysis needs to be optimized in some species. The methodology employed in this study represents a valuable, affordable tool for the monitoring of amphibian populations.

Keywords: *Alytes cisternasii*, *Bufo spinosus*, CMR, *Discoglossus galganoi*, *Epidalea calamita*, *Hyla molleri*, *Pelobates cultripes*, *Pelophylax perezi*, *Pleurodeles waltl*, *Triturus marmoratus*, Wild-ID



1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

En las últimas décadas se ha observado un declive generalizado en la abundancia de muchas especies de anfibios. Ello se ha constatado gracias al registro y análisis de series temporales de datos de abundancia en poblaciones de anfibios por todo el mundo (Houlahan *et al.*, 2000). En este sentido, los estudios de seguimiento de poblaciones de anfibios basados en técnicas de captura-marcaje-recaptura (CMR) proporcionan información demográfica precisa (Honegger, 1979; Lebreton *et al.*, 1992; Corn *et al.*, 2000; Silvy *et al.*, 2005), pero requieren de la captura y aplicación de marcajes en los animales con el fin de identificar a cada individuo.

Se han utilizado diferentes tipos de marcaje para el reconocimiento individual de anfibios, tales como etiquetas, elastómeros, o la amputación de falanges (Bailey, 2004; Donnelly *et al.*, 1994; Davis & Ovaska, 2001; McCarthy & Parris, 2004; Silvy *et al.*, 2005; Bolger *et al.*, 2012; Elgue *et al.*, 2014). Actualmente, el corte de falanges de uno o varios dedos es una de las técnicas más extendidas (Lebreton *et al.*, 1992; Donnelly *et al.*, 1994; Silvy *et al.*, 2005), junto con el uso de microchips implantados o PIT-tags (Passive-Integrated Transponder) (Camper & Dixon, 1988; Christy, 1996; Outerhout & Semlitsch, 2014; Jemison *et al.*, 2015). Sin embargo, estas técnicas pueden tener efectos negativos en el comportamiento, estado de salud, y supervivencia de los animales (Camper & Dixon, 1988; Donnelly *et al.*, 1994; Christy, 1996; Davis & Ovaska, 2001; McCarthy & Parris, 2004; Elgue *et al.*, 2014), por lo que es importante el desarrollo de técnicas menos invasivas.

La foto-identificación (Photographic Mark-Recapture, PMR) es una técnica no invasiva basada en el fotografiado de regiones externas de los animales que posean patrones de manchas diferentes entre individuos y duraderos en el tiempo (Donnelly *et al.*, 1994; Silvy *et al.*, 2005; Goswami *et al.*, 2011; Bolger *et al.*, 2012). El desarrollo de la fotografía digital y los programas de comparación de imágenes en los últimos años ha facilitado la toma de fotografías y el análisis de grandes bases de datos, lo que ha llevado a la aplicación exitosa de la foto-identificación en estudios de seguimiento de poblaciones de anfibios (Pinya & Pérez-Mellado, 2009; Ribeiro & Rebelo, 2011; Goedbloed *et al.*, 2017; Aevansson *et al.*, 2022). Por ello, la foto-identificación tiene un gran potencial como alternativa económica y de fácil implementación en programas de ciencia ciudadana (Gould *et al.*, 2021), como el programa SARE (Seguimiento de Anfibios y Reptiles de España) de la Asociación Herpetológica Española (AHE), que actualmente no implementa este tipo de herramientas.

Pese a su gran potencial, apenas existen protocolos optimizados para la toma de fotografías en el medio natural que tengan en cuenta las particularidades de cada especie y las dificultades logísticas de los muestreos, ni estudios que calibren la fiabilidad de la metodología PMR en comparación con otras técnicas de marcaje. El objetivo de este estudio es evaluar, desarrollar y optimizar un



protocolo de obtención de imágenes para foto-identificación aplicada a una comunidad de anfibios ibéricos. Más concretamente, se ha valorado la eficacia del software de comparación de imágenes Wild-ID (Bolger *et al.*, 2012) para la identificación de individuos de diferentes especies, y se ha comparado la eficacia de la foto-identificación basada en el análisis de fotografías ventrales o dorsales en una de las especies de estudio: el tritón jaspeado (*Triturus marmoratus*).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. PROTOCOLOS DE MUESTREO Y FOTOGRAFIADO

La comunidad de anfibios estudiada lleva siendo objeto de seguimiento mediante CMR con PIT-tags desde 2009 (Gutiérrez-Rodríguez *et al.*, 2017; Sánchez-Montes *et al.*, 2017; Sánchez-Montes & Martínez-Solano, 2023), y consta de dos especies de urodelos: gallipato (*Pleurodeles waltl*) y tritón jaspeado (*Triturus marmoratus*); y siete anuros: sapo común ibérico (*Bufo spinosus*), sapo corredor (*Epidalea calamita*), sapo de espuelas (*Pelobates cultripes*), sapillo pintojo ibérico (*Discoglossus galganoi*), sapo partero ibérico (*Alytes cisternasii*), ranita de san Antonio (*Hyla molleri*) y rana verde común (*Pelophylax perezi*). El área de estudio se encuentra al norte de la Comunidad de Madrid, entre los municipios de Valdemanco, Bustarviejo y La Cabrera, al pie de la Sierra de Guadarrama. Las poblaciones de anfibios de la zona se articulan en torno a cuatro núcleos de reproducción vinculados a lagunas, arroyos o charcas, todos ellos temporales.

Se realizaron 19 jornadas de muestreo desde marzo hasta julio de 2022 con una frecuencia de uno a tres muestreos semanales, capturando los animales a mano o haciendo uso de salabres y nasas. Cada individuo capturado era sexado y fotografiado. Además, se continuó con el marcaje de los individuos mediante PIT-tags siguiendo los procedimientos detallados en Sánchez-Montes & Martínez-Solano (2011, 2023) y Gutiérrez-Rodríguez *et al.* (2017), anotando el código del microchip correspondiente.

Las fotografías se tomaron utilizando un smartphone Samsung Galaxy A12 con una resolución mínima de 13 MP, iluminando el área fotografiada mediante un frontal de 400 lúmenes de potencia máxima. Cada captura era fotografiada en dos superficies diferentes para seleccionar posteriormente la imagen de mayor calidad y minimizar al máximo el brillo: una tabla de contrachapado, uniforme y no reflectante, con escala en centímetros; y un área seleccionada del suelo, lo más homogénea posible y con el mejor contraste con respecto a las marcas de los anfibios.

Se seleccionó una región del cuerpo diferente según la especie: en los anuros se tomaron fotografías de la región dorsal, con excepción de *H. molleri*, para la cual se empleó la región lateral; mientras que en los urodelos se fotografió la región ventral (excepto en el caso de *T. marmoratus*, para el que además se



tomaron fotografías de la región dorsal). Para las fotografías ventrales se utilizó un contenedor plástico transparente y una esponja de espuma para inmovilizar a los urodelos en una posición completamente estirada (Figura 1).

2.2. ANÁLISIS DE IMÁGENES

Las fotografías se clasificaron por carpetas según la localidad de captura, la especie, y la jornada de muestreo. Posteriormente, se realizó un proceso de filtrado, eliminando las imágenes de peor calidad hasta seleccionar una fotografía de cada individuo capturado por jornada. A cada fotografía se le asignó un código único generado automáticamente, completado con el sexo del individuo para reducir la incertidumbre en el proceso de comparación de las imágenes. Se ajustó el brillo y contraste de cada fotografía, y a continuación se recortaron las imágenes dejando sólo el área de interés para el análisis (Figura 1), con el fin de optimizar la comparación y minimizar los posibles errores. Se utilizó el software Wild-ID versión 1.0 (Bolger *et al.*, 2012) para la comparación informática de las imágenes. Wild-ID extrae patrones de cada fotografía con independencia de la escala, orientación y perspectiva de la imagen, y calcula un índice de similitud entre fotografías, a partir del cual elabora para cada fotografía una lista con hasta 20 imágenes similares, de la que se seleccionó manualmente la imagen de mayor parecido (ver Anexo).

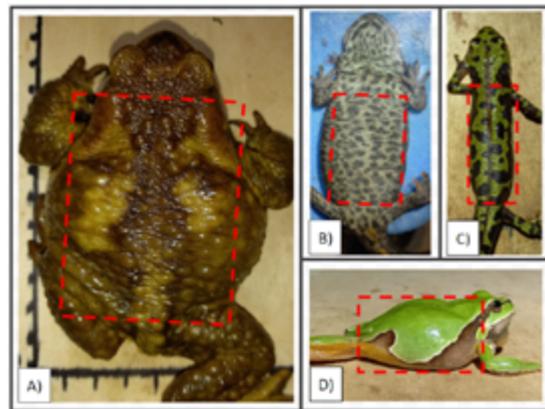


Figura 1

Área fotográfica recortada para la identificación. Para las especies de anuros (A) y *T. marmoratus* (C) se seleccionó el dorso, para los urodelos (*P. waltl*, B y *T. marmoratus*) la región ventral, y para *H. mollerii* la región lateral (D).

2.3. EVALUACIÓN DE LA EFICACIA DE LA FOTO-IDENTIFICACIÓN

Se considera que la foto-identificación resulta exitosa si la imagen seleccionada como pareja dentro de la lista de fotografías similares corresponde con el mismo individuo que la imagen de referencia (que es conocido al estar marcado



con un microchip). Además, cabe la posibilidad de que un individuo haya sido recapturado varias veces (es decir, que la base de datos incluya más de dos fotografías); en tal caso, la foto-identificación se considera exitosa si el programa es capaz de relacionar todas las imágenes de dicho individuo entre sí. En este estudio se cuantificó la fiabilidad de la foto-identificación con el programa Wild-ID calculando para cada especie los siguientes índices: 1) el valor medio del índice de similitud de las fotografías de los individuos que son recapturas conocidas; 2) el puesto medio de las recapturas conocidas en la lista de posibles parejas; y 3) el número de veces que el individuo recapturado estaba identificado en el primer puesto de la lista de candidatos.

Por último, para evaluar de manera general la eficacia de la foto-identificación, se estableció para cada especie una tasa de acierto individual y una tasa de acierto fotográfica. La tasa de acierto individual se calculó como el porcentaje de individuos de la especie correctamente identificados; es decir, aquellos para los que todas sus capturas fueron relacionadas entre sí en el análisis, aunque sin necesidad de que todas sus fotografías estuvieran emparejadas dos a dos. Por otro lado, la tasa de acierto fotográfico se calculó como el porcentaje de fotografías correctamente emparejadas; es decir, según el número de veces que dos fotografías de un mismo individuo se relacionaban entre sí.

3. RESULTADOS

Se tomaron un total de 3608 fotografías en el campo, de las cuales se seleccionaron 859 según los criterios explicados en Materiales y Métodos. Para los análisis posteriores se estableció un mínimo de 15 individuos fotografiados y una tasa de recaptura de al menos un 5%, por lo que no se pudo evaluar la metodología PMR en *A. cisternasii*, *D. galganoi* ni *E. calamita*.

Los resultados obtenidos del análisis de las fotografías mediante Wild-ID se muestran en la Tabla 1. El valor medio de similitud resulta en todos los casos bajo, siempre inferior a 0,1. En las fotografías ventrales de *T. marmoratus*, la similitud entre fotografías es mayor que en el resto de especies (con un valor de 0,084), seguido de *P. perezi* (0,069) y *P. waltl* (0,055). En *B. spinosus* la similitud media (0,020) es notoriamente inferior con respecto a *P. perezi*, quedando el resto de anuros muy por debajo (*P. cultripres*: 0,007; *H. mollerii*: 0,001). El valor más bajo corresponde a las fotografías dorsales de *T. marmoratus*, lo que supone una diferencia significativa entre las regiones ventral y dorsal.

En cuanto al valor medio del puesto en la lista de posibles individuos recapturados, se observan por lo general valores entre el primer y el tercer puesto, lo que indica que el programa reconoce eficazmente a los individuos recapturados. En *P. cultripres* y en las fotografías ventrales de *T. marmoratus* se alcanza siempre el mejor puesto (1), mientras que las posiciones más bajas corresponden a las fotografías dorsales de *T. marmoratus* (con un valor medio de 9,5). En todas las



especies el programa propuso un 66,66% o más de las fotografías de individuos recapturados como primera opción en la lista, con excepción de *T. marmoratus* (dorsal), en la que ninguna recaptura fue marcada como primera opción.

Tabla 1

Resultados obtenidos tras el proceso de análisis de las fotografías con el programa Wild-ID. Se muestran por separado el valor medio de similitud de los individuos recapturados, el valor medio del puesto de los individuos recapturados en la lista de posibles candidatos, y el número de veces que el individuo recapturado era posicionado en primer lugar dentro de la lista de candidatos frente al total de casos.

Especie	Valor medio similitud ind. recaptura	Valor medio del puesto	1º puesto/ind. recap. selec.
<i>Pelophylax perezii</i>	0,069	2,583	25/36
<i>Hyla molleri</i>	0,001	3	2/3
<i>Pelobates cultripes</i>	0,007	1	3/3
<i>Bufo spinosus</i>	0,020	2,219	22/27
<i>Pleurodeles waltl</i>	0,055	1,2	8/10
<i>Triturus marmoratus</i> (ventral)	0,084	1	4/4
<i>Triturus marmoratus</i> (dorsal)	0	9,5	0/2

En la Tabla 2 se muestra la tasa de acierto individual y fotográfico para cada especie. La tasa de acierto individual es más alta que la tasa de acierto fotográfico debido a que son menos los individuos identificados correctamente con todas sus capturas (fotografías) relacionadas entre sí, mientras que son más abundantes los casos de individuos con menos fotografías emparejadas (excepto en *P. perezii*).

Tabla 2

Tasa de acierto individual y fotográfico por especie.

Especie	Tasa de acierto individual	Tasa de acierto fotográfico
<i>Pelophylax perezii</i>	89,33%	90,98%
<i>Hyla molleri</i>	91,67%	87,50%
<i>Pelobates cultripes</i>	97,18%	90,14%
<i>Bufo spinosus</i>	93,29%	75,94%
<i>Pleurodeles waltl</i>	100%	94,57%
<i>Triturus marmoratus</i> (ventral)	98%	89,09%
<i>Triturus marmoratus</i> (dorsal)	94%	85,45%



4. DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio muestran que la foto-identificación es una herramienta útil para el seguimiento de poblaciones de anfibios, especialmente en el caso de *P. perezii*, *H. molleri*, *P. cultripes*, *B. spinosus*, *P. waltl* y *T. marmoratus*. El programa Wild-ID ha demostrado ser capaz de identificar a los individuos recapturados de manera muy satisfactoria en las especies evaluadas, y en el caso de *Triturus marmoratus* los resultados son mejores cuando se emplean fotografías ventrales. En síntesis, la metodología de trabajo empleada permite obtener con bajo coste fotografías en el campo bajo condiciones climatológicas adversas con una buena capacidad de resolución a nivel individual, por lo que podría ser adoptada en programas de seguimiento de poblaciones de anfibios. Conviene no obstante tener en cuenta algunas limitaciones del estudio, que se discuten a continuación.

En primer lugar, en la mayoría de especies, los resultados han estado condicionados por el pequeño número de individuos recapturados, lo que subraya la importancia de ampliar el número de jornadas de muestreo durante temporadas de reproducción sucesivas con objeto de disponer de una base de datos más completa y aumentar las tasas de recaptura. Aun así, es de destacar que la tasa de acierto individual del programa supera siempre el 85%, lo que indica una alta eficacia en la identificación de individuos recapturados. Por otro lado, existen diferencias muy marcadas en los valores medios de similitud de los individuos recapturados de cada especie. En especies con patrones de coloración en los que dominan manchas más definidas y numerosas (*T. marmoratus* -ventral-, *P. perezii* y *P. waltl*), la similitud entre fotografías de un mismo individuo tiende a ser mayor que en especies con manchas más difuminadas y escasas (*H. molleri* y *P. cultripes*). Esto está relacionado con el funcionamiento del software Wild-ID. Los patrones de manchas en forma de puntos muy numerosos bien definidos característicos de algunas especies son detectados por el programa con mayor facilidad. Esto explica los mejores resultados obtenidos en las fotografías ventrales de *T. marmoratus* con respecto a las fotografías dorsales, así como los bajos valores medios de similitud entre fotografías en *H. molleri* y *P. cultripes*. Para mejorar la eficacia de Wild-ID en estas especies sería necesario optimizar el proceso de fotografiado, por ejemplo empleando fondos que maximicen el contraste de los patrones de coloración.

Una ventaja adicional de la foto-identificación identificada en este estudio es que representa una buena herramienta de apoyo para la corrección de errores puntuales en las anotaciones de campo. En tres ocasiones los datos de campo presentaron discordancias en la asignación del sexo del individuo en diferentes jornadas de muestreo, que pudieron ser resueltas gracias a la observación de las fotografías. Además, mediante la foto-identificación se pudo seguir el desarrollo de los patrones de cicatrización de heridas en varios individuos, lo que ilustra el potencial de esta metodología para el seguimiento de enfermedades. Con estas consideraciones en mente, la adopción de protocolos sencillos y de bajo coste



como los implementados en este estudio puede aportar información demográfica muy valiosa para caracterizar el estado de salud de poblaciones silvestres de anfibios, especialmente en el marco de programas de ciencia ciudadana.

ANEXO

Figura A

Ejemplar macho de *Pelophylax perezii* capturado en la jornada 08/06/2022 (borde negro) y sus cuatro primeras posibles parejas identificadas por Wild-ID de mayor a menor similitud. Se reconocieron todas las recapturas, proponiéndolas como 1ª, 2ª y 3ª opción (borde verde). La fotografía restante corresponde a un individuo diferente (borde rojo), un ejemplar macho joven.

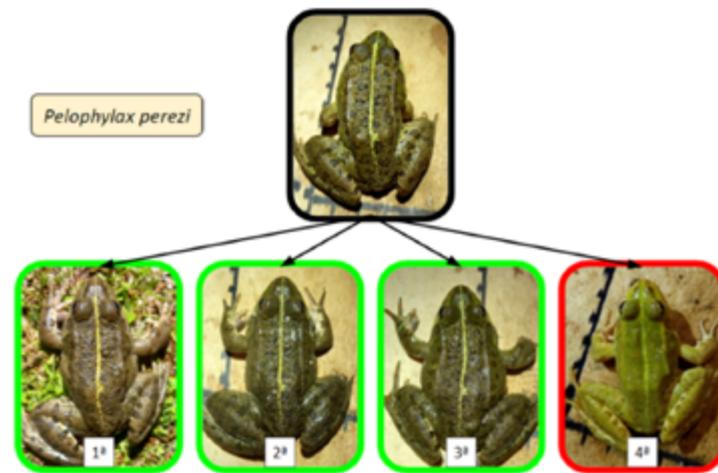
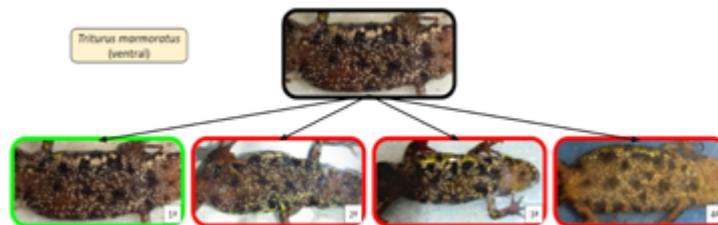


Figura B

Ejemplar macho de *Triturus marmoratus* (foto ventral) capturado en la jornada 26/04/2022 (borde negro) y sus cuatro primeras posibles parejas identificadas por Wild-ID de mayor a menor similitud. El individuo recapturado se reconoció como la opción de mayor parecido (borde verde). El resto de fotografías corresponden con individuos diferentes (borde rojo).



BIBLIOGRAFÍA

- AEVARSSON, U., GRAVES, A., CARTER, K.C., et al. 2022. Individual Identification of the Lake Oku Clawed Frog (*Xenopus longipes*) using a Photographic Identification technique. *Herpetological Conservation and Biology* 17, 67–75.
- BAILEY, L.L. 2004. Evaluating Elastomer Marking and Photo Identification Methods for Terrestrial Salamanders: Marking Effects and Observer Bias. *Herpetological Review* 35, 38-41.
- BOLGER, D.T., MORRISON, T.A., VANCE, B., LEE, D. & FARID, H. 2012. A computer-assisted system for photographic mark-recapture analysis. *Methods in Ecology and Evolution* 3, 813–822.
- CAMPER, J.D. & DIXON, J.R. 1988. Evaluation of a microchip marker system for amphibians and reptiles. Research Publication 7100-159, Texas Parks & Wildlife Department, Austin, Texas.
- CHRISTY, M. 1996. The efficacy of using Passive Integrated Transponder (PIT) tags without anaesthetic in free-living frogs. *Australian Zoologist* 30, 139–142.
- CORN, P.S., MUTHS, E. & IKO, W.M. 2000. A comparison in Colorado of three methods to monitor breeding amphibians. *Northwestern Naturalist* 81, 22–30.
- DAVIS, T.M. & OVASKA, K. 2001. Individual recognition of amphibians: effects of toe clipping and fluorescent tagging on the salamander *Plethodon vehiculum*. *Journal of Herpetology* 35, 217–225.
- DONNELLY, M.A., GUYER, C., JUTERBOCK, J.E. & ALFORD, R.A. 1994. Techniques for marking amphibians. Measuring and monitoring biological diversity, 277–284. Standard methods for amphibians. Smithsonian Institution Press, Washington & London, 364 págs.
- ELGUE, E., PEREIRA, G., ACHAVAL-COPPE, F. & MANEYRO, R. 2014. Validity of photo-identification technique to analyze natural markings in *Melanophryniscus montevidensis* (Anura: Bufonidae). *Phyllomedusa* 13, 59–66.
- GOEDBLOED, D., SEGEV, O., KÜPFER, E. et al. 2017. Evaluation of a new AmphIdent module and sources of automated photo identification errors using data from *Salamandra atra*. *SALAMANDRA* 53, 314–318.
- GOSWAMI, V.R., LAURETTA, M.V., MADHUSUDAN, M.D. & KARANTH, K.U. 2011. Optimizing individual identification and survey effort for photographic capture-recapture sampling of species with temporally variable morphological traits. *Animal Conservation* 15, 174–183.
- GOULD, J., CLULOW, J. & CLULOW, S. 2021. Using citizen science in the photo-identification of adult individuals of an amphibian based on two facial skin features. *PeerJ* 9, e11190. DOI: 10.7717/peerj.11190.



- GUTIÉRREZ-RODRÍGUEZ, J., SÁNCHEZ-MONTES, G. & MARTÍNEZ-SOLANO, Í. 2017. Effective to census population size ratios in two Near Threatened Mediterranean amphibians: *Pleurodeles waltl* and *Pelobates cultripes*. *Conservation Genetics* 18, 1201-1211.
- HONEGGER, R.E. 1979. Marking amphibians and reptiles for future identification. *International Zoo Yearbook* 19, 14-22.
- HOULAHAN, J.E., FINDLAY, C.S., SCHMIDT, B.R., et al. 2000. Quantitative evidence for global amphibian population declines. *Nature* 404, 752-755.
- JEMISON, S.C., BISHOP, L.A., MAY, P.G. & FARRELL, T.M. 2015. The Impact of PIT-Tags on Growth and Movement of the Rattlesnake, *Sistrurus miliarius*. *Journal of Herpetology* 29, 129-132.
- LEBRETON, J-D., BURNHAM, K.P., CLOBERT, J. & ANDERSON, D.R. 1992. Modeling survival and testing biological hypotheses using marked animals: a unified approach with case studies. *Ecological Monographs* 62, 67-118.
- MCCARTHY, M.A. & PARRIS, K.M. 2004. Clarifying the effect of toe clipping on frogs with Bayesian statistics. *Journal of Applied Ecology* 41, 780-786.
- OUTERHOUT, B.H. & SEMLITSCH, R.D. 2014. Measuring terrestrial movement behavior using passive integrated transponder (PIT) tags: Effects of tag size on detection, movement, survival, and growth. *Behavioral Ecology and Sociobiology* 68, 343-350.
- PINYA, S. & PÉREZ-MELLADO, V. 2009 Individual identification and sexual dimorphism in the endangered *Alytes muletensis*. *Amphibia-Reptilia* 30, 439-443.
- RIBEIRO, J. & REBELO, R. 2011. Survival of *Alytes cisternasii* tadpoles in stream pools: A capture-recapture study using photo-identification. *Amphibia-Reptilia* 32, 365-374.
- SÁNCHEZ-MONTES, G. & MARTÍNEZ-SOLANO, Í. 2011. Population size, habitat use and movement patterns during the breeding season in a population of Perez's frog (*Pelophylax perezi*) in central Spain. *Basic and Applied Herpetology* 25, 81-96
- SÁNCHEZ-MONTES, G. & MARTÍNEZ-SOLANO, I. 2023. Seguimiento de comunidades de anfibios mediante la integración de historiales de captura y herramientas moleculares. *Munibe Monographs (Nature Series)*, 5.
- SÁNCHEZ-MONTES, G., WANG, J., ARIÑO, A.H., VIZMANOS, J.L. & MARTÍNEZ-SOLANO, Í. 2017. Reliable effective number of breeders/adult census size ratios in seasonal-breeding species: Opportunity for integrative demographic inferences based on capture-mark-recapture data and multilocus genotypes. *Ecology and Evolution* 7, 10301-10314.
- SILVY, N.J., LÓPEZ, R.R. & PETERSON, M.J. 2005. *Wildlife Marking Techniques*. Loiret nature environnement. 25 págs.



Análisis de la población de células microgliales retinianas en un modelo animal de sepsis

/ TERCER PREMIO

AUTOR | DAVID MORENO PINEDA

COORDINADORA | GEMA MARTÍN GONZÁLEZ

CENTRO | IES LAS MUSAS

CIUDAD | MADRID

RESUMEN |

La sepsis es una disfunción orgánica potencialmente mortal provocada por una respuesta desregulada del organismo ante un proceso infeccioso. Son conocidos sus efectos a nivel renal, cardíaco y pulmonar, pero apenas se han analizado en el Sistema Nervioso Central, y aún menos en la retina. En este trabajo se pretende: (1) caracterizar el posible daño causado en la retina mediante el estudio de la población de células microgliales y su patrón de distribución espacial; y (2) evaluar la posible eficacia del fármaco DF401 en la prevención y/o reversión del daño. Se empleó un modelo animal de sepsis en ratas *Wistar* macho, basado en la administración intraperitoneal (i.p.) de lipopolisacárido bacteriano (LPS, 10 mg/Kg, i.p.), o su vehículo (VH, 5 mL/Kg); y del fármaco DF401 (DF401, 150 mg/Kg, i.p.), o su vehículo (VH, 5 mL/Kg), posteriormente inyectados con respecto al LPS o el VH. Tras 24 horas, se procedió a su sacrificio, y se extrajeron y procesaron las retinas para su análisis inmunohistoquímico. Se empleó un marcador específico de microglía (*Glial Fibrillary Acidic Protein*, GFAP) y se cuantificaron sus niveles de expresión mediante densitometrado. Los resultados mostraron una pérdida de peso y un aumento generalizado en la expresión de GFAP asociados a la administración de LPS. El fármaco DF401 atenuó la pérdida de peso y el aumento en la expresión de GFAP asociados a la administración de LPS. Este estudio demuestra la afectación de la retina en un modelo animal de sepsis y proporciona las primeras evidencias del posible efecto terapéutico del fármaco DF401.



ABSTRACT |

Sepsis is a life-threatening organ dysfunction caused by an uncontrolled response of the body to an infection process. Its effects on the kidneys, heart and lungs are known, but they have hardly been studied in the Central Nervous System, let alone the retina. This study aims to: (1) characterize the possible damage caused to the retina by studying the microglial cell population and its spatial distribution pattern; and (2) evaluate the possible efficacy of DF401 in preventing and/or reversing damage. An animal model of sepsis was used in male Wistar rats, based on intraperitoneal (i.p.) administration of bacterial lipopolysaccharide (LPS, 10 mg/Kg, i.p.) or its vehicle (VH, 5 mL/Kg); and the drug DF401 (DF401, 150 mg/Kg, i.p.) or its vehicle (VH, 5 mL/Kg), subsequently injected with respect to LPS or VH. After 24 hours, they were slaughtered, and the retinas were removed and processed for immunohistochemical analysis. A specific microglia marker (*Glial Fibrillary Acidic Protein*, GFAP) was used and its expression levels were quantified by densitometry. The results showed weight loss and a generalized increase in GFAP expression associated with the administration of LPS. DF401 attenuated the weight loss and increase in GFAP expression associated with the administration of LPS. This study demonstrates retinal involvement in an animal model of sepsis and provides the first evidences of a possible therapeutic effect of the drug DF401.



1. INTRODUCCIÓN

La sepsis sistémica es una disfunción orgánica potencialmente mortal provocada por una respuesta desregulada del organismo ante un proceso infeccioso (Singer et al., 2016). En caso de infección, el organismo libera sustancias químicas inmunitarias al torrente sanguíneo. Si la respuesta es adecuada, la infección se controla y los agentes patógenos son eliminados o neutralizados. Si la respuesta resulta insuficiente, se perpetúa mediante diversos mecanismos moleculares que la convierten en excesiva y, si no se reconoce a tiempo y/o no se trata con prontitud, acaba por afectar a otros órganos y propicia la aparición del shock séptico, insuficiencia multiorgánica y, posteriormente, la muerte.

En la primera exposición del organismo al microorganismo patógeno, se activa la respuesta inmune inespecífica, caracterizada por la participación de células endoteliales en procesos de extravasación y por la activación de diversas células inmunitarias, lo que induce la síntesis y liberación de citoquinas proinflamatorias en el tejido dañado. En condiciones de estimulación intensa, como en la sepsis, se produce una liberación excesiva de citoquinas proinflamatorias, que es responsable de la vasodilatación, la disfunción endotelial y el inicio de la sintomatología asociada al proceso. En este estudio se ha empleado un modelo animal basado en la administración de lipopolisacárido bacteriano (LPS), un constituyente de la membrana externa de la pared celular de las bacterias Gram-Negativas con capacidad para inducir una reacción sistémica inflamatoria. Los riñones, los pulmones y el corazón son órganos gravemente afectados en modelos animales de administración sistémica de LPS, por lo que son los más estudiados en esta patología (Khajevand-Khazaei et al., 2019; Zhang et al., 2019). Sin embargo, son pocos los estudios que han analizado los cambios que induce la administración sistémica de LPS en el Sistema Nervioso Central (SNC). El LPS puede provocar un daño en el SNC al actuar sobre los receptores TLR4 del endotelio de las barreras hematoencefálica (BHE) y hematorretiniana (BHR). Por ello, se analizarán los efectos de administración sistémica de LPS en la retina, una región específica del SNC.

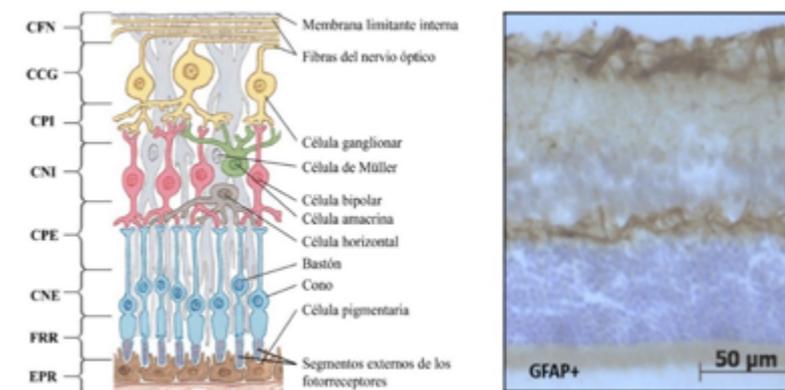
La retina es un epitelio neurosensorial especializado, derivado del diencefalo, en el que se produce la fototransducción y un primer procesamiento e integración de la información visual. En ella, existen diversos tipos celulares: células pigmentarias, fotorreceptores (conos y bastones), células ganglionares y otras poblaciones como células horizontales, bipolares, amacrinas e interplexiformes. Todas ellas se sitúan de forma ordenada creando una estructura organizada en 10 capas paralelas e interconectadas (figura 1), que de la más externa a la más interna son (Felten et al., 2021): Epitelio Pigmentario de la Retina (EPR), Capa de Fotorreceptores (FRR), Membrana Limitante Externa (MLE), Capa Nuclear Externa (CNE), Capa Plexiforme Externa (CPE), Capa Nuclear Interna (CNI), Capa Plexiforme Interna (CPI), Capa de Células Ganglionares (CCG), Capa de Fibras Nerviosas (CFN) y Membrana Limitante Interna (MLI). En la retina también existen células gliales: macroglía (astrocitos y células de Müller)



y microglía. En la mayoría de los mamíferos, los astrocitos aparecen en la CFN y CCG (Ramírez et al., 2010). Tienen como función el control de la homeostasis con el fin de favorecer la señalización neuronal. Las células de Müller presentan sus núcleos en la CNI y se extienden desde la MLI hasta la MLE. Establecen fuertes uniones con células adyacentes y contribuyen en el mantenimiento de la BHR. Las células macrogliales desempeñan un papel esencial en la respuesta inmune y la neuroprotección ante el daño oxidativo. La activación macroglial (macrogliosis reactiva), en condiciones patológicas, implica alteraciones de la macroglía que incluyen hipertrofia, hiperplasia, migración y aumento en los niveles de expresión de ciertos componentes del citoesqueleto, como la proteína ácida fibrilar glial (*Glial Fibrillary Acidic Protein*, GFAP). La macrogliosis reactiva tiene inicialmente un carácter neuroprotector, aunque su cronificación y/o función desadaptativa puede ser la causa de un daño mayor (de Hoz et al., 2016).

Figura 1

Estructura general de la retina. A la izquierda, se muestra un esquema de las capas de la retina (modificado de Felten et al., 2021). Se indican las capas de la retina: CFN (Capas de Fibras Nerviosas), CCG (Capa de Células Ganglionares), CPI (Capa Plexiforme Interna), CNI (Capa Nuclear Interna), CPE (Capa Plexiforme Externa), CNE (Capa Nuclear Externa), FRR (Capa de Fotorreceptores) y EPR (Epitelio Pigmentario de la Retina). A la derecha, se muestra una microfotografía tomada en el laboratorio (20x), en la que se diferencian, en marrón, astrocitos marcados con GFAP, de los somas de otros tipos celulares, en azul (tinción con violeta de cresilo).



2. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Conociendo los efectos que el LPS produce a nivel homeostático, se plantea la posibilidad de que su administración afecte también al SNC, en concreto, a la retina. Además, se está estudiando la posible eficacia del fármaco DF401 (en proceso de patente) como terapia viable en la prevención y/o reversión del daño producido tras la administración de LPS, dada su eficacia en el tratamiento del daño renal y pulmonar en modelos similares. Por ello, se plantea el análisis, en el caso de existir afectación en la retina, del potencial terapéutico del fármaco DF401 ante los posibles daños producidos por la administración de LPS. Para ello, se establecen los siguientes objetivos:

1. Caracterizar el posible daño causado en la retina en el modelo animal de sepsis mediante el estudio de las variaciones de la población de células macrogliales retinianas, en concreto, a través del análisis de su patrón de distribución espacial.
2. Evaluar la posible eficacia del fármaco DF401 en la prevención y/o reversión de los daños detectados en la retina a través del análisis de la población de células macrogliales.



3. MATERIAL Y MÉTODOS

Este estudio ha sido realizado en colaboración con el grupo 951579 Fisiopatología del Fracaso Multiorgánico: Abordajes Terapéuticos, de la Facultad de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid (UCM), y el Hospital General Universitario Gregorio Marañón (HGUGM, Madrid). Los procedimientos realizados fueron aprobados por el Comité de Ética de Experimentación del Hospital General Universitario Gregorio Marañón (PROEX 089/18), cumpliendo con la Directiva Europea del 22 de septiembre de 2010 (2010/63/UE) y el Real Decreto 53/2013. Este trabajo ha sido escrito siguiendo las directrices ARRIVE (*Animal Research: Reporting of In Vivo Experiments*) (Kilkenny et al., 2010).

3.1. ANIMALES EMPLEADOS CON FINES EXPERIMENTALES

Se empleó un total de 12 sujetos experimentales. En concreto, se utilizaron ratas macho (*Rattus norvegicus*) de la estirpe *Wistar*, de entre 6 y 7 semanas de edad, procedentes de la empresa Charles River Laboratories (Massachusetts, EEUU). Su traslado se efectuó en contenedores que garantizaban la contención y libertad de movimientos. Los animales fueron alojados, a su llegada al animalario del Instituto de Investigación Sanitaria Gregorio Marañón del HGUGM (Madrid, España), en grupos de 3 individuos, en jaulas de policarbonato (55x32x18 cm). En dichas instalaciones, los animales permanecieron a una temperatura constante de $23 \pm 1^\circ\text{C}$ y una humedad del $60 \pm 10\%$, en un ciclo de luz-oscuridad de 12/12 (luz blanca encendida a las 8:00 a.m.), y tuvieron acceso a alimento (Altromin®) y agua ad libitum.

3.2. DISEÑO EXPERIMENTAL

Tras un periodo de habituación de dos semanas, se realizó el modelo animal de sepsis basado en la administración intraperitoneal (i.p.) de LPS. La mitad de los animales recibió una dosis de LPS (LPS de *Escherichia coli* O55:B5, Sigma Aldrich, L2880) a una concentración de 10 mg/Kg, i.p.; mientras que la otra mitad recibió su vehículo (VH), solución salina (5 mL/Kg). Inmediatamente después, los animales, seleccionados aleatoriamente, recibieron una dosis del fármaco DF401 (150 mg/Kg, i.p.) disuelto en suero salino (0.9% NaCl), o bien una inyección de su VH (5 mL/Kg). El diseño experimental descrito permitió la obtención de 4 grupos experimentales: Control (VH-VH), Control Fármaco (VH-DF401), LPS (LPS-VH), y LPS Fármaco (LPS-DF401), con 3 individuos por grupo (n=3). Se registró el peso de los animales el día de las inyecciones y el día del sacrificio, 24 horas después.

3.3. EXTRACCIÓN Y PROCESAMIENTO DE LAS MUESTRAS BIOLÓGICAS

Los animales fueron sacrificados por sobredosis de anestésico (Ketamina, 100 mg/Kg - Xilacina, 0,6 mg/Kg, i.p.). Tras su extracción, los ojos se sumergieron en fijador paraformaldehído (PFA) al 4% en tampón fosfato (*Phosphate Buffered*



Saline, PBS) 0,1M a pH=7,4 y se mantuvieron a 4°C (48 horas). A continuación, se procedió a la crioprotección de las muestras, en la que permanecieron a 4°C en concentraciones crecientes de sacarosa: sacarosa al 11% en PBS 1x (24 horas) y sacarosa al 33% en PBS 1x (48 horas). Se incluyeron en Tissue-Tek® (O.C.T Optimal cutting temperature, Sakura Finetek, Spain) para su posterior congelación en un criostato LEICA CM3050 (Leica Biosystems, Heidelberg, Germany) a -30°C hasta su corte. Se recogieron 6 secciones sagitales de $16 \mu\text{m}$ de grosor en cada portaobjetos gelatinizado, de forma seriada, y se preservaron a -30°C hasta los procedimientos inmunohistoquímicos.

3.4. PROCEDIMIENTOS INMUNOHISTOQUÍMICOS

Se descongelaron las muestras y se atemperaron durante 1 hora. En los lavados e incubaciones con los anticuerpos se empleó tampón de inmunohistoquímica (T.I.), compuesto por PBS 0,1M a pH=7,4 con un 0,5% de suero de albúmina bovino (BSA, *Bovine Serum Albumin*, Sigma) y 0,3% de tritón X-100 (Sigma). En primer lugar, se inició una fase de hidratación, con un lavado de 10 minutos con T.I. Se inhibió la peroxidasa endógena tisular con un lavado de T.I. con un 1% de H_2O_2 (Merck) durante 15 minutos. A continuación, se preparó la solución madre de incubación de los anticuerpos (Ab): anticuerpo primario (Ab1, *Rabbit Anti-GFAP*, Dako, Z0334, 1:800) y anticuerpo secundario (Ab2, *Goat Anti-Rabbit IgG H+L Biotinylated*, Thermo Scientific, 31820, 1:200). Para ello, se diluyó el Ab1 en T.I. con un 1% del suero del Ab1. Las muestras se incubaron una noche a 4°C con el Ab1, diluido en solución madre. Al día siguiente, se retiró el Ab1 y se realizaron 3 lavados de 10 minutos con T.I. para eliminar el Ab1 no unido. Los portaobjetos se mantuvieron a temperatura ambiente con el Ab2, diluido en solución madre, durante 2 horas. Tras retirarlo, se realizaron 3 lavados de 10 minutos con T.I. y se añadió el complejo ABC-peroxidasa (*Strept-Avidin Biotin Complex-Peroxidase*, Vectastain ABC kit, Thermo scientific, referencia: 24 #32020, 1:250) durante 1 hora y 30 minutos, disuelto en T.I., con un 5% de leche liofilizada (Leche Asturiana). Se retiró el complejo ABC-peroxidasa con 3 lavados de 10 minutos con T.I. y se inició el revelado con 0.5 mg/mL de 3,3-diaminobenzidina (DAB, Sigma-Aldrich, Spain) y 0.2% H_2O_2 en PBS durante 8 minutos. Se realizaron 3 lavados de 10 minutos con PBS 1x, seguidos de la contratinción con violeta de cresilo al 0,005% en tampón acetato 0,1M (pH=6). Finalmente, se deshidrataron las muestras en concentraciones crecientes de alcohol (70%, 90% y absoluto), con 2 lavados de 2 minutos en cada solución, y en xilol (5 lavados de 2 minutos) para su posterior montaje con Depex (Serva®).

3.5. OBSERVACIÓN EN EL MICROSCOPIO

Las muestras fueron observadas en un microscopio Zeiss Axio Imager A.12. Se realizaron 2 microfotografías (20x) de cada zona del eje Y para cada región del eje X bajo las mismas condiciones de luz y contraste con una cámara Zeiss AxioCam (software de captura Axiovision 40V4.1, Carl Zeiss Vision GMB4). La cuantificación de la expresión de GFAP se realizó mediante el densitometrado



de las imágenes con ImageJ (versión 1.52a, *National Institutes of Health*, NIH, USA), obteniendo un valor determinado de densidad óptica, expresado en unidades arbitrarias, para cada una de las capas analizadas en la retina.

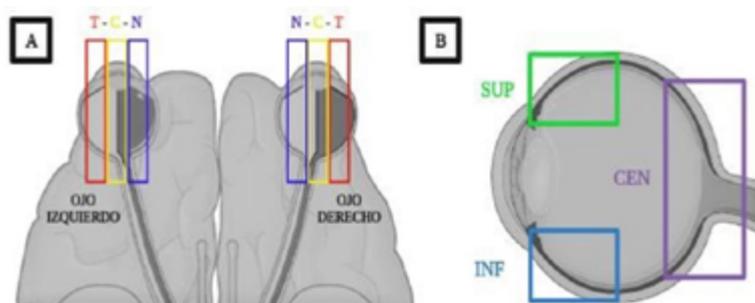
3.6. ANÁLISIS DE CÉLULAS GFAP+: ASTROCITOS Y CÉLULAS DE MÜLLER

En los análisis, se consideró la organización de la retina a lo largo del eje X: regiones Nasal, Central y Temporal (figura 2A); y a lo largo del eje Y: zonas Inferior, Central y Superior (figura 2B). Las capas analizadas fueron: Capa de Fibras Nerviosas y Capa de Células Ganglionares (CFCG); Capa Plexiforme Interna (CPI); Capa Nuclear Interna (CNI); Capa Plexiforme Externa (CPE); Capa Nuclear Externa (CNE), y Segmento Externo de los Fotorreceptores (SEF).

Figura 2

Organización espacial de la retina en el análisis de células macrogliales.

A) División en regiones (eje X): Temporal (T), Central (C) y Nasal (N).
B) División en zonas (eje Y): Inferior (INF), Central (CEN) y Superior (SUP).



3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En el análisis estadístico, se consideraron los tratamientos como factores independientes: LPS (LPS vs. VH) y fármaco (DF401 vs. VH). Se realizó de forma aislada para cada capa y cada una de las regiones y/o zonas de la retina. Las variables analizadas (peso corporal y densidad óptica) no cumplieron los requisitos de normalidad y homocedasticidad, por lo que se emplearon tests no paramétricos para su estudio. Se realizó el test de Kruskal-Wallis, seguido del test Mann-Whitney. Se consideraron las diferencias estadísticamente significativas para p-valor inferior al 5% ($p < 0,05$). Los análisis se realizaron con el paquete estadístico SPSS®, versión 25.0 (SPSS Inc., IBM Company).



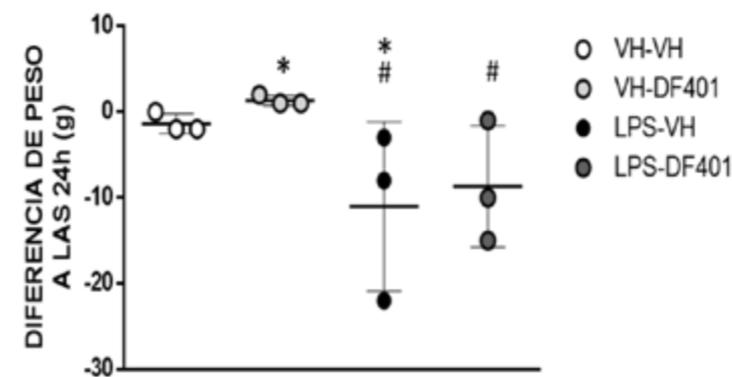
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. EVALUACIÓN DEL PESO CORPORAL

Los tratamientos produjeron una variación significativa en el peso de los individuos de los distintos grupos [$\chi^2(3)=8,29$, $p=0,04$]. Las comparaciones a *posteriori* (figura 3) mostraron una pérdida de peso de los animales del grupo LPS-VH. En el grupo LPS-DF401, se observó pérdida de peso, aunque fue más atenuada que en el grupo LPS-VH. La pérdida de peso supone un signo de enfermedad y podría implicar daño multiorgánico, disminución en la ingesta diaria o alteraciones metabólicas como consecuencia de la administración de LPS. En futuros estudios, se pretende considerar como parámetro complementario la ingesta diaria para esclarecer si la administración de LPS podría ser la causa de la tendencia a la pérdida de peso. Estos datos aportan las primeras evidencias de la eficacia del fármaco DF401 ante los efectos inducidos por la administración de LPS en el peso corporal de los animales.

Figura 3

Variación del peso corporal. Los histogramas muestran la media \pm error estándar donde cada punto es un sujeto experimental ($n=3$). Mann-Whitney: * $p < 0,05$ vs. VH-VH; # $p < 0,05$ vs. VH-DF401.



4.2. ANÁLISIS INMUNOHISTOQUÍMICO EN LA RETINA

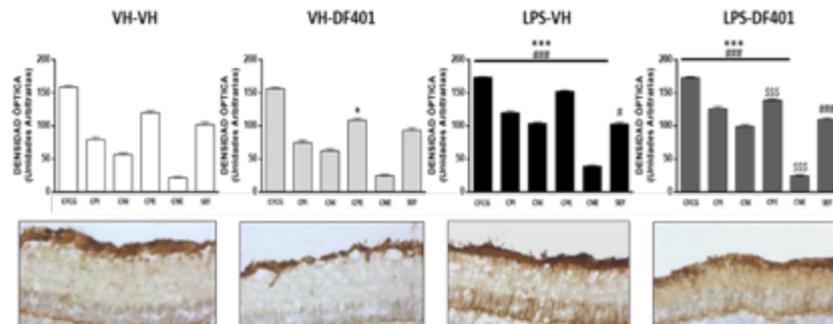
En el análisis de la sección completa de la retina, se observó que los tratamientos habían producido variaciones en las diferentes capas [CFCG: $\chi^2(3)=74,65$, $p=0,001$; CPI: $\chi^2(3)=151,40$, $p=0,001$; CNI: $\chi^2(3)=170,71$, $p=0,001$; CPE: $\chi^2(3)=169,84$, $p=0,001$; CNE: $\chi^2(3)=58,63$, $p=0,001$; y SEF: $\chi^2(3)=13,73$, $p=0,01$]. Las comparaciones a *posteriori* mostraron un aumento de los niveles de expresión de GFAP en el grupo LPS-VH en todas las capas, a excepción del SEF (figura 4). Este incremento podría deberse al aumento en la activación de los astrocitos y/o células de Müller, o hiperplasia de los astrocitos. Estos últimos, en condiciones fisiológicas en roedores, se localizan en la CFN y en la CCG (Ramírez et al., 2010), lo cual se corresponde con los resultados obtenidos, que indican mayores niveles de expresión de GFAP en la CFCG. Las células de Müller presentan sus cuerpos celulares en la CNI y sus prolongaciones bidirec-

cionales se extienden desde la MLI hasta la MLE. En condiciones basales, existe expresión de GFAP en sus pies vítreos, aunque, en situaciones patológicas, se produce un aumento general en la célula. La coadministración de LPS y DF401 atenuó el incremento de la expresión de GFAP inducida por el LPS (figura 4).

Figura 4

Niveles de expresión de GFAP en las capas de la retina analizadas.

En la parte superior, se muestran los niveles de expresión de GFAP en cada capa (de izquierda a derecha): CFCG (Capa de Fibras Nerviosas y Capa de Células Ganglionares), CPI (Capa Plexiforme Interna), CNI (Capa Nuclear Interna), CPE (Capa Plexiforme Externa), CNE (Capa Nuclear Externa) y SEF (Segmento Externo de los Fotorreceptores). Los histogramas muestran la media \pm error estándar (n=3). Mann Whitney: *p<0,05, ***p<0,001 vs. VH-VH; #p<0,05, ###p<0,001 vs. VH-DF401; \$\$p<0,05 vs. LPS-VH. En la parte inferior, se muestran microfotografías representativas (20x) de las muestras de cada grupo.



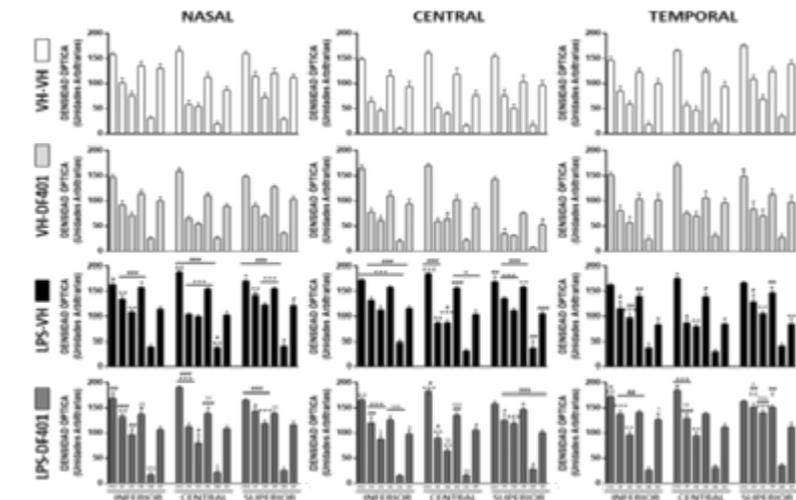
En un análisis más detallado en el que se consideraron las regiones (Nasal, Central y Temporal) y zonas (Inferior, Central y Superior) de la retina, se observó el mismo efecto, por lo que el fármaco DF401 parecería atenuar el aumento de los niveles de GFAP asociados al LPS a causa del tratamiento (figura 5). Se observó que el LPS había provocado un aumento en la expresión de GFAP, mayoritariamente en las regiones Nasal y Central, siendo atenuado por la administración de DF401. No obstante, la región Temporal se vio marginalmente afectada (figura 5). En la retina, las regiones Nasal y Central están más próximas a la inserción de la arteria central de la retina, lo cual podría explicar el mayor grado de afectación por la acción de LPS y DF401 en dichas regiones, y que la región Temporal se haya visto menos afectada. El fármaco DF401, per se, no afectó de forma sólida a los niveles de expresión de GFAP (figura 5). Este análisis más detallado confirma el aumento generalizado en la expresión de GFAP tras la administración de LPS, en las regiones Nasal y Central; y, a su vez, apoya la hipótesis de la eficacia de DF401 en la prevención y/o reversión de este efecto.



Figura 3

Niveles de expresión de GFAP (densidad óptica) en las capas de la retina.

Regiones (eje X): Nasal, Central y Temporal. Zonas (eje Y): Inferior, Central y Superior. Capas analizadas: CFCG (Capa de Fibras Nerviosas y Capa de Células Ganglionares), CPI (Capa Plexiforme Interna), CNI (Capa Nuclear Interna), CPE (Capa Plexiforme Externa), CNE (Capa Nuclear Externa) y SEF (Segmento Externo de los Fotorreceptores). Los histogramas muestran la media \pm error estándar (n=3). Mann Whitney: *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001 vs. VH-VH; #p<0,05, ##p<0,01, ###p<0,001 vs. VH-DF401; \$p<0,05, \$\$p<0,01, \$\$\$p<0,001 vs. LPS-VH.



5. CONCLUSIONES

1. La administración sistémica de LPS provocó una pérdida de peso y un daño generalizado en la retina asociado a un aumento en los niveles de expresión de GFAP en todas sus capas, excepto en el SEF, mayoritariamente en las regiones Nasal y Central.
2. El tratamiento con el fármaco DF401 atenuó la pérdida de peso y la macrogliosis asociada a la administración sistémica de LPS, en la CPE y en la CNE, principalmente en las regiones Nasal y Central.

6. AGRADECIMIENTOS

Cumplir con un propósito no suele ser fácil, y aún menos si se trata de un sueño. Por ello, agradezco a Juan Carlos Ortega Lázaro, Gema Martín González y al profesorado del IES Las Musas su implicación en mi aprendizaje. También agradezco al grupo 951579 Fisiopatología del Fracaso Multiorgánico: Abordajes Terapéuticos, de la Facultad de Medicina de la Universidad Complutense de Madrid, su predisposición a brindarme sus instalaciones y los conocimientos adquiridos. En especial, dirijo este mensaje a Meritxell López Gallardo, Eva María Marco López, Miguel Ángel Martínez López y Sara Rubio Casado. Gracias por vuestra ayuda en la consecución de este sueño, nuestro sueño.



7. REFERENCIAS

- de Hoz, R., Rojas, B., Ramírez, A. I., Salazar, J. J., Gallego, B. I., Triviño, A., & Ramírez, J. M. (2016). Retinal Macrogial Responses in Health and Disease. *BioMed Research International*, 2016, 2954721. <https://doi.org/10.1155/2016/2954721>
- Felten, D. L., O'Banion, M. K., & Maida, M. S. (2021). *Netter's Atlas of Neuroscience* (pág. 390; 4a).
- Khajevand-Khazaei, M.-R.-K., Azimi, S., Sedighnejad, L., Salari, S., Ghorbanpour, A., Baluchnejadmojarad, T., Mohseni-Moghaddam, P., Khamse, S., & Roghani, M. (2019). S-allyl cysteine protects against lipopolysaccharide-induced acute kidney injury in the C57BL/6 mouse strain: Involvement of oxidative stress and inflammation. *International Immunopharmacology*, 69, 19-26. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2019.01.026>
- Kilkenny, C., Browne, W. J., Cuthill, I. C., Emerson, M., & Altman, D. G. (2010). Improving bioscience research reporting: The ARRIVE guidelines for reporting animal research. *Journal of Pharmacology & Pharmacotherapeutics*, 1(2), 94-99. <https://doi.org/10.4103/0976-500X.72351>
- Ramírez, A. I., Salazar, J. J., de Hoz, R., Rojas, B., Gallego, B. I., Salinas-Navarro, M., Alarcón-Martínez, L., Ortín-Martínez, A., Avilés-Trigueros, M., Vidal-Sanz, M., Triviño, A., & Ramírez, J. M. (2010). Quantification of the Effect of Different Levels of IOP in the Astroglia of the Rat Retina Ipsilateral and Contralateral to Experimental Glaucoma. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 51(11), Art. 11. <https://doi.org/10.1167/iovs.10-5248>
- Singer, M., Deutschman, C. S., Seymour, C. W., Shankar-Hari, M., Annane, D., Bauer, M., Bellomo, R., Bernard, G. R., Chiche, J.-D., Cooper-Smith, C. M., Hotchkiss, R. S., Levy, M. M., Marshall, J. C., Martin, G. S., Opal, S. M., Rubenfeld, G. D., van der Poll, T., Vincent, J.-L., & Angus, D. C. (2016). The Third International Consensus Definitions for Sepsis and Septic Shock (Sepsis-3). *JAMA*, 315(8), Art. 8. <https://doi.org/10.1001/jama.2016.0287>
- Zhang, H., Sha, J., Feng, X., Hu, X., Chen, Y., Li, B., & Fan, H. (2019). Dexmedetomidine ameliorates LPS induced acute lung injury via GSK-3 β /STAT3-NF- κ B signaling pathway in rats. *International Immunopharmacology*, 74, 105717. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2019.105717>



Estimulación multisensorial: un viaje a través de la memoria

/ TERCER PREMIO

AUTORA | AINHOA MARÍN MARTÍNEZ

COORDINADORES | ANTONIO GARCÍA ZAMORA Y ADOLFO MUÑOZ PALANCAS

CENTRO | IES FRANCISCO ROS GINER

CIUDAD | LORCA-MURCIA

RESUMEN |

El incremento de la supervivencia y la esperanza de vida han originado un aumento de la prevalencia de enfermedades crónicas en edades avanzadas, siendo la más destacada el deterioro cognitivo. Actualmente, no se dispone de un tratamiento que pueda curar o prevenir el desarrollo paulatino de sus síntomas, por lo que es de vital importancia la aplicación de una intervención que mejore la calidad de vida y que prevenga su evolución. En este sentido, se plantea como objetivo estudiar la eficiencia de la sala multisensorial en pacientes que presentan deterioro cognitivo, para así poder comprobar si se puede frenar el avance de esta enfermedad. De este modo, siguiendo los métodos inductivo y analítico, se propone el diseño de terapias de estimulación multisensorial adaptadas a las necesidades individuales. Se realizó sobre una población constituida por 11 personas mayores de 65 años con diagnóstico de trastorno neurocognitivo que acudían al Centro de Día Poncemar de Lorca, durante marzo-abril-mayo de 2022. Para la evaluación se utilizó el test mini-mental de Lobo (MEC), evaluando la esfera cognitiva, y la Escala de Deterioro Global (GDS), la cual determina el estado de deterioro. Adicionalmente, se creó un cuestionario de satisfacción. Tras la implementación de estas terapias, se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre la primera y segunda evaluación, siendo mayor la puntuación de esta última, lo que nos demuestra que se observó una mejora en cerca 73% de los pacientes. En base a estos resultados, podemos llegar a la conclusión de que nuestras terapias resultaron efectivas.

Palabras clave: estimulación multisensorial, deterioro cognitivo, sala Snoezelen, calidad de vida.



ABSTRACT |

The increase in survival and life expectancy has led to a rise in the prevalence of chronic diseases in older ages, being cognitive impairment the most prominent one. Currently, there is not an available treatment that can cure or prevent the gradual development of its symptoms, so it is of vital importance to implement an intervention that improves the quality of life and prevents disease progression. In this sense, our objective is to study the efficiency of the multi-sensory room in patients with cognitive impairment, in order to verify if the progression of this disease can be slowed down. Following the inductive and analytical methods, it is proposed the design of multi-sensory stimulation therapies adapted to people's individual needs. Those therapies were carried out on a population consisting of 11 people over 65 years of age with a diagnosis of neurocognitive disorder who attended Poncemar Day Care Center, in Lorca, from March to May 2022. To evaluate it, the Lobo mini-mental test was used (MEC), evaluating the cognitive sphere, and the Global Deterioration Scale (GDS), which determines the state of deterioration. In addition, a satisfaction questionnaire was made. After the implementation of these therapies, a statistically significant difference was found between the first and the second evaluation, being the score of the second higher, which shows an improvement in about 73% of the patients. Based on these results, we can conclude that our therapies were effective.

Keywords: multi-sensory stimulation, cognitive impairment, Snoezelen room, quality of life.



1. INTRODUCCIÓN

La población mundial está envejeciendo rápidamente. El número de personas mayores de 65 años en el mundo se ha incrementado en los últimos años y se espera que esta tendencia continúe en las próximas décadas.

En España, en menos de 30 años, se ha duplicado el número de ancianos. Junto a este aumento del envejecimiento, se da el incremento de la esperanza de vida, llegando a una sorprendente media de 82,33 en 2020. Estas cifras, aunque aparentemente son positivas, suponen el desarrollo de ciertas enfermedades asociadas al envejecimiento, que conlleva un mayor consumo de medicamentos y un aumento de la discapacidad y la dependencia.

El deterioro cognitivo se considera una de las enfermedades más comunes del siglo XXI en España. Esta enfermedad limita la independencia de los ancianos y reduce su participación en todo tipo de actividades, lo que perjudica su salud y altera su estado de ánimo.

Durante la última década, varios fármacos han demostrado ser efectivos en el control temporal de los síntomas de esta enfermedad, pero, en ausencia de una cura, se requiere de intervenciones no farmacológicas destinadas a mejorar la cognición y el comportamiento.

La estimulación sensorial es clave y los espacios en los que se realiza esta terapia se denominan salas multisensoriales. Estas salas están diseñadas para estimular los sentidos y ayudar a los pacientes a dar significado a las sensaciones que perciben a través de luces, sonidos, etc.

2. ANTECEDENTES

Si hacemos un repaso de los últimos estudios que se centran en este tema, encontramos la publicación en el año 2019 de un artículo, publicado en la revista INFAD (“International Journal of Developmental and Educational

Psychology”), realizado por Carmen Solé, Ignacio Cifré, Montserrat Celdrán, Marta Gaspar y Laura Rodríguez. Se demostró que los espacios multisensoriales mejoran los niveles de ansiedad y proporcionan mejoras en pacientes con grados leves y moderados de demencia. Y, además, que los pacientes con grados de demencia avanzada se implican menos en el tratamiento, puesto que presentan más conductas de ausencia.

Relacionado con este mismo tema, encontramos el estudio realizado por Norma Graciela Taco en la Universidad Central del Ecuador en el año 2016, la sala multisensorial es efectiva en los pacientes adultos mayores que presentan deterioro cognitivo. Tras recibir las terapias, se observó un notable aumento en la progresión y mantenimiento de las funciones cognitivas de los ancianos.



3. HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS A DESARROLLAR

Nuestra **hipótesis** de partida es que con la utilización de la sala multisensorial se consigue frenar el deterioro cognitivo y se mejora la calidad de vida de los adultos mayores.

Por ello, los **objetivos** que queremos lograr son los siguientes:

1. Demostrar la eficacia de la sala multisensorial en adultos mayores que presentan deterioro cognitivo, independientemente del grado que padezcan.
2. Evaluar el estado cognitivo que presenta el adulto mayor mediante la aplicación de escalas para poder determinar los resultados de la progresión o regresión que podría tener.
3. Diseñar terapias adaptadas a sus necesidades y circunstancias individuales, con la finalidad de ofrecer un servicio personalizado.
4. Valorar el nivel de satisfacción obtenido tras realizar las actividades sensoriales.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la elaboración del proyecto se han seguido como métodos generales los métodos inductivo y analítico para que, a raíz de examinar la progresión de una enfermedad y observar detalladamente cada uno de los casos, se pueda formular una ley universal, y posteriormente obtener conclusiones particulares. En nuestro caso, vamos a tratar con adultos mayores que presentan deterioro cognitivo, para que a partir de estudiar a cada uno individualmente y llevar a cabo terapias de estimulación multisensorial, podamos comprobar si es posible frenar el progreso de esta enfermedad. Se ha empleado el método experimental como método específico, al diseñar las diferentes terapias.

La metodología de la investigación es mixta, ya que pretendemos comprobar la efectividad de la sala multisensorial en los adultos mayores.

El nivel de la investigación puede considerarse básico, y en relación al grado de profundidad, sería descriptivo y observacional.

4.1. UNIDAD DE ESTUDIO

La presente investigación se llevó a cabo en el Centro de Día Poncemar ubicado en el Campus Universitario de Lorca, Región de Murcia. Se realizó a una población constituida por 11 adultos mayores de 65 años que presentan deterioro cognitivo, siendo 5 hombres y 6 mujeres.



4.2. CONSENTIMIENTO INFORMADO

Previamente a la recolección de datos, se ha presentado un consentimiento informado junto con una hoja de información a los familiares para que estos puedan tener la información necesaria sobre la investigación.

4.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Las técnicas e instrumentos que se utilizaron en el transcurso de la investigación son las siguientes:

- El método de observación participativa. Proceso en el cual el investigador se interrelaciona con las personas que están dentro del estudio para obtener la información del mayor en forma directa sobre el problema que lo acontece.
- Las escalas que se han utilizado son: el test mini examen cognoscitivo de Lobo (MEC), para evaluar el área cognitiva previa y posteriormente a la realización de las terapias, y la escala GDS, para evaluar el nivel de deterioro en el que se encuentra el mayor. Además, se ha creado un cuestionario de satisfacción para comprobar el nivel de complacencia tras recibir las terapias.

4.4. TERAPIAS

Las terapias se han llevado a cabo los jueves de 10:30 a 12:30 en la Sala Snoezelen de Poncemar, con una duración de unos 30 minutos. Se han realizado 4 sesiones diferentes para cada paciente, de tal forma que cada jueves, se les aplicaba a cuatro usuarios. Estas terapias se han realizado teniendo en cuenta la puntuación obtenida en el MEC. Dicho esto, la primera terapia estuvo más enfocada a la fijación y a la memoria; la segunda estuvo enfocada al lenguaje, a la memoria y, en un menor grado, a la orientación; la tercera se centró en la concentración, el cálculo, la memoria y la construcción; y, por último, con la cuarta terapia se abarcó todas las áreas cognitivas excepto construcción.

4.5. RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Se escogerá la muestra de acuerdo a los criterios de inclusión y exclusión y se procederá a evaluarlos de forma individual, comenzando con el test mini-examen cognoscitivo de Lobo. Posteriormente, se procederá a la elaboración de una clasificación de los grados de deterioro cognitivo, en función a las puntuaciones obtenidas en la anterior escala. Una vez obtenidos los resultados de las escalas, se implementará una sala de intervención multisensorial para la aplicación de las terapias, donde el adulto mayor podrá percibir los estímulos sensoriales.

5. RESULTADOS

Con el fin de demostrar nuestra hipótesis y lograr nuestros objetivos, hemos analizado tanto las puntuaciones obtenidas en el test mini-mental de Lobo, como en



el cuestionario de satisfacción, ya que al fin y al cabo este cuestionario era la clave para conocer lo que ha supuesto para ellos el desarrollo de estas terapias.

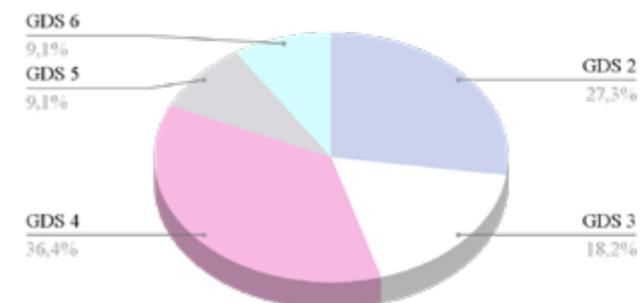
5.1. ANÁLISIS DE LAS PUNTUACIONES FINALES DEL TEST MINI - MENTAL DE LOBO

PACIENTES	1º EVALUACIÓN SOBRE 35 PUNTOS	2º EVALUACIÓN SOBRE 35 PUNTOS
Paciente 1	21	23
Paciente 2	20	21
Paciente 3	21	23
Paciente 4	20	21
Paciente 5	24	22
Paciente 6	27	29
Paciente 7	28	26
Paciente 8	24	25
Paciente 9	18	15
Paciente 10	14	15
Paciente 11	2	4

Nota. La tabla muestra la puntuación final obtenida de cada paciente en el test mini - examen cognoscitivo de Lobo (MEC). Fuente: Realización propia.

Los resultados de la tabla 1 en la aplicación del mini - examen cognoscitivo de Lobo, indican que tras haber llevado a cabo las terapias, de los 11 pacientes con deterioro cognitivo, 8 mejoraron y 3 no mejoraron. Por lo tanto, se observó un progreso en la mayoría de los pacientes.

5.2. ANÁLISIS DE LA CLASIFICACIÓN DE LA ESCALA DE DETERIORO GLOBAL

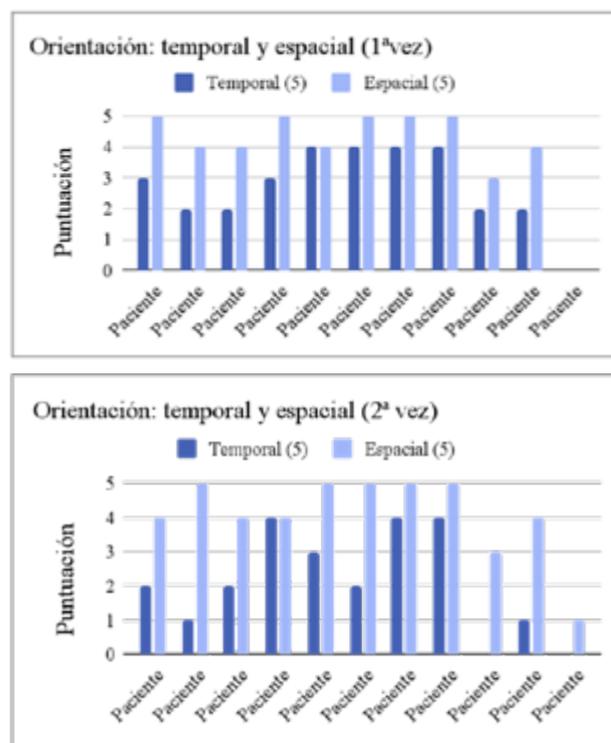


Nota. La figura muestra la clasificación GDS de cada paciente en función a la puntuación obtenida en el test mini - examen cognoscitivo de Lobo (MEC). Fuente: Realización propia.



Como podemos observar en la figura 15, los 11 pacientes se encontraban entre un GDS 2 y GDS 6. Dicho esto; 3 de ellos presentaban un GDS 2; 2 de ellos un GDS 3; 4 de ellos un GDS 4; 1 un GDS 5; y 1 un GDS 6. Por lo tanto, predominan los usuarios con GDS 4 cuya puntuación en el test mini-mental de Lobo está entre los 16 y 23 puntos, lo que nos indica que los usuarios de nuestro estudio se encontraban en un deterioro cognitivo moderado.

5.3. ANÁLISIS DE LAS ÁREAS COGNITIVAS MEDIANTE EL TEST MINI - MENTAL DE LOBO



Nota. La figura muestra la puntuación obtenida en el área de orientación en el MEC antes y después de las terapias. Fuente: elaboración propia.

Atendiendo a las cuestiones planteadas temporales, como puede ser, ¿qué día es hoy? o ¿en qué mes estamos?, la primera vez que se realizó este test el 58% de los usuarios respondieron correctamente, siendo 4/5 la puntuación máxima. En cambio, al realizarlo por segunda vez tras finalizar las sesiones, el porcentaje disminuyó a un 32% con respecto a la primera vez.

Sin embargo, si nos fijamos en las cuestiones espaciales, tales como, ¿en qué ciudad estamos? o ¿en qué provincia?, podemos observar como la primera vez

Figura 2, 3

Resultados obtenidos de ambas evaluaciones en el área de orientación.



el 80% de los pacientes respondieron adecuadamente, siendo 5/5 la puntuación máxima. Al realizarlo por segunda vez, el porcentaje ha superado la primera vez en un 1,8%. Se deduce que este aumento era más de esperar puesto que previamente los usuarios se han orientado con las cuestiones temporales.

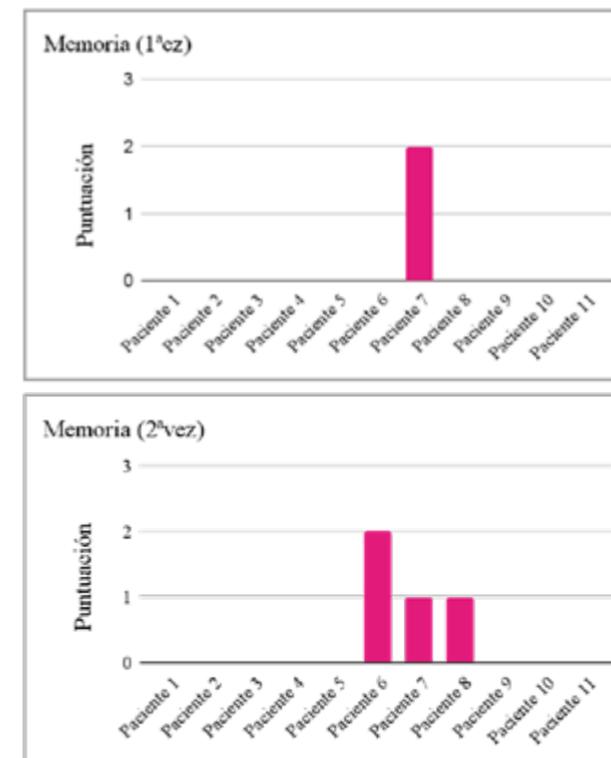


Figura 4, 5

Resultados obtenidos de ambas evaluaciones en el área de memoria.

Si prestamos atención al primer gráfico, vemos que solo un paciente respondió a la cuestión de memoria, que consistía en si recordaban las tres palabras evaluadas en el área de fijación, ya que estas dos áreas están íntimamente relacionadas (son las mismas palabras). Por el contrario, al observar el gráfico de la segunda vez, vemos que tres personas respondieron a la actividad, siendo 2/3 la puntuación máxima recogida. La puntuación obtenida en el área de memoria nos indica que es el área más afectada.

5.4. ANÁLISIS DEL CUESTIONARIO DE SATISFACCIÓN

Al iniciar la evaluación de las sesiones mediante el cuestionario de satisfacción, se destaca que un impresionante 94% de los pacientes otorgaría la calificación máxima a la última sesión. En lo que respecta al nivel de dificultad experimentado durante esta sesión, se evidencia que un considerable 74% de los pacientes



concuera con la dificultad, siendo el valor más frecuente el 3. Además, en términos de amenidad y capacidad para mantener el interés, se confirma que esta característica se cumple prácticamente en su totalidad, ya que un notable 98% de los participantes ha seleccionado la puntuación más alta.

Estos resultados indican de manera concluyente que el 100% de los usuarios no solo ha disfrutado activamente de la participación, sino que también expresaría su recomendación a otras personas y manifiesta un alto nivel de satisfacción con la experiencia. Este feedback positivo subraya la efectividad y la calidad de las sesiones, respaldando la idea de que la intervención ha sido sumamente exitosa y bien recibida por la totalidad de los usuarios involucrados.

6. CONCLUSIONES

Tras realizar un análisis de cada uno de los puntos que conforman esta investigación, y según los objetivos propuestos, podemos concluir que:

1. Se ha demostrado la eficiencia que tiene el uso de la sala Snoezelen en los adultos mayores con deterioro cognitivo, puesto que de los 11 pacientes que componían el estudio, se observó una mejora en 8 de ellos.
2. Mediante el MEC se pudo evaluar el nivel de deterioro cognitivo de los pacientes previa y posteriormente a la estimulación.
3. En base a la puntuación total obtenida en el test anterior (MEC), se clasificó al adulto mayor siguiendo la escala de deterioro global (GDS). Se diseñaron terapias teniendo en cuenta el GDS de cada uno de ellos.
4. Se ha confirmado que los usuarios, a pesar de no acordarse del contenido de cada una de las terapias, se mostraban voluntarios a seguir participando, entusiasmados y atentos durante el tiempo que duraba cada actividad.

Por tanto, nuestra hipótesis queda totalmente verificada: con la utilización de la sala multisensorial se consigue frenar el deterioro cognitivo y se mejora la calidad de vida de los adultos mayores, pues produce cambios significativos en su bienestar y su estado de ánimo.

Finalmente, me gustaría proponer, como futuras vías de investigación, el desarrollo de las terapias descritas durante un periodo más prolongado y a un número mayor de pacientes, así como la implementación de nuevas terapias para la pronta detección de la enfermedad.

7. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a mis tutores D. Antonio García Zamora y D. Adolfo Muñoz Palancas, por la orientación y seguimiento a lo largo de este proyecto.



Agradecer también al Certamen de Jóvenes Investigadores por promover la investigación entre los jóvenes.

Por supuesto, a cada uno de los adultos mayores que han participado en el estudio, ya que sin ellos esto no habría sido posible.

A mi familia y amigos por su apoyo incondicional.

8. BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

- Alonso, T., Espí, M., Reina, M. J., Pérez, D., Pérez, I. A., Costa, M., Maside, A., Antón, E., Alonso, E. J., Gil, M., (2018). "Prevalencia de deterioro cognitivo en España. Estudio Gómez de Caso en redes centinelas sanitarias". *Neurología*, 33(8), 491-498.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0213485316302171>
- Calabrò, M., Rinaldi, C., Santoro, G., & Crisafulli, C. (2021). "The biological pathways of Alzheimer disease: A review". *AIMS neuroscience*, 8(1), 86.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7815481/>
- Carbajo, M. (2014). "La sala de estimulación multisensorial". *Tabanque: Revista pedagógica*, 27, 155-172.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5084331>
- Cobo C. M., Saiz, Z., Sierra, S., Morales, L., Campo, V. Y., Vejo, C., (2017). "La estimulación multisensorial como puente de comunicación con el paciente con demencia". *Nuberos científica*, 3(21), 7-14.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7492639>
- Solé, C., Cifré, I., Celdrán, M., Gaspar, M. Y., Rodríguez, L., (2019). "Contribuciones de la estimulación multisensorial (SNOEZELEN) en personas mayores con demencia". *International Journal of Developmental and Educational Psychology*, revista INFAD de Psicología.
<https://revista.infad.eu/index.php/IJODAEP/article/view/1444/1242>
- Suntaxi, C.A., (2018). *Beneficios del uso de la Sala de Estimulación Multisensorial Snoezelen en adultos mayores con demencia para reducir los niveles de ansiedad, en la Clínica Nuestra Señora de Guadalupe durante el período Noviembre 2017-Abril 2018* [Trabajo final de grado]. Universidad Central del Ecuador.
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/14903>



Estudio antropométrico de la composición corporal para diagnóstico del riesgo asociado a la obesidad en la población adolescente

/ ACCÉSIT

AUTORAS | NOELIA ALCAIDE PUERTO, PAULA OLMO AGUDO Y JESSICA PUERTO NIETO

COORDINADORA | ELENA LEÓN RODRÍGUEZ

CENTRO | IES FIDIANA

CIUDAD | CÓRDOBA

RESUMEN |

La obesidad es el incremento de tejido adiposo corporal y un problema de salud creciente en los adolescentes españoles. Nuestro cuerpo está constituido de músculos, huesos, grasa y tejidos de relleno que son los cuatro componentes que estudia la Antropometría. Por otro lado, la OMS y SEEDO establecen un IMC asociado a los estándares de crecimiento, según peso o altura; pero este no determina la proporción de estos cuatro componentes, por lo que adolescentes con pesos razonables para su estatura pueden presentar exceso de grasa. Se ha realizado un estudio antropométrico en la población del IES Fidiana para determinar su predisposición a la obesidad y evaluar medidas complementarias y/o preventivas ajustadas a la realidad existente en el IES. Además, se estudió el efecto de los factores edad, sexo y actividad física. En todos los niveles, el IMC presentó valores normales. Sin embargo, a raíz del estudio antropométrico, se observó una masa grasa muy superior al valor de referencia 14,3 %. Por otro lado, la masa muscular fue superior al valor esperado y la masa residual se encontró por debajo del valor teórico. Los chicos presentaron más masa ósea y muscular que las chicas y estas diferencias se acentúan conforme se incrementa la edad. No se encontró ningún efecto respecto a la actividad física. En 1º y 2º ESO se encontró un bajo peso medio y la distribución más irregular en los componentes antropométricos, destacando un incremento patente de masa grasa preocupante y un incremento ligero de masa ósea y muscular.

Palabras clave: obesidad, antropometría, IMC, masa ósea, masa residual, masa muscular, masa grasa.



ABSTRACT |

Obesity is the increase of body adipose tissue and a growing health problem in Spanish adolescents. Our body is made up of muscles, bones, fat and filler tissues, which are the four components studied by anthropometry. On the other hand, the WHO and SEEDO establish a BMI associated with growth standards, according to weight or height; but this does not determine the proportion of these four components, so that adolescents with reasonable weights for their height may have excess fat. An anthropometric study was carried out in the population of the IES Fidiana to determine their predisposition to obesity and to evaluate complementary and/or preventive measures adjusted to the existing reality in the IES. In addition, the effect of the factors age, sex and physical activity was studied. At all levels, the IMC presented normal values. However, as a result of the anthropometric study, a fat mass much higher than the reference value of 14.3% was observed. On the other hand, muscle mass was higher than the expected value and residual mass was below the theoretical value. Boys had more bone and muscle mass than girls and these differences became more pronounced with increasing age. No effect was found with respect to physical activity. In 1st and 2nd ESO we found a low average weight and the most irregular distribution in the anthropometric components, highlighting a worrying patent increase in fat mass and a slight increase in bone and muscle mass.

Keywords: obesity, anthropometry, IMC, bone mass, residual mass, muscle mass, fat mass.



1. INTRODUCCIÓN

Los componentes fundamentales del cuerpo humano incluyen músculos, huesos y grasa, junto con la masa residual. Las tablas convencionales de peso, altura e IMC (índice de masa corporal) no indican la proporción de estos componentes, lo que impide distinguir entre un exceso de peso debido a una masa muscular desarrollada o un exceso de tejido adiposo debido a malos hábitos alimenticios. La acumulación excesiva de grasa resulta en la obesidad, un creciente problema de salud global (Seger et al., 2013). En España, la obesidad y el sobrepeso afectaban al 26% y 12,6% de los adolescentes de 8 a 17 años en 2012 (Sánchez-Cruz et al., 2013). Es crucial evaluar el riesgo de obesidad en la población adolescente de 12 a 18 años.

La antropometría, al analizar la masa ósea, muscular, grasa y residual, es esencial para entender cómo variables como edad, sexo y actividad física afectan a la composición corporal. Con este conocimiento en el IES Fidiana, se pueden establecer estrategias para prevenir la obesidad y promover hábitos saludables adaptados a la realidad del centro.

2. OBJETIVOS

Esta investigación tiene como objetivos caracterizar las variables antropométricas en la población del IES Fidiana, examinar la relación entre IMC, edad, sexo y actividad deportiva respecto a factores como masa ósea, muscular, grasa y residual en adolescentes de 12 a 18 años. Además, busca evaluar el riesgo de obesidad en estos estudiantes.

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

La obesidad, una acumulación anormal de grasa, conlleva riesgos para la salud más allá del aspecto. Aumenta el riesgo de enfermedades cardiovasculares, diabetes y cáncer (Daniels et al., 2009). En la infancia, el crecimiento rápido puede triplicar las células de grasa, lo que es preocupante. Además, hay estudios que indican una conexión entre obesidad y depresión. Las personas con sobrepeso tienen un 50% más de riesgo de sufrir depresión, y viceversa. En jóvenes con obesidad severa, se observan más problemas psicológicos; un 12% presenta ansiedad y un 11% depresión (Calderón et al., 2010).

El tejido adiposo, presente en mamíferos, almacena lípidos como reserva de energía y actúa como aislante térmico. También protege y amortigua estructuras internas y externas, siendo una barrera defensiva ante daños físicos. Sus células, los adipocitos, almacenan grandes gotas de grasa con el doble de energía que los azúcares, proporcionando energía a otros tejidos o generando calor.

Entre los métodos que existen para medir la composición corporal se encuentra la antropometría, técnica utilizada en este estudio. La antropometría utili-



za medidas como altura, peso, circunferencias corporales y pliegues de la piel para estimar masa muscular (tejido muscular total), masa grasa (lípidos en el cuerpo), masa ósea (tejido óseo) y masa residual (otros tejidos corporales). La estimación de estas masas se basó en la determinación de pliegues específicos y diámetros, como se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1

Principales pliegues y diámetros antropométricos



4. MATERIALES Y MÉTODOS

En este proyecto, se examinaron variables como masa muscular, masa ósea, masa residual, masa grasa, IMC, peso y altura. Las variables independientes incluyeron sexo, nivel educativo-edad y horas de actividad física. El estudio se llevó a cabo durante 3 meses, desde febrero hasta abril de 2022.

Material experimental. Se emplearon herramientas como un *calibre* para medir la masa ósea a partir del diámetro del fémur y de las muñecas, un *pliómetro* para evaluar la grasa en pliegues específicos de la piel, como tríceps, subescapular, suprailiaco y abdominal, y una *báscula* para determinar el peso de cada individuo.

Diseño experimental. Para asegurar una muestra representativa, realizamos un análisis previo para determinar el tamaño adecuado. Con 700 alumnos/as en nuestro instituto, seleccionamos una muestra de 180 alumnos para mantener un margen de error del 5% y un margen de confianza del 95%. Aleatoriamente, elegimos 5 chicos y 5 chicas de cada curso y les realizamos un cuestionario sobre su actividad física y posibles enfermedades graves o crónicas. Además, se registraron medidas de peso, estatura y se midieron los diferentes tipos de pliegues específicos. Estos datos se introdujeron en una base de datos en Excel, desde la cual se calcularon las variables del estudio:

- **Índice de masa corporal (IMC).** Se calculó con la fórmula: $IMC = \text{Masa (Kg)} / \text{Altura}^2 (\text{m}^2)$.

- **Masa grasa.** Se determinó usando la fórmula $\% MG = (\sum 4 \text{ pliegues (mm)} \times 0,153) + 5,783$. Aparte se anotó el peso corporal en kg. Por tanto: **Peso Graso (kg) = % MG x peso de la persona (kg) / 100.**

- **Masa ósea.** Se calculó en base al diámetro biepicondilar del fémur, el diámetro biestiloideo de las muñecas y la altura con la fórmula: $\text{Peso óseo} = 3,02 \times [400 \times \text{talla (m)}^2 \times \varnothing \text{ biepicondilar (m)} \times \varnothing \text{ biestiloideo (m)}]^{0,712}$
- **Masa residual.** Se utilizaron las fórmulas: Peso corporal total en Kilos (kg); Peso Residual (chicas) = 0,209 x peso (kg) y Peso Residual (chicos) = 0,241 x peso (kg).
- **Masa muscular:** Una vez conocidos los valores anteriores (en kg), se obtuvo con la fórmula: $\text{Peso Muscular (Kg)} = \text{Peso total} - (\text{Peso Graso} + \text{Peso Óseo} + \text{Peso Residual})$.

Tratamiento estadístico de los datos. Los datos se ingresaron en una matriz y se analizaron con el Software R, versión 3.6.1., utilizando Rstudio Versión 1.4.1717. Se representó la evolución del IMC, masa grasa, masa ósea, masa muscular y masa residual según nivel educativo, sexo y actividad física mediante ggplot. Para los gráficos de cajas y bigotes (boxplots), se empleó la función ggboxplot. El análisis de la varianza y la comparación de medias se efectuó con el estadístico Tukey, tras verificar la normalidad de los datos y la igualdad de varianzas entre grupos.

5. RESULTADOS

5.1. PERFIL ANTROPOMÉTRICO DE LOS ESTUDIANTES DEL IES FIDIANA

Niveles	Peso (Kg)	% Masa ósea	% Masa grasa	% Masa muscular	% Masa residual
1º ESO	49,87	16,8	27,2	47,4	22,0
2º ESO	58,84	17,1	24,5	46,0	22,0
3º ESO	66,53	15,4	21,9	46,9	22,6
4º ESO	66,17	15,1	20,5	48,8	22,4
1º Bachillerato	63,47	15,9	22,1	47,3	22,3
2º Bachillerato	65,17	15,3	22,2	47,7	22,3

Los modelos teóricos de perfil antropométrico para un adolescente de 70 Kg estiman: 10 kg de tejido adiposo (14,3 % masa grasa), 31 Kg de músculo (44,3% masa muscular), 10,5 g de hueso (15% masa ósea) y 18,5 Kg de otros tejidos (26,4 % masa residual). En la Tabla 2, los porcentajes de masa grasa en todos los niveles de enseñanza (22 al 27 %) superan el 14,3 % de referencia, indicando acumulación de tejido adiposo en la población estudiada. En 1º ESO y 2º ESO, los valores máximos (27,2 % y 24,5 %) señalan mayor riesgo de obesidad en el alumnado más joven.

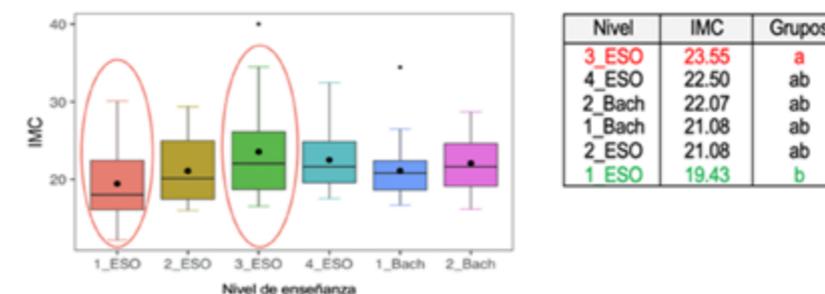
En la masa ósea (Tabla 2), en todos los niveles los porcentajes están ligeramente por encima del 15 % de referencia. En 1º ESO y 2º ESO, los valores (16,8% y

17,1%) son más altos. La masa muscular, en todos los niveles, supera el 44,3 % de referencia. En todas las franjas de edad, los porcentajes de masa ósea, muscular y grasa muestran un sesgo, lo que concuerda con una masa residual inferior al 26,4 % esperado (Tabla 2).

5.2. ANÁLISIS DEL IMC

Gráfica 1

Izquierda, Boxplot con valores medios de IMC en función del nivel de enseñanza. Derecha, Análisis de la varianza y comparación de medias por nivel de enseñanza.



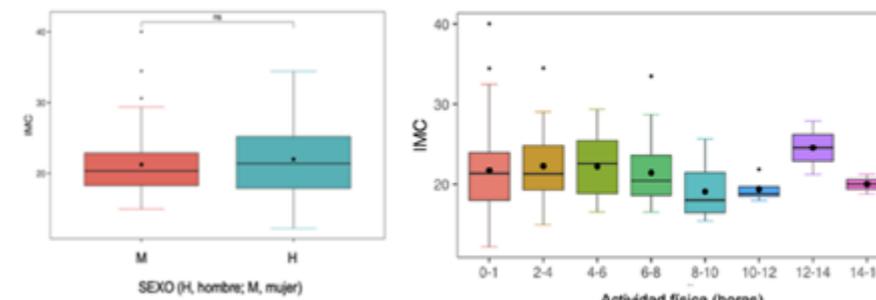
El IMC aumenta hasta 3º ESO y luego disminuye ligeramente. Los niveles de 3º ESO y 1º ESO (Gráfica 1) muestran un IMC significativamente diferente, pero se mantienen dentro de los valores de normopeso de 18,6 a 24,9 Kg/m² establecidos por la OMS en 2004 (WHO Expert Consultation, 2004) y la SEEDO en 2007 (Rubio *et al.*, 2007). En 1º ESO, el IMC está por debajo de lo normal, mientras que en 3º ESO está por encima. Esto sugiere una posible distribución irregular de los componentes antropométricos en 1º ESO. Por otro lado, en la población del centro, la prevalencia de sobrepeso grado 1 es del 17 % y de Obesidad tipo 1 es del 4 %.

Gráfica 1

IMC en función del sexo.

Gráfica 1

IMC en función de la actividad física

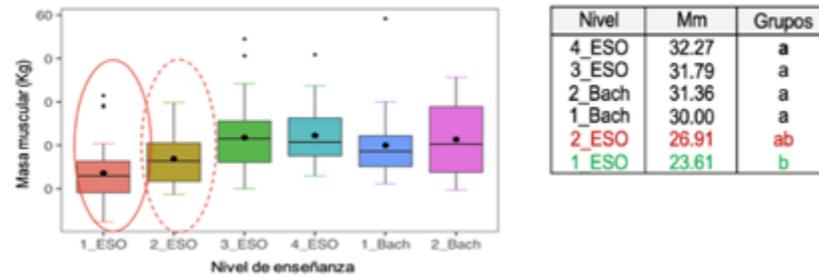


Las diferencias entre sexos y horas de actividad física no parecen influir en el IMC según las Gráficas 2 y 3, ya que no se encontraron diferencias significativas en el análisis estadístico.

5.3.- ANÁLISIS DE LA MASA MUSCULAR

Gráfica 4

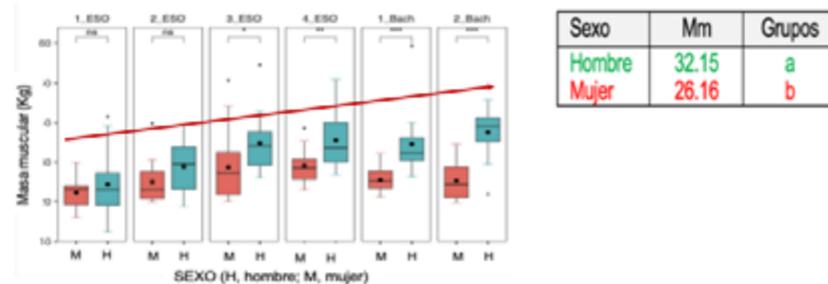
Izquierda, Boxplot con valores medios de Masa muscular (Mm) en función del nivel de enseñanza. Derecha, Análisis de la varianza y comparación de medias.



En todos los niveles, la masa muscular se aproxima al valor normal (31g), excepto en 1º ESO y 2º ESO, donde es inferior y diferente significativamente (Gráfica 4). En 3º ESO, 4º ESO, 1º Bachillerato y 2º Bachillerato, la masa muscular está por encima del valor de referencia esperado del 44,3% (Tabla 2), lo que indica un desarrollo muscular mayor de lo esperado en relación con los otros componentes antropométricos y una distribución irregular de los cuatro componentes antropométricos.

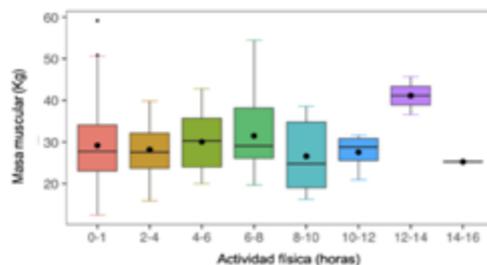
Gráfica 5

Izquierda, Boxplot con valores medios de Masa muscular (Mm) en función del sexo. Derecha, Análisis de la varianza y comparación de medias.



Gráfica 6

Masa muscular en función de la actividad física.

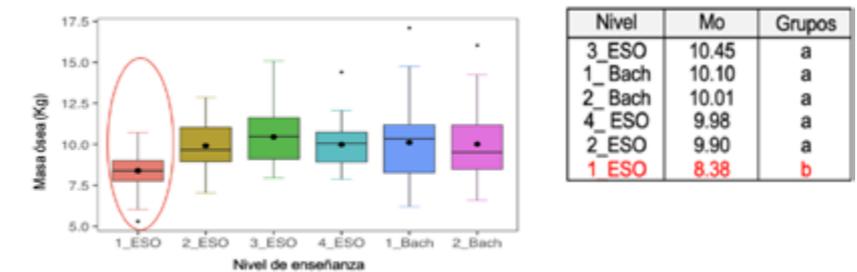


En cuanto a la diferencia por sexos (Gráfica 5), se observa un incremento progresivo y significativo en la masa muscular de los chicos en niveles superiores, siendo notablemente mayor en 2º Bachillerato. Las horas de deporte no parecen afectar significativamente la masa muscular (Gráfica 6). Esto podría deberse a la baja práctica de actividad física, ya que solo el 58% realiza actividad extra-curricular, dedicando un promedio 2,5 horas semanales.

5.4. ANÁLISIS DE LA MASA ÓSEA

Gráfica 7

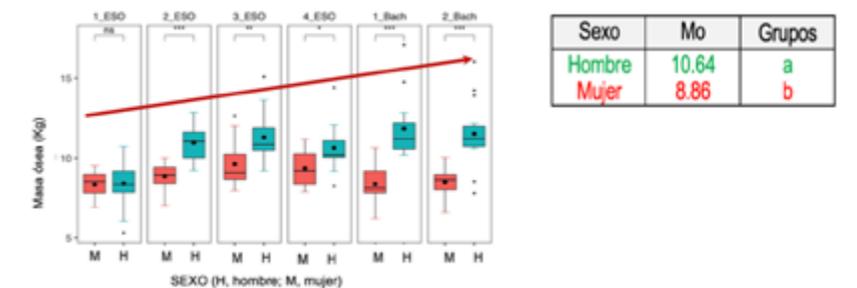
Izquierda, Boxplot con valores medios de Masa ósea (Mo) en función del nivel de enseñanza. Derecha, Análisis de la varianza y comparación de medias.



El primer año de la ESO (Gráfica 7) tiene menor masa ósea, correlacionada con el bajo peso promedio de 49,87 kg (Tabla 2) y un porcentaje de peso óseo del 16,8 %, superior al valor medio de referencia del 15 %. En 2º ESO, aunque el porcentaje de masa ósea es similar al de 1º ESO, el peso es mayor, 58,84 kg (Tabla 2), lo que podría explicar la falta de diferencias significativas respecto al resto de niveles.

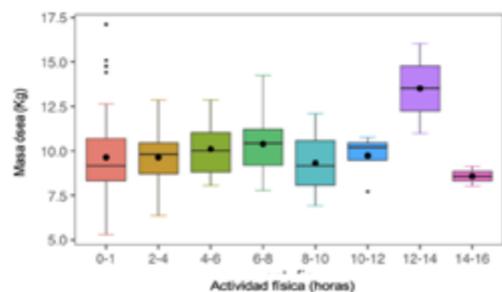
Gráfica 8

Izquierda, Boxplot con valores medios de Masa ósea (Mo) en función del sexo. Derecha, Análisis de la varianza y comparación de medias.



Gráfica 9

Masa ósea en función de la actividad física.

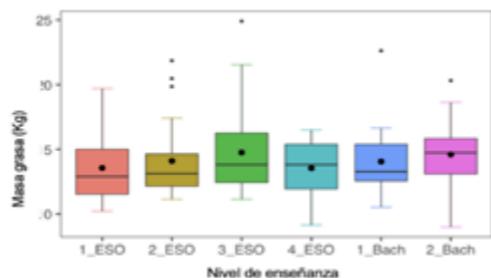


A medida que avanzamos en los niveles, la diferencia entre chicos y chicas aumenta significativamente (Gráfica 8), siendo más notable en bachillerato, donde la media de masa ósea de los chicos es considerablemente superior. Por último, al igual que otros aspectos antropométricos, la actividad física no parece afectar a la masa ósea (Gráfica 9).

5.5. ANÁLISIS DE LA MASA GRASA

Gráfica 10

Izquierda, Boxplot con valores medios de Masa grasa (Mg) en función del nivel de enseñanza. Derecha, Análisis de la varianza y comparación de medias.



Nivel	Mg	Grupos
3_ESO	14.75	a
2_Bach	14.59	a
2_ESO	14.10	a
1_Bach	14.05	a
1_ESO	13.56	a
4_ESO	13.54	a

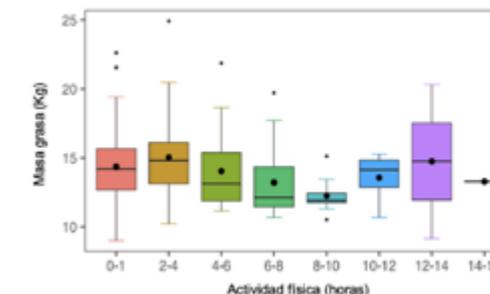
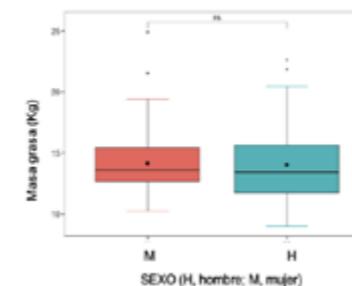
Los diferentes niveles educativos no muestran diferencias significativas (Gráfica 10). Sin embargo, el porcentaje medio de masa grasa en todos los niveles está entre 20,5% y 27,4%, superando el 14,3% de referencia en modelos antropométricos (Tabla 2). Este aumento es preocupante y puede llevar a problemas de obesidad en el futuro. Por otro lado, la Gráfica 1 sugiere valores bajos de IMC solo en 1º ESO, aunque dentro del rango de normopeso. Además, la prevalencia de sobrepeso en el IES Fidiana es del 17% y la de obesidad tipo 1 es del 4%. Todos estos datos subrayan que la antropometría es de gran importancia para detectar riesgos de obesidad. Hacer estos estudios en la población adolescente ayuda a prevenir la obesidad, minimizar sus riesgos y la vulnerabilidad de la población joven.

Gráfica 11

Masa grasa en función del sexo.

Gráfica 12

Masa grasa en función de la actividad física.

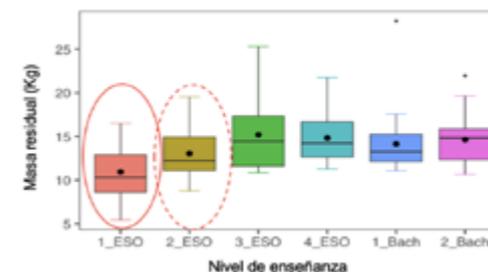


La masa grasa no difiere entre sexos ni se ve afectada por el ejercicio (Gráficas 11 y 12).

5.6. ANÁLISIS DE LA MASA RESIDUAL

Gráfica 13

Izquierda, Boxplot con valores medios de Masa residual (Mr) en función del nivel de enseñanza. Derecha, Análisis de la varianza y comparación de medias.



Nivel	Mr	Grupos
3_ESO	15.20	a
4_ESO	14.83	a
2_Bach	14.62	a
1_Bach	14.14	a
2_ESO	13.04	ab
1_ESO	10.94	b

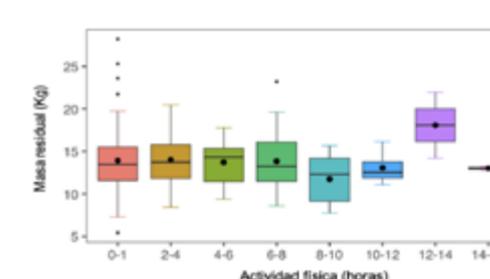
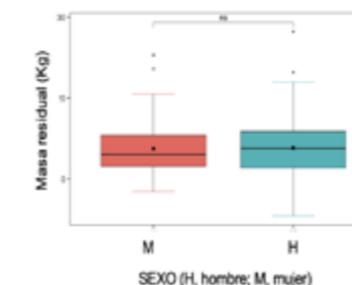
En las edades de 12 a 14 años (1º y 2º de ESO), el peso residual difiere significativamente (Gráfica 13). Sin embargo, en todos los niveles, el porcentaje está alrededor del 22%, inferior al 26,4% esperado, posiblemente debido a un exceso de masa ósea, grasa y muscular (Tabla 2). Destaca el incremento significativo del tejido graso (rango de 20,5% a 27,2%), más del doble de lo esperado (14,3%) (Tabla 2).

Gráfica 14

Masa residual en función sexo.

Gráfica 15

Masa residual en función de la actividad física.





Ni la actividad física ni el sexo tienen impacto significativo en la masa residual (Gráficas 14 y 15).

6. DISCUSIÓN

El estudio de Sánchez-Cruz et al. en 2013 reveló un 26% de sobrepeso y 12,6% de obesidad en jóvenes españoles. González et al. en 2012 reportaron un 22,3% de sobrepeso y 9,12% de obesidad en escolares de Granada. Ambos estudios presentan discrepancias frente a nuestro estudio que muestra una prevalencia menor (17% sobrepeso grado 1 y 4% Obesidad tipo 1). Además, González et al. encontraron diferencias respecto al IMC en edades, pero no en sexos, a diferencia de nuestros hallazgos donde el IMC se mantuvo dentro de lo normal, salvo ligeras desviaciones en 1º ESO (inferior) y 3º ESO (superior).

Godoy-Cumillaf et al. (2015) identificaron un IMC normal en adolescentes deportistas, un 33,6% de masa adiposa y 39,6% de masa muscular, mostrando elevada masa adiposa a pesar del entrenamiento. Nuestro estudio revela también una masa adiposa excesiva para un IMC normal, quizás debido a la baja actividad física extracurricular (2,5 horas/semana) realizada por los estudiantes del IES Fidiana. Esto coincide con la necesidad de considerar hábitos alimenticios, entrenamiento y disciplina deportiva para abordar la obesidad juvenil, como señalan ambos estudios con respecto al aumento de masa grasa no detectado por el IMC y corroboran la necesidad de implementar estudio antropométrico para prevenir la obesidad juvenil.

7. CONCLUSIONES

La condición física promedio del IES Fidiana está dentro de los rangos normales según la OMS y SEEDO. Sin embargo, se detectó un exceso de grasa corporal en todos los grupos de edad (entre 12 y 18 años), superando ampliamente el 14,3% esperado. Esta tendencia sugiere una probable predisposición futura al sobrepeso y problemas de obesidad en adolescentes.

El análisis antropométrico es fundamental para evaluar el riesgo de obesidad y tomar medidas preventivas desde etapas tempranas. En 1º y 2º ESO, la masa ósea es alta, probablemente debido al bajo peso promedio. La masa muscular es mayor de lo esperado en la población del IES Fidiana.

En todos los cursos, la masa residual está por debajo de los valores teóricos, influenciada por los sesgos, en los porcentajes de masa ósea, muscular y grasa. Los niveles 1º y 2º ESO muestran distribuciones irregulares en su composición corporal, con un notable aumento en masa grasa y ligero incremento en la masa ósea y muscular.

Se observan diferencias significativas entre hombres y mujeres en la masa ósea y muscular, siendo mayores conforme avanza la edad. Sorprendentemente, las



horas de actividad física no tienen un efecto significativo en el IMC, masa muscular, ósea, grasa ni residual del alumnado del IES Fidiana.

8. AGRADECIMIENTOS

Proyecto de Innovación Educativa y Desarrollo Curricular FIDICIENCIA 2.0 (PIN 055/22). Consejería de Desarrollo Educativo y Formación Profesional. Junta de Andalucía.

9. BIBLIOGRAFÍA

- Calderón, C., Forns, M.^a, & Varea, V. (2010). "Implicación de la ansiedad y la depresión en los trastornos de alimentación de jóvenes con obesidad". *Nutrición Hospitalaria*, 25(4), pp 641-647.
- Daniels SR, et al. (2009). "American Heart Association Childhood Obesity Research Summit Report". *Circulation*, 19(15), pp e489-e517.
- Godoy-Cumillaf, A.E.R., et al. (2015). "Características Antropométricas de Adolescentes Pertenecientes a Distintas Escuelas Deportivas Formativas". *International Journal of Morphology*, 33(3), pp 1065-1070.
- González Jiménez E., et al. (2012). "Estudio antropométrico y valoración del estado nutricional de una población de escolares de Granada; comparación con los estándares nacionales e internacionales de referencia". *Nutrición Hospitalaria*, 27(4), pp 1106-1113.
- Rubio M, et al. (2007). "Consenso SEEDO 2007 para la evaluación del sobrepeso y la obesidad y el establecimiento de criterios de intervención terapéutica". *Rev Esp Obes*, 5(3), pp 135-175.
- Sánchez-Cruz, J.J., et al. (2013). "Prevalencia de obesidad infantil y juvenil en España en 2012". *Revista Española de Cardiología*, 66(5), pp 371-376.
- Seger J.C, et al. (2013) "Obesity Algorithm". *American Society of Bariatric Physicians website: American Society of Bariatric Physicians*.
- WHO Expert Consultation (2004). "Appropriate body-mass index for Asian populations and its implications for policy and intervention strategies". *Lancet*, 363 (9403), pp 157-163.



Asociación de la dispepsia con el estrés, la ansiedad y la depresión

/ ACCÉSIT

AUTORA | RAWAN DAHMAN ABARRICHE

COORDINADORA | ÁFRICA ORTEGA PÉREZ

CENTRO | IES PROFESOR ÁNGEL YSERN

CIUDAD | NAVALCARNERO-MADRID

RESUMEN |

La dispepsia es un trastorno funcional con una alta prevalencia mundial considerada de naturaleza multifactorial. Varios estudios relacionan esta patología con la presencia de depresión, ansiedad y estrés. Por ello, el objetivo general de este trabajo es estudiar la posible relación entre estos trastornos psicosociales con la dispepsia, dentro del cual tenemos como objetivos específicos determinar la prevalencia de dispepsia, estrés, ansiedad y depresión en distintos grupos de población según edad y sexo, además de realizar un estudio cualitativo de los síntomas presentes en la dispepsia, por lo que el diseño de la investigación fue correlacional-descriptivo. Para este estudio, se realizó una encuesta de elaboración propia a partir de otras encuestas validadas, siendo éstas la *Escala DASS-21* y *A New Questionnaire for the Diagnosis of Dyspepsia*. En cuanto a los participantes (N=414), éstos han sido agrupados por distintos grupos según edad y sexo y fueron residentes de la zona suroeste de Madrid.

Los resultados indican que la dispepsia se asocia al sexo femenino ($p=0.000$), pero a la edad no ($p=0.471$). Por otro lado, los síntomas más comunes en la población fueron la pesadez postprandial (68.4%) y la saciedad precoz (57.7%). Además, se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre depresivos, ansiosos y estresados por sexo ($p<0.001$) y por edad ($p<0.001$). Por último, se han encontrado asociaciones entre la dispepsia y los trastornos psicológicos ($p=0.000$).

Con ello, alcanzamos la conclusión de que la dispepsia está asociada al estrés, ansiedad y depresión, y a su vez está condicionada por el sexo, pero no por la edad.

Palabras clave: ansiedad, depresión, dispepsia, estrés, prevalencia.



ABSTRACT |

Dyspepsia is a functional disorder with a high worldwide prevalence considered multifactorial in nature. Several studies relate this pathology with the presence of depression, anxiety and stress. Therefore, the general objective of this project is to study the possible relationship between these psychosocial disorders with dyspepsia. Within this study, we have as specific objectives to determine the prevalence of dyspepsia, stress, anxiety and depression in different population groups according to age and gender. In addition, we conducted a qualitative study of the symptoms present in dyspepsia. Therefore, the research design was correlational-descriptive. For this study, a survey of our own elaboration based on other validated surveys, these being the *DASS-21 Scale* and *A New Questionnaire for the Diagnosis of Dyspepsia*, was carried out. As for the participants (N=414), they have been grouped in different groups according to age and gender and all of them were residents of the southwest area of Madrid.

The results indicate that dyspepsia is associated with female gender ($p=0.000$), but not at age ($p=0.471$). On the other hand, the most common symptoms among the population were postprandial heaviness (68.4%) and early satiety (57.7%). In addition, statistically significant differences by gender ($p<0.001$) and age ($p<0.001$) were found between people suffering from depression, anxiety and stress. Finally, associations have been found between dyspepsia and psychological disorders studied ($p=0.000$).

Taking all this into account, we conclude that dyspepsia is conditioned by gender, but not by age, and that depression, anxiety and stress are linked to its presence.

Keywords: anxiety, depression, dyspepsia, stress, prevalence.



1. INTRODUCCIÓN

La dispepsia es un conjunto de síntomas atribuidos al tracto gastrointestinal superior pudiendo ser principalmente dolor o ardor epigástrico, distensión abdominal, saciedad precoz, pesadez postprandial¹, eructos, náuseas o vómitos. Se han propuesto criterios basados en la sintomatología para estandarizar su diagnóstico, siendo éstos los criterios de Roma IV, los cuales sugieren que los síntomas han de estar presentes durante los últimos tres meses y que la aparición de los síntomas se haya dado al menos seis meses antes del diagnóstico. Dentro de ésta destacan tres tipos, la dispepsia orgánica o secundaria, la dispepsia funcional y la dispepsia no investigada (Lúquez, Otero y Schmulson, 2019)

A nivel mundial, la dispepsia puede comprender hasta el 40% de todas las patologías gastrointestinales, siendo ésta preocupante porque entre un 20-30% de la población general afirma haber sufrido síntomas dispépticos en los últimos 6 meses, considerándose así una enfermedad de gran impacto social, económico y sanitario (Aguise, 2019)

Por otro lado, actualmente la dispepsia es considerada una enfermedad de etiología multifactorial que genera un impacto en la calidad de vida de gran parte de la población. Varias investigaciones (Aguise, 2019; Canales y Carhuarica, 2019; Condori, 2021; Jiménez, 2020; Martínez y Desuque, 2019; Mejía et al., 2016; Veliz, 2019) sugieren como factores de riesgo de la dispepsia el sexo femenino, el consumo de sustancias tóxicas como la cafeína, el tabaco, el alcohol y medicamentos como AINES, además de factores psicosociales como el estrés, la ansiedad y la depresión. En este contexto, evaluar los niveles de ansiedad, estrés y depresión, pueden dar impulso a la instauración de estrategias preventivas encaminadas a tener una mejor salud mental y con ello, reducir la prevalencia de dispepsia.

En los últimos tiempos, la incidencia de problemas gastrointestinales está aumentando debido, muy probablemente, al estilo de vida incorrecto presente en gran parte de la población. El estrés, la ansiedad y la depresión que sufrimos puede estar relacionado en muchos de los casos con una mayor incidencia de problemas gastrointestinales. Todo ello, fue el punto de partida de este trabajo de investigación cuya finalidad fue determinar la presencia de dispepsia en la población del suroeste de la Comunidad de Madrid discriminando por sexo y edades. Al mismo tiempo, pretende determinar sus causas con la esperanza de poder establecer medidas, tales como diferentes hábitos y recomendaciones útiles, que eviten el desarrollo y la progresión de la enfermedad dispéptica, mejorando de este modo la calidad de vida de la población.

¹ Postprandial: posterior a las comidas



2. METODOLOGÍA

2.1. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

1. ¿Está asociada la dispepsia a la ansiedad, el estrés y la depresión que sufre gran parte de la población?
2. ¿Las mujeres adultas sufren más este tipo de molestias gástricas o no guardan relación con el sexo y la edad?

2.2. HIPÓTESIS

La dispepsia está asociada a la presencia de estrés, ansiedad y depresión. Además, está condicionada por la edad y el sexo, siendo más abundante en las mujeres adultas.

2.3. OBJETIVOS

- 1º. Determinar los síntomas más comunes en las personas que padecen dispepsia y los menos habituales.
- 2º. Analizar la prevalencia de dispepsia en distintos grupos de población según edad y sexo y con ello, averiguar el grupo de población más vulnerable.
- 3º. Estudiar la frecuencia con la que aparecen la ansiedad, el estrés y la depresión en distintos grupos de población según la edad y el sexo y con ello, averiguar el grupo de población más susceptible a padecer dichos trastornos.
- 4º. Hallar el grado de asociación de la dispepsia con el estrés, la ansiedad y la depresión.

2.4. MATERIALES Y MÉTODOS

En este estudio han participado 414 personas, de los cuales fueron alumnos de ESO y Bachillerato y profesores del IES Profesor Angel Ysern, así como otros adultos residentes en el suroeste de la Comunidad de Madrid (N=207). La encuesta realizada por dichos participantes ha sido elaborada a partir de otras validadas, siendo éstas la *Escala DASS-21* y *A New Questionnaire for the Diagnosis of Dyspepsia*. Por último, para estudiar la correlación entre las variables de este estudio, se han empleado las pruebas H de Kruskal Wallis, la U de Mann Whitney y la Chi-cuadrado del programa estadístico PSPP. Para ello, se han considerado como estadísticamente significativo los valores $p < 0,05$.



3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. OBJETIVO 1: SÍNTOMAS PRESENTES EN LA DISPEPSIA

Tabla 1

Prevalencia de los síntomas dispépticos

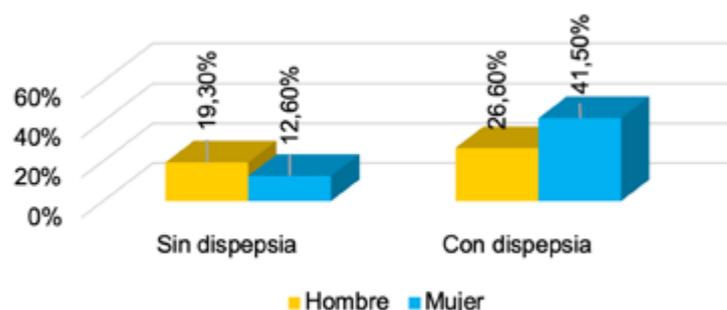
SÍNTOMAS DE DISPEPSIA	PREVALENCIA
Pesadez postprandial	68.40%
Saciedad precoz	57.70%
Vinagreras	55.10%
Náuseas	48.10%
Eructos	46.00%
Dolor o ardor epigástrico	41.50%
Vómitos	26.10%

En la Tabla 1 se muestran en orden decreciente la prevalencia de los síntomas más comunes en la dispepsia, obteniendo así que los más comunes en la son la pesadez postprandial y saciedad precoz, mientras que los menos habituales son los vómitos. Esto concuerda con los estudios de la Asociación de la dispepsia según depresión, ansiedad y estrés en estudiantes de medicina de la altura realizado por Condori (2021) y Asociación de la dispepsia funcional con el estrés y hábitos alimentarios en estudiantes de medicina humana de Veliz (2019) ya que concluyeron que el síntoma más presente era la saciedad precoz y los vómitos los menos frecuentes.

3.2. OBJETIVO 2: PREVALENCIA DE LA DISPEPSIA EN DISTINTOS GRUPOS DE POBLACIÓN SEGÚN EDAD Y SEXO

Figura 1

Prevalencia de la dispepsia en función del sexo



Fuente. Elaboración propia

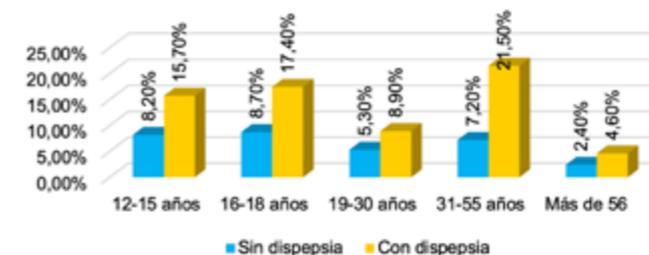
En la Figura 1 viene representada la prevalencia de la dispepsia en función del sexo, en la cual las mujeres dispépticas muestran una predominancia con aproximadamente un 40.00% del total a diferencia de los hombres que padecen dispepsia en un 26.60%. Estas diferencias resultaron ser estadísticamente sig-



nificativas dado que el valor p fue 0.000 y, por tanto, se puede ver que el sexo femenino tiene una mayor tendencia al padecimiento de la dispepsia. Además, esto se ha visto constantemente en poblaciones de todo tipo (Aquise, 2019; Condori, 2021; Martínez y Desuque, 2019), por lo que se concluye que el sexo femenino es un factor de riesgo de la dispepsia.

Figura 2

Prevalencia de la dispepsia en función de la edad



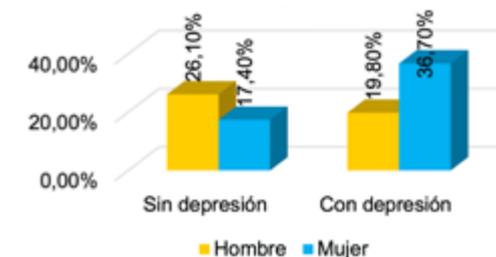
Fuente. Elaboración propia

Por su parte, en la Figura 2 se muestra la prevalencia de la dispepsia según la edad, pudiendo observar que los jóvenes de 16-18 años presentan dispepsia en un 17.40% y los adultos de 31-35 años constan de un porcentaje similar de dispépticos, abarcando así el 21.50% del total. De esta forma, el valor p fue de 0.449, siendo así no estadísticamente significativo ya que entre adultos y adolescentes no se da una gran diferencia de dispépticos, por lo que la dispepsia no parece estar condicionada por la edad. Esto se asemeja al estudio *Relación de dispepsia funcional con síntomas de depresión, ansiedad y estrés en estudiantes de Medicina de una universidad privada de Entre Ríos* realizado por Martínez y Desuque (2019) dado que reportaron que la mayor prevalencia de dispepsia fue observada en los mayores de 30 años (30.00%) y la menor en los de 21-25 años (24.60%) y cuyas diferencias no resultaron ser estadísticamente significativas ($p > 0.05$).

3.3. OBJETIVO 3: FRECUENCIA DE LA ANSIEDAD, ESTRÉS Y DEPRESIÓN EN DISTINTOS GRUPOS DE POBLACIÓN SEGÚN EDAD Y SEXO

Figura 3

Prevalencia de la depresión en función del sexo

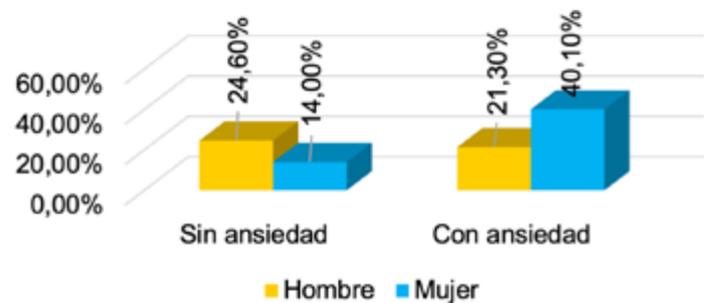


Fuente. Elaboración propia

En la Figura 3 se puede apreciar cómo hay más mujeres con depresión (36.70%) que hombres con depresión (19.80%). De esta forma, esta diferencia resultó ser estadísticamente significativa dado que el valor p fue de 0.000, por lo tanto, la depresión se ve condicionada por el sexo.

Figura 4

Prevalencia de la ansiedad en función del sexo

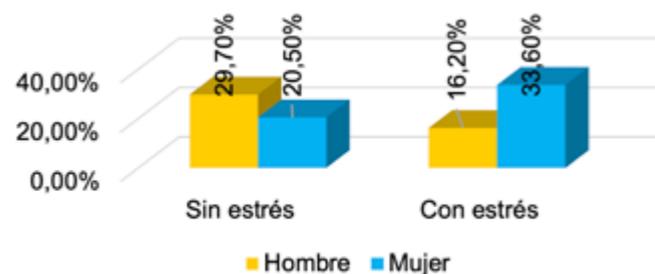


Fuente. Elaboración propia

En la Figura 1 viene representada la prevalencia de la dispepsia en función del sexo, en la cual las mujeres dispépticas muestran una predominancia con aproximadamente un 40.00% del total a diferencia de los hombres que padecen dispepsia en un 26.60%. Estas diferencias resultaron ser estadísticamente significativas dado que el valor p fue 0.000 y, por tanto, se puede ver que el sexo femenino tiene una mayor tendencia al padecimiento de la dispepsia. Además, esto se ha visto constantemente en poblaciones de todo tipo (Aguise, 2019; Condori, 2021; Martínez y Desuque, 2019), por lo que se concluye que el sexo femenino es un factor de riesgo de la dispepsia.

Figura 5

Prevalencia del estrés en función del sexo

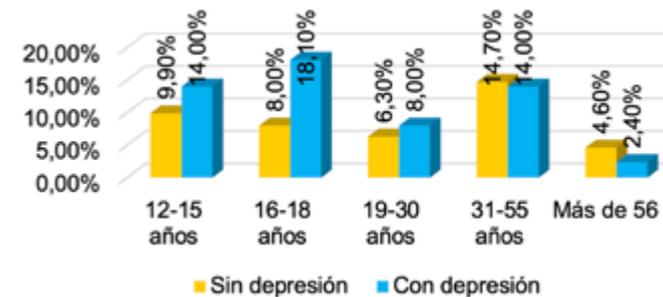


Fuente. Elaboración propia

Por otro lado, en la Figura 5 se vuelven a ver aspectos similares a los gráficos anteriores dado que hay un mayor porcentaje de mujeres que sufren estrés (33.60%) que de hombres (16.20%). De esta forma, el valor p fue de 0.000, por lo que las diferencias encontradas resultaron ser estadísticamente significativo y por lo tanto, el estrés se ve condicionado por el sexo.

Figura 6

Prevalencia de la depresión en función de la edad



Fuente. Elaboración propia

A su vez, como se puede observar en la Figura 6, el grupo de población con mayor prevalencia de depresión es el de 16-18 años (18.10%), mientras que el rango de edad con mayor prevalencia de personas sin depresión es la de adultos de 31-55 años (14.70%). De esta forma, estas diferencias resultaron ser estadísticamente significativas ya que el valor p fue de 0.000, por lo que la depresión se ve condicionada por la edad.

Figura 7

Prevalencia de la ansiedad en función de la edad

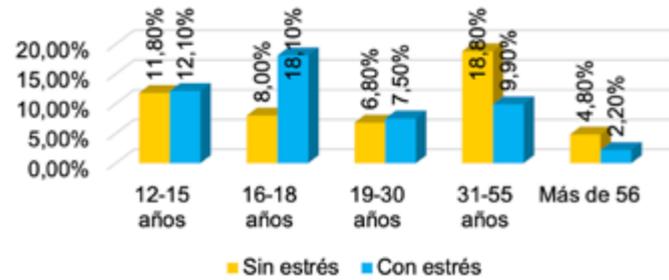


Fuente. Elaboración propia

Además, tal y como se refleja en la Figura 7, el grupo de población con mayor prevalencia de ansiedad es el de 16-18 años (18.80%), mientras que el rango de edad con mayor prevalencia de personas sin ansiedad es la de adultos de 31-55 años (14.00%). Estas diferencias resultaron ser estadísticamente significativas ya que el valor p=0.000 y, por lo tanto, la ansiedad está condicionada por la edad.

Figura 8

Prevalencia del estrés en función de la edad



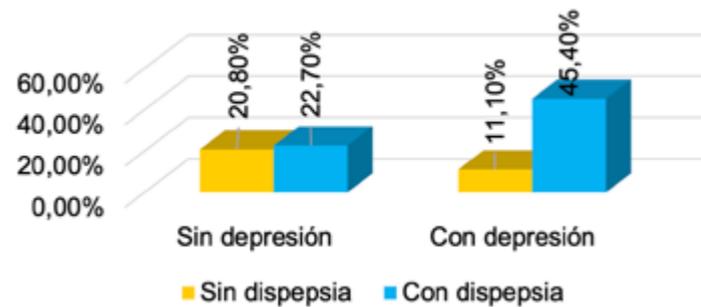
Fuente. Elaboración propia

Así mismo, la Figura 8 muestra la prevalencia del estrés en función de la edad, pudiendo ver que el grupo de población con mayor prevalencia del estrés es el de 16-18 años (18.10%), mientras que el rango de edad con mayor prevalencia de personas sin estrés es la de adultos de 31-55 años (18.80%). De esta manera, el valor p fue de 0.000, siendo así estadísticamente significativo y, por lo tanto, el estrés se ve condicionado por la edad.

3.4. OBJETIVO 4: RELACIÓN ENTRE LA DISPEPSIA Y LA DEPRESIÓN, LA ANSIEDAD Y EL ESTRÉS

Figura 9

Relación entre la dispepsia y la depresión

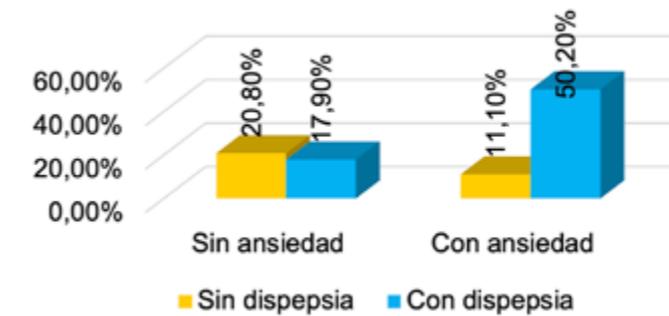


Fuente. Elaboración propia

Como se puede observar en la Figura 9, hay una diferencia notable entre los depresivos sin dispepsia (11.10%) y los depresivos con dispepsia (45.40%). De esta forma, el valor p fue de 0.000, siendo así estadísticamente significativo y, por lo tanto, la dispepsia y la depresión están asociadas entre sí. Todo ello concuerda con varios estudios realizados por Canales y Carhuaricra, 2019; Condori, 2021; Martínez y Desuque, 2019; Mejía et al., 2016; en los cuales el análisis bivariado muestra que la dispepsia se da con mayor frecuencia al sufrir depresión ya que el valor p fue <0.001.

Figura 10

Relación entre la dispepsia y la ansiedad

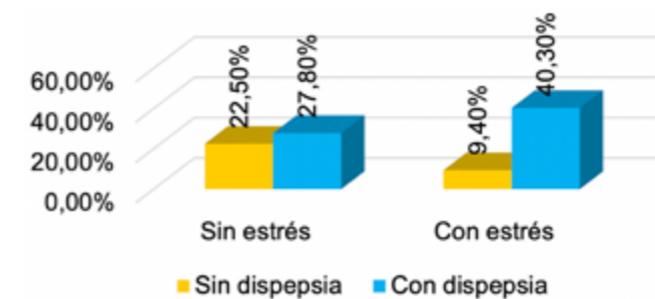


Fuente. Elaboración propia

Además, en la Figura 10 se puede apreciar la diferencia existente entre las personas sin dispepsia y ansiedad (11.10%) y las personas con dispepsia y ansiedad (50.20%). De esta forma, al darnos como valor $p=0.000$, las diferencias se han visto estadísticamente significativas y, por lo tanto, existe una correlación entre la dispepsia y la ansiedad. Esto concuerda con varios estudios (Canales y Carhuaricra, 2019; Condori, 2021; Martínez y Desuque, 2019; Mejía et al., 2016) que afirman que la ansiedad está fuertemente asociada al padecimiento de la dispepsia ($p<0.05$).

Figura 11

Relación entre la dispepsia y el estrés



Fuente. Elaboración propia

En la Figura 11 se observan resultados similares a los dos gráficos previos dado que la prevalencia de personas con estrés y dispepsia (40.30%) es mucho mayor que la de personas con estrés y sin dispepsia (9.40%). De esta forma, el valor p fue de 0.000, siendo estadísticamente significativo y, por lo tanto, existe una correlación entre la dispepsia y el estrés. Estos resultados se asemejan a dos tesis tituladas *Asociación de la dispepsia según depresión, ansiedad y estrés en estudiantes de medicina de la altura* de Condori (2021) y *Estrés laboral y su relación con la dispepsia funcional en trabajadores administrativos de la Universidad César Vallejo, Piura*, 2018 de Jiménez (2020).



4. CONCLUSIONES

Con relación al **primer objetivo**, se concluye que los síntomas más dados son la pesadez postprandial y la saciedad precoz. Sin embargo, los menos comunes han resultado ser los vómitos.

Respecto al **segundo objetivo**, podemos concluir que el grupo más vulnerable a padecer dispepsia según sexo son las mujeres; sin embargo, en cuanto a la edad, a pesar de haber una mayor prevalencia de adultos de 31-55 años dispépticos, se ha obtenido que no es un resultado estadísticamente significativo ($p=0.449$) ya que los adolescentes tienen un porcentaje muy similar al de adultos.

Referente al **tercer objetivo**, concluimos que tanto la ansiedad como el estrés y la depresión se dan mayoritariamente en mujeres ($p=0.000$) y haciendo referencia a la edad, los adolescentes de 16-18 años son más propensos a padecer dichos trastornos ($p=0.000$).

Con respecto al **cuarto objetivo**, existe una correlación entre la dispepsia y la depresión, la ansiedad y el estrés ya que el valor de p fue 0.000 en todos los casos y, por tanto, la diferencia entre personas depresivas, ansiosas y estresadas dispépticas y no dispépticas es estadísticamente significativa.

Con ello, corroboramos la mayor parte de la hipótesis de partida, concluyendo así que la dispepsia está asociada a la presencia de estrés, ansiedad y depresión, además de estar condicionada por el sexo, siendo ésta más abundante en mujeres. Por otro lado, a pesar de haber encontrado una mayor frecuencia de dispepsia en adultos, se rechaza la idea inicial de que la dispepsia está condicionada por la edad puesto que las diferencias estadísticas eran poco significativas.



5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aqise, T. (2019). *Asociación de dispepsia con ansiedad y depresión en estudiantes de Medicina de la Universidad Privada de Tacna 2019-I*. Tesis de grado. Universidad Privada de Tacna. Tacna: Repositorio Institucional UPT.
2. Canales, D. L., y Carhuaricra, J. E. (2017). *Asociación entre ansiedad, depresión, hábitos alimenticios a dispepsia funcional en estudiantes del primer al sexto año de la E.P Medicina Humana*. Tesis de grado. Universidad Nacional Hermilio Valdizán. Huánuco: Repositorio Institucional UNHEVAL.
3. Condori, C. I. (2021). *Asociación de la dispepsia según depresión, ansiedad y estrés en estudiantes de medicina de la altura*. Tesis para optar al título profesional de médico cirujano. Universidad Continental. Huancayo: Repositorio Institucional Continental.
4. Jiménez, C. J. (2020). *Estrés laboral y su relación con la dispepsia funcional en trabajadores administrativos de la Universidad César Vallejo, Piura, 2018*. Tesis para obtener el título profesional de médico cirujano. Universidad César Vallejo. Piura: Repositorio Institucional UCV.
5. Lúquez, A., Otero, W., y Schmulson, M. (2019). "Enfoque diagnóstico y terapéutico de dispepsia y dispepsia funcional: ¿qué hay nuevo en el 2019?" *Revista de Gastroenterología del Perú*, 39(2), 141-152.
6. Martínez, J., y Desuque, D. (2019). "Relación de dispepsia funcional con síntomas de depresión, ansiedad y estrés en estudiantes de Medicina de una universidad privada de Entre Ríos". *Revista de Investigación Universitaria en Salud*, 1(1), 1-12.
7. Mejía, C., Quezada, C., Verastegui, A., Cárdenas, M., García, K., Quiñones, D. (2016). "Factores psicosociales y hábitos asociados con dispepsia funcional en internos de un hospital nacional en Piura, Perú". *Revista Colombiana de Gastroenterología*, 31(4), 354-359.
8. Veliz, J. C. (2019). *Asociación de la dispepsia funcional con el estrés y hábitos alimentarios en estudiantes de medicina humana*. Tesis para optar el título profesional de médico profesional de médico cirujano. Universidad Peruana Los Andes. Huancayo: Repositorio Institucional UPLA.



Informe antropológico de la colección medieval de la Plaza de la Horta (Zamora)

/ ACCÉSIT

AUTORAS | CRISTINA CHAMORRO MARTÍNEZ Y CARLA MARTÍNEZ-FALERO GESTOSO

COORDINADORES | RAFAEL PÉREZ ROMERO Y LAURA RODRÍGUEZ GARCÍA

CENTRO | IES LOS SAUCES CON LA COLABORACIÓN DE LA UNIVERSIDAD DE LEÓN

CIUDAD | BENAVENTE-ZAMORA

RESUMEN |

El estudio de los restos esqueléticos de una población de la Edad Media es de gran importancia para el conocimiento histórico y arqueológico de la misma. En este proyecto, se realizó un inventario óseo y una caracterización individual de los distintos esqueletos para determinar el sexo, la edad, la estatura y el peso de cada uno de ellos. Se utilizaron diversas técnicas basadas en una evaluación visual o en un registro de variables métricas lineales de los huesos más diferenciadores de cada esqueleto.

El análisis de los datos reveló que los restos humanos pertenecen a un número mínimo de individuos de 37, entre los que hay 7 mujeres y 5 varones. El grupo de adultos se caracteriza por un promedio de estatura que oscila entre 1,52 m y 1,76 m, y un peso medio de 63,32 kg.

Estos resultados contribuyen al conocimiento de la demografía y el estado de salud y enfermedad de la población estudiada, y pueden ser incorporados de forma complementaria en los estudios históricos de las distintas épocas. Por otro lado, pueden proporcionar información valiosa para la comprensión de las poblaciones humanas del pasado.

Palabras clave: Antropología, colección medieval, Plaza de la Horta, Zamora.



ABSTRACT |

The skeletal remains' study of a population from the Middle Ages is of great importance for its historical and archaeological knowledge. In this project, a bone inventory and individual characterization of the different skeletons was carried out to determine the sex, age, height and weight of each of them. Various techniques were used based on a visual evaluation or a record of linear metric variables of the most differentiating bones of each skeleton.

The analysis of the data revealed that the human remains belong to a minimum number of individuals of 37, among which there are 7 women and 5 men. It has been possible to distinguish the age of children, young people and full adults, this last group is characterized by an average height that ranges between 1.52 m and 1.76 m, and an average weight of 63.32 kg.

These results contribute to the knowledge of the demographics and the state of health and illness of the population studied and can be incorporated in a complementary way in historical studies of different periods. Additionally, they can provide valuable information for understanding past human populations.

Keywords: Anthropology, medieval collection, Plaza de la Horta, Zamora.



1. INTRODUCCIÓN

Este proyecto de antropología se ha elegido porque ofrece la oportunidad de investigar un tema interesante y poco común, para obtener conocimiento sobre el cuerpo humano y la forma de vida de nuestros antepasados (Departamento de Biología y Geología, 2023). La antropología nos permite estudiar los restos humanos como fuente de información para obtener conclusiones sobre la vida pasada.

En este contexto, la osteología desempeña un papel crucial en la investigación de culturas, tanto antiguas como modernas. Los restos óseos proporcionan información esencial para determinar aspectos fundamentales, como la edad, el sexo, la estatura y el peso de los individuos, permitiendo así una comprensión más profunda de las características demográficas y la salud de las poblaciones estudiadas.

Los enterramientos, sondeos y unidades estratigráficas (U.E) son tres términos clave en el campo de la arqueología y se utilizan para realizar estudios de los yacimientos arqueológicos.

Se han utilizado distintos manuales en este proyecto (Ubelaker, 2003, p. 65), (Klales, 2019, p. 5) y (Klales, 2020, p. 275) como principales fuentes de información. Por otra parte, se han analizado variados estudios antropológicos (Steel, 1962, p. 217), (Viñe Escartín y Salvador Velasco, 1999, p. 82), (Bruzek, 2002, p. 159), (Auerbach y Ruff, 2004, p. 140), (González, Bernal y Pérez, 2009, p. 71).

Además, numerosos estudios antropológicos han examinado los componentes esqueléticos de poblaciones de individuos de la Edad Media (Campillo, 1995, p. 122), (San Román Fernández y Campomanes Alvaredo, 2007, p. 29), (Candelas González et al, 2016, p.153), (González et al, 2016, p. 85). Estos estudios son de gran importancia para comprender mejor la forma de vida y las características morfológicas de las poblaciones medievales.

Objetivos del proyecto

Los objetivos principales de este proyecto son los siguientes:

- Conocer los parámetros biológicos de los individuos y las posibles causas de muerte.
- Establecer la reconstrucción paleodemográfica de la población medieval de la Plaza de la Horta (Zamora) y determinar si existe alguna señal de la presión social selectiva en varones o mujeres en relación con la edad de muerte.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

La muestra de 38 esqueletos recuperados de la excavación realizada en la Plaza de La Horta (Zamora) fue usada para este estudio. Estos restos se repartieron en diferentes cajas según cómo los individuos fueron excavados y se localizan



en diferentes sondeos y enterramientos (Fig. 1). Los esqueletos analizados se enterraron durante los siglos XII y XIII.

Figura 1

Excavación Plaza de la Horta (Zamora).
A: Planta del solar con la citación de los sondeos. Escala 1:500;
B: Enterramiento de dos individuos (Fuente: excavaciones de J. Guilaine y H. Duday).



La **unidad estratigráfica 2.1** comprende dos sondeos, el sondeo 1 y el sondeo 3. El sondeo 1 contiene 10 enterramientos, mientras que el sondeo 3 contiene 9. Además, se encontraron restos óseos entre los dos sondeos, que indican la existencia de un enterramiento compartido. Esta evidencia sugiere que los enterramientos se realizaron durante el mismo periodo y que los dos sondeos están relacionados.

Estudio de los individuos

Los restos analizados en el estudio se encuentran en 8 cajas alojadas y custodiadas en el Área de Antropología Física de la Universidad de León. Se llevó a cabo una observación detallada de sus características morfológicas y físicas (White, Black & Folkens, 2011, p. 386), prestando atención a aquellos individuos que presenten patologías o se encuentren en mejores condiciones.

Las **técnicas visuales o morfoscópicas** se basan en la evaluación de diversos rasgos físicos humanos, como el ángulo subpúbico y el surco preauricular, zonas bajas del coxal. Esta evaluación se realiza mediante la utilización de categorías de datos clasificadas según la característica particular, en lugar de medidas numéricas, lo que impide una descripción exacta del individuo (Fig. 2).

Los **estudios osteométricos** se llevan a cabo para recopilar información sobre la forma, tamaño y medida de los huesos. Los datos se obtienen mediante el uso de un calibre para medir la longitud de los huesos pequeños y una tabla osteométrica para determinar las medidas de los huesos largos (Fig. 3).



Figura 2

Autoras trabajando con la colección de huesos medieval.



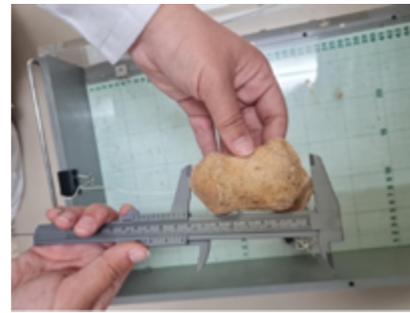
Los estudios de desarrollo óseo han revelado diferencias significativas entre los grupos de edad de adultos e inmaduros, por lo que se ha desarrollado una **ficha ósea específica** para cada grupo.

Figura 3

Procedimiento experimental.
A: Identificación de los huesos del pie;
B: Medición del calcáneo con el calibre.



A



B

Determinación del sexo de los individuos

La determinación del sexo en un individuo se realiza a través de la medición de variables morfométricas presentes en varios huesos, siguiendo los métodos descritos en el artículo de Klales, Ousley y Volner (2012, p. 108) para la pelvis, la metodología de Walker (2008, p. 48) para el cráneo y una metodología propia para los huesos largos. Los estudios de dimorfismo sexual del hueso largo se han realizado mediante la medición de variables anatómicas como la anchura de la epífisis distal del húmero (Pimienta Merlin y Gallardo, 2005, p. 253), el diámetro vertical de la cabeza femoral y la anchura de la epífisis distal del fémur (Djorojević, 2018, p. 34).



Determinación de la edad

La estimación de la edad de individuos inmaduros conlleva una metodología específica (Alqahtani, Hector y Liversidge, 2010, p. 184) desarrollaron una técnica para determinar la edad de estos individuos basándose en el grado de formación de su dentición.

La edad ósea se puede determinar a través de marcas de degeneración en huesos específicos, como la **aurícula del pubis**. Además, a través del húmero y el fémur, se puede determinar edad en individuos entre 12 y 25 años gracias a los grados de fusión de la epífisis y la diáfisis de los mismos.

Figura 4

Mediciones de huesos largos.
A: Autoras midiendo huesos largos;
B: Utilizando la tabla osteométrica.



A



B

Determinación de la estatura

Los estudios de Carretero et al. (2012, p. 248) y Mendonça (2000, p. 41) han descrito métodos para estimar la altura de los individuos utilizando los huesos largos. Se tomará como variable la longitud del húmero, radio, cúbito, fémur, tibia y peroné, la cual será medida con una tabla osteométrica con una precisión de 0,1 mm (Fig. 4).

Determinación del peso

Los métodos descritos por Trinkaus y Ruff (2012, p. 16) para determinar el peso de los individuos se basan en los diámetros de la cabeza femoral. Para los diámetros medidos con un calibre de precisión de 0,1 mm, diferenciaremos dos fórmulas: en diámetros inferiores a 38 mm se utilizará la fórmula de McHenry, para diámetros superiores a 47 mm, se calcula la media de Grine. Para los diámetros comprendidos entre 38 y 47 mm, se calcula la media de todas las fórmulas previamente citadas. En cambio, se podrá utilizar la fórmula de Squyres & Ruff (2015, p. 201) basada en la anchura biepicondilar del fémur.



3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El sondeo 1 contiene 10 enterramientos y el sondeo 3 contiene 9, compartiendo ambos el enterramiento 5. Por lo tanto, en total se han diferenciado 20 enterramientos. El número total de individuos analizados fue 37, ya que una de las muestras óseas estudiadas estaba en un estado deficiente para la discriminación de individuos (Figs. 5 y 6).

Figura 5

Muestras óseas de los enterramientos 3 y 5.
A: Esqueleto completo del enterramiento 3;
B: Hueso coxal del enterramiento 5.



Se ha identificado el sexo de 12 individuos, 7 mujeres y 5 hombres, a partir del estudio de las muestras óseas analizadas. A través de los datos recopilados de la población de edad media se ha observado que el número de individuos de género femenino es ligeramente superior al de los varones, aunque no es posible apreciar una distribución diferencial debido a la cantidad de adultos indeterminables, similar a otros estudios medievales con un alto número de individuos indeterminables (González et al., 2016, p. 93). Los resultados obtenidos difieren de los documentados en el yacimiento de La Olmeda (Palencia), donde se observó una acusada mortalidad femenina (Campillo, 1995, p. 133; Lerín Moreno, 2021, p. 25). Esto no contradice las observaciones realizadas en otras poblaciones medievales de Castilla y León (López, 2002, p. 33; Candelas González, 2016, p. 159).

Se ha podido distinguir las edades de un grupo de individuos: un niño entre 6 y 8 años, un adolescente con edad inferior a 16 años, un adulto joven con edades entre 15 y 20 años. Por otro lado, tenemos dos adultos plenos cuyo rango de edad no se ha podido determinar. Estos datos indican que la esperanza de vida de los individuos se encuentra por debajo de la esperada entre los 30 y 50 años. Esta tendencia se corrobora con los resultados obtenidos en el análisis de las colecciones medievales del antiguo Reino de León (López, 2002, p. 33), en el que se estableció una media de 26,20 años de esperanza de vida al nacimiento, de 25,55 años en la población arqueológica de Marialba de la Ribera (León) (González et al., 2016, p. 85), así como en el yacimiento de Veranes (Gijón), con una cifra de 26,31 años (González et al., 2016, p. 89).



Los resultados de los estudios realizados muestran una gran variabilidad en el peso de los individuos, destacando en los varones. El peso mínimo fue de 55,34 Kg (individuo femenino del enterramiento 6 con la anchura biepicondilar: 7,2 cm) y el máximo de 78,44 Kg (individuo varón del enterramiento 6, con la anchura biepicondilar: 8,7 cm). La media se encuentra en 65,34 Kg. Según investigaciones realizadas en la época, el estatus social dependía en gran medida de la riqueza de los individuos, siendo que el mayor nivel de riqueza era directamente proporcional al lujo al que los individuos podían acceder, particularmente en lo relacionado con la alimentación. Estudios basados en la medición de la masa corporal de los individuos han demostrado que aquellos con una masa corporal más elevada eran de un status social más alto, mientras que aquellos con una masa corporal más baja eran de un status social más bajo (Joyce, 2005, p. 144).

Figura 6

Muestras óseas de los enterramientos 14 y 16.
A: Huesos de la mano, fémures y rótula del enterramiento 14;
B: Mandíbula completa del enterramiento 16.



Finalmente, las mediciones de estatura realizadas revelan que los varones presentan un promedio de $176,08 \pm 4,49$ cm, el cual es considerablemente mayor que el promedio de $157,55 \pm 4,49$ cm observado en mujeres. Además, se observa que la estatura perteneciente a un niño es significativamente menor ($122,47 \pm 4,49$ cm). Estos resultados refuerzan la hipótesis de que los varones tienen una estatura mayor que las mujeres.

4. CONCLUSIONES

Las conclusiones científicas a las que se llega en este estudio de antropología son:

1. Los estudios de antropología física ofrecen una gran cantidad de información útil para entender los patrones de salud y enfermedad de las poblaciones antiguas.
2. Los restos óseos examinados en la colección de la Plaza de la Horta (Zamora) se componen de 37 individuos, distribuidos en 20 enterramientos.



3. En el estudio antropológico se observa una mayor proporción de mujeres que de hombres, aunque no es posible apreciar una distribución diferencial debido a la cantidad de adultos indeterminables.

4. La esperanza de vida se ajusta a lo observado en otros estudios medievales paleodemográficos.

5. La variabilidad de peso entre los varones es mayor que entre las mujeres, podría ser un factor importante para evaluar el estatus social de los individuos.

6. Los varones presentan una estatura significativamente mayor que las mujeres, siendo la estatura perteneciente a un niño la más baja.

Los resultados obtenidos proporcionan información relevante acerca de la población enterrada en la Plaza de la Horta. Estas investigaciones pueden contribuir a una mejor comprensión de la historia y los patrones de salud y enfermedad a lo largo del tiempo de distintas poblaciones humanas.

BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

- AlQahtani, S. J., Hector, M. P. y Liversidge, H. M. (2010). Brief communication: The London atlas of human tooth development and eruption. *American Journal of Physical Anthropology*. 142(3), pp. 481–490.
- Auerbach, B.M. & Ruff, C.B. (2004). Human body mass estimation: a comparison of “morphometric” and “mechanical” methods. *American Journal of Physical Anthropology*. 126(4), pp. 331-342. DOI: <https://doi.org/10.1002/ajpa.20032>
- Beck, L. A. (1994). Standards for data collection from human skeletal remains. *American Journal of Human Biology*. 68, pp. 155-159. DOI: <https://doi.org/10.1002/ajhb.1310070519>
- Bruzek, J. (2002). A method for visual determination of sex, using the human hip bone, *American Journal of Biological Anthropology*. 112(2), pp. 157-168. DOI: [10.1002/ajpa.10012](https://doi.org/10.1002/ajpa.10012)
- Campillo, D. (1995). Mortalidad y esperanza de vida en la Península Ibérica, desde la Prehistoria a la Edad Media, en Fábregas, R., Pérez, F. y Fernández, C. (eds.) *Arqueología da Morte na Península Ibérica desde as Orixes ata o Medioevo*. Xinzo de Limia: Excmo Concello, Biblioteca Arqueohistórica Limiá, pp. 317-340.
- Candelas González, N., Núñez Cantalapiedra, A., Rascón Pérez, J., Cambra-Moo, O., Muñoz Villarejo, F., Campomanes Alvaredo, E., Gutiérrez



González, J.A. y González Martín, A. (2016). Características paleodemográficas de la población recuperada del cementerio de Marialba de la Ribera (Villaturiel, León, España) (S. IV-XIII). *Munibe. Antropología-Arkeologia*. 67, pp. 151-165.

Carretero, J.M., Rodríguez, L., García - González, R., Arusaga, J.L., Gómez - Olivencia, A., Lorenzo, C., Bonmatí, A., Gracia, A., Martínez, I. & Quam, R. (2012). Stature estimation from complete long bones in the middle Pleistocene humans from the Sima de los Huesos, Sierra de Atapuerca (Spain). *Journal of human evolution*. 62(2), pp. 242-255. DOI: [10.1016/j.jhevol.2011.11.004](https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2011.11.004)

Departamento de Biología y Geología (2023). Proyecto huesos – *Bachillerato de Investigación/Excelencia*. <https://dptobiologiaieslossauces.blogspot.com/>

Djorojevic M. (2018). *Determinación del sexo mediante un estudio de la pelvis y el fémur proximal a partir de restos óseos e imágenes en 3D*. Tesis doctoral. Universidad de Granada.

Getz, S.M. (2020). The use of transition analysis in skeletal age estimation. *Wires Forensic Sci.* 2, pp. 1-11. DOI: [10.1002/wfs2.1378](https://doi.org/10.1002/wfs2.1378)

González, P.N., Bernal, V. & Pérez, S.J. (2009). Geometric Morphometric Approach of Sex Stimulation of Human Pelvis. *Forensic Science International*. 189(1-3), pp. 68-74. DOI:[10.1016/j.forsciint.2009.04.012](https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2009.04.012)

González, A., Rascón, J., Cambra-Moo, O., Pimentel, G. y Campo, M. (2016). Estudio poblacional del cementerio medieval de Veranes (Gijón, Asturias): estado de la cuestión, en Quirós, J.A. (ed.) *Demografía, paleopatologías y desigualdad social en el noroeste peninsular en época medieval*. Bilbao: Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco, pp. 83-95.

Joyce, R.A. (2005). Archaeology of the Body. *Ann. Rev. Anthropol.* 34(1), pp. 139-158. DOI: [10.1146/annurev.anthro.33.070203.143729](https://doi.org/10.1146/annurev.anthro.33.070203.143729)

Klales, A.R. (2019). *An Interactive Morphological Data Base for Estimating Sex in Modern Adults*. National Institute of Justice.

Klales, A.R. (2020). *Sex Estimation of the Human Skeleton. History, Methods and Emerging Techniques*. London: Academic Press. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815767-1.00016-X>

Klales, A.R., Ousley, S.D. & Volner, J.M. (2012). A Revised Method of Sexing the Human Innominate Using Phenice's Nonmetric Traits and Statistical Methods. *American Journal of Physical Anthropology*. 149(1), pp. 104-114. DOI: [10.1002/ajpa.22102](https://doi.org/10.1002/ajpa.22102)

Lerín Moreno, M. (2021). Análisis de las investigaciones de antropología física realizadas en diversos yacimientos calcolíticos complejos del sur de la Península Ibérica. Universidad de Sevilla.



- López, B. (2002). Los pobladores del Antiguo Reino de León: *Antropometría, Paleodemografía, Paleopatología*. León: Universidad de León.
- Mendoça, M.C. (2000). Estimation of Height from the Length of Long Bones in a Portuguese Adult Population. *American Journal of Physical Anthropology*. 112(1), pp. 39-48. DOI: 11239-48(2000)
- Pimienta Merlín, M. y Gallardo Velázquez, A. (2005). Diferencias sexuales en el húmero: sugerencias para la determinación del sexo en restos óseos. *Península*. 1, pp. 243-257.
- Ruff, C.B. et al. (2018). Lower limb articular scaling and body mass estimation in Pliocene and Pleistocene hominins. *Journal of human evolution*. 115, pp. 85-111. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2017.10.014>
- San Román Fernández, F. y Campomanes Alvaredo, E. (2007). Avance de las excavaciones arqueológicas en San Miguel de Escalada (campañas 2002-2004). *Tierras de León: Revista de la Diputación Provincial*. 45(124), pp. 2-32.
- Selliah, C. et al. (2020). Sex estimation of skeletons in the middle and late adulthood: reliability of pelvic morphological traits and long bone metrics on an Italian skeletal collection. *International Journal of Legal Medicine*. 134, pp. 1683-1690. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00414-020-02292-2>
- Squyres, N. & Ruff, C.B. (2015). Body mass estimation from knee breadth, with application to early hominins. *American Journal of Physical Anthropology*. 158 (2), pp. 198-208. DOI: [10.1002/ajpa.22789](https://doi.org/10.1002/ajpa.22789)
- Steel, F.L.D. (1962). The Sexing of Long Bones with reference to the St. Bride's series of identified skeletons. *The Journal of the Royal Anthropological Institute of Great Britain & Ireland*. 92(2), pp.212-222. DOI: [10.2307/2844259](https://doi.org/10.2307/2844259)
- Trinkaus, E. & Ruff, C.B. (2012). Femoral and Tibial Diaphyseal Cross - Sectional Geometric in Pleistocene Homo. *Paleoanthropology Society*. pp. 13-62. DOI: [10.4207/PA.2012.ART69](https://doi.org/10.4207/PA.2012.ART69)
- Ubelaker, D.H. (2003). *Enterramientos humanos: excavación, análisis e interpretación*. Donostia: Aranzadi.
- Viñe Escartín, A.L., Salvador Velasco, M (1999). Excavación arqueológica en el solar de Plaza de la Horta, S/N. Zamora. *Anuario 1999 del Instituto de Estudios Zamoranos "Florián de Ocampo"*. Zamora L997b, pp. 143-162.
- Walker, P.L. (2008). Sexing Skills Using Discriminant Function Analysis of Visually Traits. *American Journal of Physical Anthropology*. 136(1), 39-50. DOI: [10.1002/ajpa.20776](https://doi.org/10.1002/ajpa.20776)
- White, T.D., Black, M.T. & Folkens, P.A. (2011). *Human Osteology*. California: Academic Press.

Parada cardiaca extrahospitalaria en Navarra: técnicas de reanimación y elaboración del duelo

/ ACCÉSIT

AUTORAS | MARÍA BAYANO FLAMARIQUE Y ALICIA PIEDRAFITA SANROMÁN

COORDINADORA | MARÍA GUTIÉRREZ PÉREZ

CENTRO | IES BARAÑÁIN

CIUDAD | BARAÑÁIN-NAVARRA

RESUMEN |

En esta investigación se ha realizado un estudio descriptivo cuantitativo de la incidencia de casos de parada cardiaca extrahospitalaria en la Comunidad Foral de Navarra durante los años 2017 a 2020. Se ha analizado la influencia de la aplicación de técnicas de soporte vital básico en la tasa de supervivencia teniendo en cuenta además otras variables como el sexo, la edad de los afectados, si la parada fue presenciada ante testigos y si estos aplicaron maniobras de reanimación cardiopulmonar. Los resultados muestran que la intervención temprana por parte del testigo de una parada cardiorrespiratoria y el uso de técnicas de reanimación cardiopulmonar mejoran la tasa de supervivencia. Para ello, se ha empleado un cuestionario validado para la detección de duelo complicado y se ha realizado una entrevista. Se concluye que para afrontar este duelo inesperado es fundamental el apoyo de personas cercanas y el conocimiento de las técnicas de reanimación.

ABSTRACT |

In this research, a quantitative descriptive study has been carried out on the incidence of cases of out-of-hospital cardiac arrest in the Foral Community of Navarra during the years 2017 to 2020. The influence of the application of basic life support techniques on the death rate has been analyzed. survival also takes into account other variables such as sex, age of those affected and whether the arrest was witnessed and whether the witness applied cardiopulmonary resuscitation maneuvers. The results show that early intervention by the witness of a cardiorespiratory arrest and the use of cardiopulmonary resuscitation techniques improve the survival rate. To this end, a validated questionnaire was used to detect complicated grief and an interview was conducted. It is concluded that to face this unexpected grief, the support of close people and knowledge of resuscitation techniques are essential.



1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo analiza la situación de muerte súbita por parada cardíaca extrahospitalaria en Navarra y la eficacia de la aplicación de técnicas de soporte vital básico (SVB) en la mejora de las tasas de supervivencia para el periodo comprendido entre los años 2017 y 2020 (datos facilitados por el Servicio médico de emergencias). Todavía no existe ninguna investigación publicada al respecto en Navarra. Por ello, consideramos que este estudio puede ayudar a detectar necesidades en este ámbito. Además, esta investigación pretende analizar el proceso de duelo que se atraviesa tras la pérdida de un familiar por parada cardíaca. Estudios previos sugieren que este tipo de duelo tiene una elaboración más complicada que otro tipo de duelos como, por ejemplo, los duelos sufridos por enfermedades terminales y crónicas (Robles, s.f.). Para estudiar la importancia de la atención de urgencia recibida en la elaboración del duelo, se propone realizar entrevistas a familiares de fallecidos por parada cardíaca. La realización de esta investigación es necesaria para aportar una nueva visión al proceso de duelo que es desencadenado tras este tipo de pérdidas.

2. ANTECEDENTES

2.1. ESTADO DE LA CUESTIÓN

2.1.1. PARADA CARDIACA EXTRAHOSPITALARIA (PCEH) EN ESPAÑA

En España, cada año, más de 50.000 personas presentan una PCEH, pero menos de la mitad recibe tratamiento y en menos del 10 % de los casos se aplican con éxito técnicas de resucitación (Álvarez-Fernández y Gazmuri, 2008). En Navarra anualmente se producen una media de 160 paradas de las cuales un 77,7 % (unas 124) son presenciadas, en su mayoría, por personal no sanitario (un 70,8 % del total, unos 88 casos) (*El ABC que salva vidas*, s.f.). La rapidez en la actuación es esencial ya que si el cerebro no tiene riego sanguíneo durante los primeros cinco a diez minutos sufrirá daños irreparables entrando en un estado de muerte cerebral irreversible (Fundación IO, s.f.). También la efectividad de la RCP en lograr mantener el flujo de oxígeno al cerebro se reducirá de un 10 % a un 3-4 % menos por minuto que se tarde en actuar (Aula de Cardioprotección, s. f.).

2.1.2. INTERVENCIÓN TEMPRANA EN CASO DE PARADA CARDIACA EXTRAHOSPITALARIA EN NAVARRA

Navarra se divide en 57 zonas básicas de salud repartidas en tres áreas: Pamplona, Tudela, y Estella. Ante una situación de urgencia por un caso de parada cardíaca, se activa la ambulancia medicalizada más cercana. Además, se pueden activar ambulancias básicas (47 en total en toda Navarra) y servicios de urgencias extrahospitalarias o servicios de urgencias rurales. Ante una emergencia tiempo-dependiente, en las que la rapidez de llegada es fundamental, se activa



un código concreto según el tipo de emergencia (infarto, parada cardíaca, trauma grave, sepsis o ictus).

2.1.3. PROCESO DE DUELO ANTE LA PÉRDIDA DE UN SER QUERIDO POR MUERTE SÚBITA

Según distintos autores, tales como J. William Worden o Jhon Bowlby, existen distintas fases durante el proceso de duelo (Worden, 1997). Este trabajo se centrará en la escala de Kübler-Ross, con cinco fases de duelo: la negación, la ira, la negociación, la expresión y la aceptación. La muerte súbita, por ser generalmente no anticipada, se convierte en una situación compleja de duelo (Grupo Gayosso, 2020). Sin embargo, el trauma será determinado por las circunstancias anteriores e inmediatamente posteriores al suceso (Prigerson H. *et al.*, 2008). Por esta razón las familias necesitan intimidad en el momento del fallecimiento. De lo contrario se puede llegar a expresar un mayor trauma (Araujo Hernandez *et al.*, 2021). Tras la muerte súbita se considera fundamental que los familiares expresen sus sentimientos, se desahoguen y sean conscientes de que se ha hecho todo lo posible para salvar la vida del fallecido (Kübler-Ross, 1998). Los primeros días tras la pérdida nadie puede decir ni hacer nada para hacer sentir mejor al doliente. Al fin y al cabo la pérdida y el duelo es diferente en cada persona y no se pueden comparar (Kübler-ross *et al.*, 2006). Hablar sobre la muerte y todo lo que esta conlleva suele ser un tema que se tiende a evitar, lo que puede provocar que el duelo sea más complejo si el doliente no tiene a nadie para desahogarse (Araujo Hernandez *et al.*, 2021). En los duelos por muerte súbita destacan una serie de emociones que se intensifican más que en otros duelos. Éstas son: la impotencia, la culpa, incompreensión, soledad en el momento de la pérdida y posteriores (Payás, 2014).

2.1.4. DETECCIÓN DEL DUELO COMPLICADO: TEST VALIDADOS

Para conocer en profundidad el desarrollo de un duelo complicado se emplean distintos predictores del desarrollo del duelo y diferentes instrumentos de medida. Los predictores del desarrollo de duelo identifican unos factores de riesgo que pueden provocar un duelo complicado (Arranz *et al.*, 2003). Entre estos factores encontramos las características personales, características relacionadas con el fallecido, características de la muerte, aspectos en cuanto a las relaciones personales y otros aspectos (Barreto *et al.*, 2012). Por otro lado, Worden, miembro de la Asociación Americana de Psicología, habla de completar cuatro tareas tras la pérdida: aceptar la realidad, trabajar las emociones y el dolor, adaptarse a un medio sin el ser querido y aceptar la pérdida y seguir viviendo (Worden, 1997).

Respecto a los instrumentos de medida, existen tres formas distintas de evaluación (Barreto, 2007). La entrevista es una de las técnicas más empleadas. Se realiza por medio de preguntas. El genograma permite conocer información (edades, número del núcleo familiar, muertes previas...) a la hora de diagnosticar un duelo. Finalmente, también existen cuestionarios a través de los cuales



se obtiene información sobre los datos personales, la situación actual, la causa, el lugar del fallecimiento, el modo en que el doliente está afrontando la pérdida... etc. (Barreto *et al.*, 2012). Algunos de los cuestionarios de evaluación existentes son: el *Inventario de Experiencias en Duelo* (IED), de Sanders, Mauger y Strong (Sanders *et al.*, 1985); el *Inventario de Duelo Complicado* (IDC) (Prigerson *et al.*, 1995) o el *Inventario Texas revisado de duelo* (ITRD) (García-García JA *et al.*, 2005), entre otros.

3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

1. Realizar un estudio cuantitativo descriptivo de la situación en torno a la parada cardíaca extrahospitalaria en Navarra en términos de número de fallecimientos, supervivencia y secuelas según los distintos tipos de intervención de urgencias y diversas variables de interés (sexo, edad) en el periodo que comprende los años desde 2017 a 2020.

2. Analizar la incidencia de la aplicación de maniobras de resucitación (RCP y DEA) en la mejora de la supervivencia, distinguiendo variables: sexo, edad, si la parada fue presenciada por un testigo o no y el tipo de primer interviniente.

3. Analizar el impacto que tiene este tipo de intervención (RCP, DEA) en la elaboración o vivencia del proceso de duelo en los casos de fallecimiento de un familiar.

En cuanto al objetivo tercero, se plantea la siguiente hipótesis:

Los familiares de las personas fallecidas que recibieron soporte vital básico (al menos, RCP) de forma inmediata tras la parada cardíaca afrontan un duelo menos complicado respecto a los que no recibieron primeros auxilios, que presentarán más rasgos de duelo patológico según instrumentos de evaluación validados.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

En esta investigación se ha empleado un enfoque tanto cuantitativo como cualitativo con el fin de dar respuesta a los diferentes objetivos.

4.1. ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LA SITUACIÓN DE PCEH

Fuente de los datos

Se ha analizado el listado completo de paradas cardíacas en Navarra registradas por la ambulancia de soporte vital avanzado desde el año 2017 al año 2020. La base de datos de partida, ofrecida por la entidad colaboradora, recogía casos de parada cardíaca desde el año 2014. No obstante, se decidió eliminar del estudio los años 2014 a 2016 ya que había casos sin registrar y heterogeneidad en el modo de recogida de los datos por lo que no mostraban la situación real. Todos los datos se presentaron anonimizados. Tan sólo el personal médico colaborador en esta investigación tuvo acceso a la información relativa a las historias clínicas, con el correspondiente visto bueno del comité de ética del Servicio Navarro de Salud.



Análisis de los datos

Se realizó un análisis estadístico descriptivo general comparando la tasa de supervivientes y fallecidos, teniendo en cuenta las variables de sexo, edad y si la parada cardíaca fue presenciada o no por un testigo, con aplicación o no de técnicas de SVB por el primer interviniente (Policía, cuerpo de bomberos, personal médico de urgencias) o por testigo. Para realizar este análisis se ha empleado el programa Excel (Microsoft 2019). Se resumieron los casos en tablas dinámicas. Además, se han elaborado las gráficas correspondientes empleando este mismo programa.

4.2. ESTUDIO CUALITATIVO: ANÁLISIS DEL PROCESO DE DUELO TRAS LA PÉRDIDA DE UN FAMILIAR POR MUERTE SÚBITA

Selección de participantes

A partir del listado de parada cardíaca entre los años 2017 y 2020 se seleccionó un grupo de fallecidos con el fin de evaluar el proceso de duelo vivido por sus familiares. La selección se realizó en base al perfil del fallecido (si recibió o no RCP) y del doliente (grado de parentesco, tratando que fueran personas muy allegadas -hijos o cónyuges-, y sexo). Se propuso realizar un cuestionario validado para la detección de duelo complicado en, al menos, una veintena de dolientes, a partir de los cuales seleccionar entre cuatro y seis personas para la realización adicional de entrevistas personales.

Instrumentos de evaluación: cuestionarios y entrevistas

Se emplearon dos herramientas para la obtención de información relativa al proceso de duelo: un cuestionario validado y una entrevista. Se solicitó el consentimiento informado de todos los participantes, garantizando la confidencialidad y anonimato en todos los casos. En el anexo 1 se incluyen: el documento para el consentimiento informado, un cuestionario diseñado ad hoc para recabar la información socio-demográfica de los dolientes y la versión en castellano del cuestionario validado *Inventario Texas Revisado de Duelo* (ITRD). Se optó por usar el ITRD dada la facilidad de su aplicación (ítems claros de rápida respuesta) y la sencillez a la hora de calcular la puntuación obtenida por el encuestado. Consta de 21 ítems con 5 categorías de respuesta en escala tipo Likert y se divide en dos partes, la primera en relación con el pasado justo tras la pérdida y una segunda sobre los sentimientos actuales del doliente. Por otro lado, en el anexo 2 se incluyen una serie de preguntas a modo de orientación para conducir las entrevistas. La única entrevista realizada fue guiada por una médica de la asociación *El ABC que salva vidas*, entidad colaboradora de esta investigación, acompañada por las autoras de este trabajo.

5. RESULTADOS

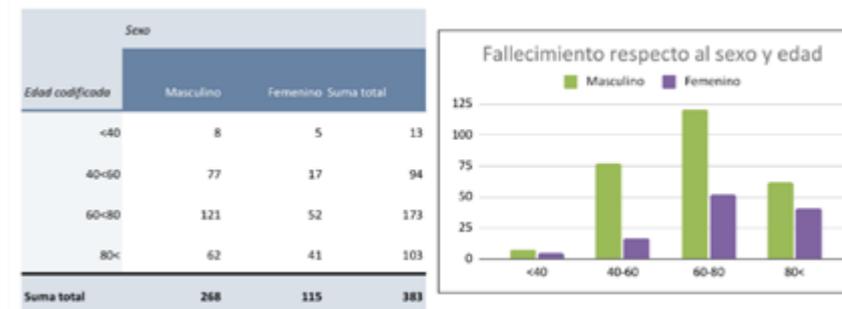
5.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO DE LA SITUACIÓN DE PARADA CARDIACA EN NAVARRA

Las tablas y figuras correspondientes a este apartado se encuentran recogidas en el anexo 3. Se calculó la tasa de supervivencia en relación a los fallecimientos por parada cardiorrespiratoria en Navarra entre los años 2017 y 2020 (Tabla 1). Llama la atención la elevada tasa de fallecimiento, alcanzando casi el 90% de los casos. En cuanto a la prevalencia según los sexos, esta dolencia afecta casi tres veces más a varones que a mujeres (tabla 2). En la tabla 3 se muestra la distribución de casos por edades, observándose que el grupo más afectado (casi la mitad de los casos) se corresponde con aquel de edades comprendidas entre 60 y 80 años. En la tabla 4 se muestra el total de paradas presenciadas por un testigo en el momento en que se produjeron, siendo 334 de las 437 totales. Teniendo en cuenta los distintos tipos de testigos, el 18,31 % de los casos suceden en presencia de un profesional sanitario mientras que el 58,12 % ocurren en presencia de otras personas (tabla 5). En la tabla 6 se observa que el primer interviniente (primer agente que llega a atender la emergencia) puede variar. Se ve que en el 30 % de los casos el primer interviniente es otro distinto al personal de los servicios de emergencias médicas (SEM). En 84 casos asistió la policía. Por último, el SEM asiste en la mayoría de casos, 224, suponiendo el 51,26 % del total. En la tabla 7 se muestran los distintos tipos de reanimaciones realizadas por el primer interviniente siendo la más abundante, en el 48,51 % de los casos, la realización del soporte vital avanzado. Antes de la llegada del primer interviniente se pudo usar el desfibrilador externo automático (DEA) y se empleó en más del 50 % de los casos (tabla 8). Los servicios de emergencias son comunicados y la situación se agrupa según el motivo de la llamada al 112. Una gran mayoría, 172 personas, el 39,35 %, detectaron la parada cardiorrespiratoria (PCR) (tabla 9).

Tras esta primera descripción, se quiso analizar la influencia de las distintas variables sobre la tasa de supervivencia. Para ello, se calculó la tasa de supervivencia y el porcentaje de fallecimientos en relación a las diversas variables de interés. La figura 1 muestra la distribución de fallecimientos en relación al sexo y la edad. Se puede observar una mayor tasa de fallecidos del género masculino. En los rangos de edades de menores de 40 años y mayores de 80 años la tasa de fallecidos tiende a igualarse entre ambos sexos. Sin embargo, entre los 40 y 80 años se aprecia una notable diferencia siendo la mortalidad mucho mayor en hombres que en mujeres (más del doble).

Figura 1

Fallecimientos respecto a la edad y el sexo. Fuente: elaboración propia.



La figura 2 muestra la tasa de fallecidos y supervivientes respecto al primer interviniente (la policía, el SEM y el no SEM -bomberos, técnicos de ambulancia, equipo sanitario de urgencias rurales o equipo de atención primaria del servicio urgencias extrahospitalarias-). Se observa que las tasas son bastante similares en los tres casos. Sin embargo, la policía tiene una mayor tasa de supervivientes mientras que el SEM y no SEM la tienen de fallecidos. Así mismo, el SEM es quien más paradas atiende. En la figura 3, comparando la tasa de supervivencia y fallecimiento respecto a las paradas cardiacas presenciadas o no presenciadas se puede comprobar que en las que hubo un testigo la supervivencia tiene una tasa mayor. En la figura 4, comparando la intervención de diversos testigos, sanitarios o ajenos a la víctima, se puede sostener que la mayoría de paradas son atendidas por testigos ajenos a la víctima. Como se puede observar, cuando la parada es atendida por un testigo sanitario la supervivencia es mucho mayor.

Figura 4

Fallecidos y supervivientes según el tipo de testigo que presenció la parada. Fuente: elaboración propia



Se observa, en la figura 5, que hay una mayor tasa de paradas en las que no se aplica SVB, un 64 %. Además, se comprueba que la tasa de fallecidos en las que no se aplica el SVB es más alta que la de supervivientes. Hay una excepción a lo anterior: aquellos casos en los que el SVB fue asistido por teléfono, en los cuales la supervivencia cae de nuevo y se equipara a los casos que no recibieron SVB.



5.2. ANÁLISIS DEL PROCESO DE DUELO TRAS EL FALLECIMIENTO DE UN FAMILIAR

Fue posible entrevistar únicamente a un familiar de fallecido por parada cardíaca. Previamente a la entrevista, la persona realizó el *Inventario de Texas Revisado de Duelo* (ITRD). En dicho cuestionario obtuvo una puntuación de 80, que corresponde a la categoría de duelo prolongado. Sin embargo, debido al tiempo transcurrido desde la pérdida, el test pierde cierta validez. Se puede afirmar en todo caso que la persona entrevistada tuvo una puntuación media-alta. Se narra un duelo inesperado: *“mi hermano era una persona sana, deportista”*. En este caso pasaron tres días hasta que su hermano falleció durante los cuales estuvo ingresado en la unidad de cuidados intensivos (UCI). Afrontar este tipo de duelo es más complicado debido al *shock* que crea lo abrupto de la situación. En cuanto a la reanimación cardiopulmonar, se puede ver cómo pese a los conocimientos personales en estas técnicas, también influyen factores emocionales (como la situación vivida o el vínculo) que dificultan la capacidad de reacción. Así lo expresa la persona, conocedora de estas maniobras en un momento de la entrevista: *“el bloqueo emocional que supone ver como paciente a una persona a la que emocionalmente estás unida a ella, pues creo que también puede ser un handicap en ese aspecto, ¿no?”*.

En cuanto a los sanitarios que atendieron al paciente durante esos tres días, destaca la persona entrevistada que en ocasiones se hacían comentarios que aumentaban su malestar y sufrimiento en esos momentos. Por ejemplo, en un momento de la entrevista relata: *“pues, mira, le hemos puesto una ampolla de no sé qué, tal... y es que a mí me daba igual en realidad, ¿sabes?”* A nivel social, se observa que no todo el mundo sabe acompañar en estas situaciones. Se menciona la insistencia de algunas personas para hacer cosas que en esos momentos el doliente y su familia no necesitaban. En contraste, también se recalca que el apoyo social de muchas otras personas cercanas (familia, amigos, compañeros...) le sirvió de apoyo fundamental: *“Las recuerdo, dentro del proceso trágico que era, las recuerdo como hasta con... pues como con cariño, como una cosa entrañable que dices... jo, pues cómo se unió, porque, claro, toda esta gente también lo pasó muy mal”*. La persona entrevistada comenta que, pese a pasar el duelo juntos en una unidad familiar, cada miembro lo elaboró individualmente, con diferentes ritmos: *“Lo que sí que he visto es que cada miembro de la familia elabora su duelo individualmente, cada uno tiene sus herramientas, sus recursos y hace lo que puede”*. Durante la entrevista se pueden ver frases que hacen alusión a las diferentes etapas definidas por Kübler-Ross. La aceptación la podemos ver mediante la referencia que hace a su visión actual del recuerdo hacia su hermano a través de elementos físicos como ropa u objetos. Recalca que ya no le duele, sino que lo vive como algo de recuerdo o incluso “culto”. Finalmente añade que un proceso traumático nunca se llega a superar sino que se aprende a convivir con ello: *“Pero yo creo que he aprendido a vivir con ello, creo que una cosa así traumática tampoco se llega a superar, aprendes a convivir con ella, ¿no?”*



5.3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Los resultados de este trabajo se han comparado con los datos de paradas cardíacas extrahospitalarias en España publicados en el registro OHSCAR (*Out of Hospital Spanish Cardiac Arrest Registry*) y el Informe sobre la situación de la Parada Cardíaca Extrahospitalaria en España (CERCP, Consejo Español de Reanimación Cardiopulmonar, 2022). En Navarra en el periodo analizado (2017-2020) el 28,15 % de las personas afectadas por parada cardíaca fueron mujeres, frente a un 71,85 % de hombres. En el caso de los resultados en España, un 29,1 % de los afectados fueron mujeres frente a un 71,9% que fueron hombres, datos muy similares a los hallados en este estudio. La media de edad de los casos de parada cardíaca en Navarra es de 67 años, mientras que en España es de 64 años. En Navarra un 23,57 % de las paradas no fueron presenciadas. Por su parte, en España un 22,2 % de las paradas no fueron presenciadas, lo cual vuelve a mostrar una estrecha coincidencia. En Navarra fallecen el 87,64 % de los afectados por parada cardíaca. En España fallecen o se quedan en estado vegetativo el 64,7 % de las víctimas. Se puede apreciar que en Navarra la tasa de fallecidos es mucho mayor. Sería necesario investigar acerca de las causas de estas diferencias y comprobar que no se deban a un déficit de registro de los casos a nivel estatal.

La tasa de supervivencia es más alta en los casos en que se aplicaron maniobras de RCP precozmente. Asimismo, tan solo un grupo reducido de personas aplicó las técnicas de reanimación cardiopulmonar. En dicho estudio, de los 5.000 encuestados totales sólo el 30 % se veía capaz de llevar a cabo este procedimiento. Respecto a los datos obtenidos de la entrevista, existen diversos factores de riesgo en el proceso de enfrentar el duelo agrupados en cuatro categorías: características personales, relacionadas con el fallecido, de la muerte, aspectos relacionales... (Barreto *et al.*, 2012). En el caso de la persona entrevistada, confluyeron varios factores de riesgo: la juventud, tanto del doliente como del fallecido, y el apego familiar. El que la muerte fuese repentina e inesperada también puede complicar el proceso de duelo. Respecto a los factores protectores en el proceso del duelo y que, por tanto, facilitan su desarrollo, se encuentran la madurez del doliente (Barreto *et al.*, 2012). La persona entrevistada cumple estas características. Además, otros aspectos relacionados con el entorno social están también presentes en este caso como un importante factor protector.

6. CONCLUSIONES

6.1. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO CUANTITATIVO: ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO DE LA SITUACIÓN DE PARADA CARDÍACA EXTRAHOSPITALARIA EN NAVARRA

Del estudio cuantitativo, se pueden extraer las siguientes conclusiones: El sexo de la víctima no influye de forma directa en la supervivencia tras una parada cardíaca. Sin embargo, sí supone una diferencia a la hora de tener más riesgo



de padecerla, ya que esta dolencia afecta a un mayor número de hombres que de mujeres. Respecto al primer interviniente en atender la parada, no se observa gran diferencia en la tasa de supervivencia entre la policía, los servicios de emergencias médicas u otros intervinientes (bomberos, servicios de atención primaria, etc.). En cambio, sí que se contempla una mayor frecuencia de casos atendidos por parte de los SEM respecto al resto de intervinientes. Respecto a si las paradas cardíacas fueron o no presenciadas, se observa una menor tasa de fallecidos cuando hubo testigos y, además, en el caso de testigos sanitarios la tasa de supervivencia es mucho mayor. La aplicación de las técnicas de SVB es crucial para aumentar la supervivencia en caso de parada cardíaca. Por tanto, se puede concluir que es fundamental extender estos conocimientos entre la población general.

6.2. CONCLUSIONES DEL ESTUDIO CUALITATIVO: ANÁLISIS DEL PROCESO DE DUELO TRAS EL FALLECIMIENTO DE UN FAMILIAR

En cuanto al estudio cualitativo, se puede deducir que afrontar un duelo por muerte súbita es complicado. Para facilitar este proceso puede ayudar que el fallecido recibiera técnicas de reanimación. En cuanto al conocimiento de maniobras de SVB por parte del familiar testigo, se halló que el choque emocional ante una situación así puede dificultar su aplicación. Se concluye que, aunque no todo el entorno social facilite ni ayude durante el duelo, el apoyo de los más cercanos es fundamental para facilitar este proceso. Sin embargo, pese a pertenecer a un mismo núcleo familiar, convivir juntos y recibir un mismo apoyo moral, cada persona experimenta un duelo individual y diferente al del resto. Asimismo, se pudieron observar las etapas del duelo descritas por Kübler-Ross.

7. BIBLIOGRAFÍA



8. ANEXOS



Anexo 1



Anexo 2



Anexo 3



La vida tras el cáncer infantil: estudio sobre la calidad de vida y efectos tardíos en supervivientes de la Región de Murcia

/ PREMIO FUNDACIÓN VENCER EL CÁNCER

AUTORA | LEIRE DÍAZ BAS

COORDINADORES | ANTONIO GARCÍA ZAMORA Y ADOLFO MUÑOZ PALANCAS

CENTRO | IES FRANCISCO ROS GINER

CIUDAD | LORCA-MURCIA

RESUMEN |

La supervivencia frente al cáncer infantil ha aumentado exponencialmente en los últimos años, trayendo consigo una gran cantidad de adultos supervivientes. El objetivo de este trabajo es evaluar la Calidad de vida Relacionada con la Salud (CVRS) e incidencia de efectos tardíos asociados a los tratamientos en los supervivientes de la Región de Murcia. Para la realización del análisis se han utilizado el Cuestionario de Salud SF-36, conformado por 36 ítems que evalúan distintas áreas de la CVRS, además de la Base de datos del Programa Ambiental y Comunitario de Largo Seguimiento de Supervivientes de Cáncer Pediátrico de la Región de Murcia (PLASESCAP-MUR), de la que hemos extraído los datos relacionados con las variables sociodemográficas y clínicas de la muestra. El estudio se ha realizado sobre una muestra de 96 supervivientes diagnosticados en la infancia, mayores de 18 años y sin tratamiento hace 5 o más años. Las escalas de los cuestionarios se diseñaron para evaluar la puntuación (0-100) en cada área. La función física obtuvo un valor de (93.33), rol físico (72.14), rol emocional (60.07), vitalidad (66.93), salud mental (72.63), función social (84.50), dolor corporal (76.92) y salud general (72.85). Tras la discusión de resultados se obtuvo que, en comparación con otras muestras sanas, los SCIJ de la Región de Murcia presentaban áreas de la CVRS notablemente afectadas tales como el rol físico, la función física y la función emocional. En el resto de áreas no se observan grandes diferencias.



ABSTRACT |

Childhood cancer survivors have increased considerably during the last years, which also means an important number of adult survivors. The aim of this paper work is to study the Health-related Quality of Life (HRQoL) and the incidence of late effects that are associated with cancer treatments in survivors in the Region of Murcia. In order to carry out this analysis a SF-36 Health Questionnaire has been used. This questionnaire consisted of 36 items which were used to evaluate the different areas of HRQL, as well as the database of the Environmental and Community Long-term Programme for Childhood Cancer Survivors in the Region of Murcia (PLASESCAP-MUR), from which we teased out the data related to the socio-demographic and clinical variables of the sample. The study was carried out on a sample of 96 cancer survivors who were diagnosed from this illness during their childhood, who are older than 18 years old and have not had any treatment during the last 5 years or more. The questionnaire scales were designed to evaluate the score from 0 to 100 in each of the areas, being the values obtained 93.33 for physical function, 72.14 for physical role, 60.07 for emotional role, 66.93 for vitality, 72.63 for mental health, 84.50 for social function, 76.92 for physical pain and 72.85 for general health. Once the results were analysed, we saw that when comparing our results with other samples from healthy people, the ICSJ of the Region of Murcia showed some significantly affected HRQoL areas, such as the physical role, and the physical and emotional functions. No significant differences were seen in the rest of the areas.



1. INTRODUCCIÓN

Las enfermedades crónicas como el cáncer infanto-juvenil afectan considerablemente a la calidad de vida (CV) del paciente durante el periodo de tratamiento y tras este. Los numerosos avances que se han llevado a cabo durante los últimos años en las terapias han hecho que la tasa de mortalidad del cáncer en la edad infantil disminuya exponencialmente aumentando, por ende, la cantidad de adultos que han padecido alguna de estas enfermedades siendo niños, es decir; adultos supervivientes.

Los niños y adolescentes que sobreviven a estas patologías, tienen alrededor de un 70% de probabilidades de desarrollar alguna patología a los treinta años de finalizar el tratamiento y altas posibilidades de que sea potencialmente mortal.

La principal motivación e interés que hemos tenido por este tema en concreto y su investigación viene de haber sido yo misma diagnosticada de una leucemia linfoblástica aguda cuando tenía once años. Al haber ido detectando estos efectos a largo plazo tanto en mis compañeros de hospital como en mí misma, he desarrollado un gran interés por la verdadera incidencia de estos en los supervivientes de cáncer infanto-juvenil (SCIJ) y sus consecuencias en la calidad de vida de los mismos, llevándome a la realización de este trabajo y profundización en el tema. Además creemos muy importante a nivel social que se trabaje sobre la concienciación de este tipo de “caras” del cáncer menos conocidas por la gente. La solución al problema de calidad de vida de los pacientes de cáncer no viene de la mano del alta ni la remisión de esta enfermedad sino que está determinada por la implementación de unidades medioambientales de largo seguimiento, la atención psicológica especializada y el nuevo enfoque hacia las terapias dirigidas.

Una vez expuesto lo anterior, los objetivos que se han planteado en esta investigación son:

1. Estudiar la calidad de vida relacionada con la salud en un grupo de adultos supervivientes de cáncer infantil.
2. Evaluar si los hábitos de vida y desarrollo de los SCIJ se ven condicionados por el hecho de ser supervivientes
3. Estudiar la incidencia de los efectos tardíos asociados a los tratamientos y relacionarla con la CVRS de los supervivientes.

Por otro lado, las dos hipótesis alrededor las cuales se ha diseñado y desarrollado el proyecto son que existe una gran incidencia de efectos a largo plazo, tanto físicos como psicológicos, tras la administración de tratamientos contra el cáncer que provocan un deterioro en la CVRS de los SCIJ y que el desarrollo y los hábitos de vida de los SCIJ se ven alterados en comparación a la población general de su edad debido a haber sido pacientes oncológicos y conocer los riesgos de esto.



2. MATERIALES Y MÉTODOS

DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Los datos se han obtenido mediante el Cuestionario de Salud SF-36 del que posteriormente desarrollaremos el funcionamiento. A continuación hemos trasladado los datos a una hoja de cálculo donde hemos aplicado las correspondientes fórmulas para trasladar las escalas a datos entre los 0-100 puntos. Además se han consultado las variables sociodemográficas y clínicas de la muestra recogidas en las historias del Programa Ambiental y Comunitario de Largo Seguimiento de Supervivientes de Cáncer Pediátrico de la Región de Murcia (PLASESCAP-MUR) que pueden condicionar la CV del superviviente; aunque no se ha podido correlacionar con los resultados obtenidos en el cuestionario por falta de tiempo y medios. Sí que se han involucrado en el estudio los hábitos de vida y variables académicas de los supervivientes de cáncer.

Una vez obtenidos los resultados del Cuestionario de Salud SF-36, se han comparado con los obtenidos en otros estudios similares hechos con supervivientes y con muestras sanas o de control así como se han consultado datos estadísticos sobre hábitos de vida y desarrollo educativo del INE y otros estudios e instituciones para relacionarlos y compararlos con los recogidos en el programa.

UNIDAD DE ESTUDIO

Este estudio se ha realizado con la ayuda del Programa Ambiental y Comunitario de Largo Seguimiento de Supervivientes de Cáncer Pediátrico de la Región de Murcia (PLASESCAP-MUR), ubicado en el Hospital Clínico Universitario Virgen de la Arrixaca, en Murcia. Que ha aportado los datos clínicos, sociodemográficos, de hábitos de vida y académicos. La población a la que se ha dirigido el estudio han sido 96 supervivientes de cáncer infantil de la Región de Murcia de entre 18-45 años de edad diagnosticados en la infancia.

CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN

Los criterios de inclusión aplicados a la muestra para la realización del proyecto han sido los siguientes:

- Formar parte del Programa Ambiental y Comunitario de Largo Seguimiento de Supervivientes de Cáncer Pediátrico de la Región de Murcia (PLASESCAP-MUR)
- Haber sido diagnosticado de cáncer antes de los 14 años de edad
- Haber finalizado el tratamiento hace 5 o más años
- Ser mayor de edad en el momento del estudio

En cuanto a los criterios de exclusión, no se ha seguido ninguno.



TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Cuestionario SF-36

Para la recolección de datos necesarios se ha utilizado la versión española del Cuestionario de Salud SF-36 v2, adaptada por J. Alonso y cols 2003. Este cuestionario es una escala genérica que proporciona datos sobre la CVRS del paciente y su estado de salud. Está compuesto por 36 ítems que evalúan los estados positivos y negativos del estado de salud y calidad de vida del encuestado. Este cubre las escalas de: Función física, Rol físico, Dolor corporal, Salud general, Vitalidad, Función social, Rol emocional y Salud mental. Adicionalmente, el SF-36 incluye un ítem que pregunta sobre el cambio en el estado de salud general respecto al año anterior.

3. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

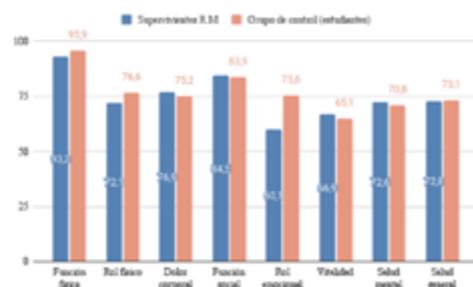
El análisis y discusión de resultados se ha dividido por tipo de variable para mayor claridad y para una mejor correlación con los objetivos planteados. Se han dividido en escalas del Cuestionario SF-36, hábitos de vida y desarrollo escolar y variables clínicas destacables.

ESCALAS DEL CUESTIONARIO DE SALUD SF-36

Un estudio de la universidad de Sevilla, recogió las diferentes escalas del cuestionario aplicadas a estudiantes sanos de la propia universidad (Gavala-González et al., 2022). A continuación se compararán nuestros resultados con en el mencionado estudio

Figura 1

Comparativa entre los resultados de las escalas del SF-36 de SCIJ de la Región y estudiantes sevillanos



En la figura se pueden observar las puntuaciones de cada una de las ocho escalas recogidas por los estudios. Las escalas relacionadas con el estado de salud físico son las que más diferencias presentan entre los supervivientes y el grupo de control de estudiantes, siendo el rol físico el más afectado. En la función física también se observan diferencias en la puntuación.

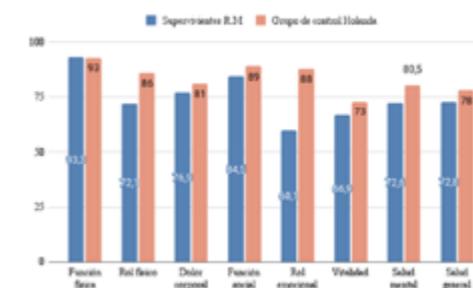


Pasando al área psicológica, se observan diferencias notorias en la CVRS de los ex-pacientes. En el rol emocional la diferencia de puntuaciones representa las limitaciones de los SCIJ para llevar a cabo sus actividades diarias por consecuencia de problemas en su salud emocional, al contrario que en la función social donde no se observan diferencias significativas.

En los resultados de las escalas de dolor corporal, vitalidad y salud mental se observan diferencias reseñables, esta vez a la inversa; los supervivientes de cáncer infantil presentan mayor calidad de vida en estas escalas que el grupo control. Estas son especialmente subjetivas y podemos asociar estos resultados con un concepto emergente en psicología, el crecimiento post-traumático. Este dota al paciente de una autopercepción mejorada de su realidad actual por la tendencia a comparar con el pasado; generando en ellos una actitud resiliente y de aceptación e incorporación a su vida de los problemas ocasionados por la enfermedad, llevando a tomarlos como norma, obteniendo los mismos resultados en estas escalas que la población general. Al ser escalas mayoritariamente subjetivas, no se puede apreciar realmente la diferencia en la CVRS ocasionada por los tratamientos. Continuando con el primer bloque del análisis, se va a realizar una comparación con un estudio de diversos hospitales holandeses. En la Figura 2 se recogen los datos de ambos estudios. El grupo control holandés está conformado por 2295 personas.

Figura 2

Comparativa entre los resultados de las escalas del SF-36 de SCIJ de la Región y un grupo de control Holandés



En esta segunda comparación se observan diferencias en todas las escalas (>0.5) excepto en la escala de función física que representa una diferencia de solo 0.3 puntos. Las escalas más afectadas son el rol físico y el rol emocional con una diferencia de más de 15 puntos en ambos casos y sobrepasando los 25 en el rol emocional; es decir, los supervivientes presentan muchas más dificultades para llevar a cabo las actividades diarias y cotidianas por consecuencia de una mala salud, tanto física como emocional. Lo que afecta en gran medida a su calidad de vida.

En la escala de dolor corporal, los supervivientes también presentan menor puntuación, al igual que en las escalas de vitalidad y función social. La función social puede haber sido influenciada por el rol físico y emocional, ya que si no se posee una buena calidad de vida relacionada con estos dos aspectos, no se



podrán llevar a cabo con normalidad las actividades sociales cotidianas, impidiendo y dificultando una calidad de vida próspera.

Los ítems relacionados con la salud mental también reportan una puntuación baja en los supervivientes, concluyendo con el ítem de transición asociado a la salud general y si se piensa que esta va a empeorar o no en un periodo corto de tiempo, en el que los supervivientes difieren en más de 5 puntos con la población holandesa.

La diferencia de idiosincrasia por la variación de la zona geográfica no permitió relacionar los resultados con los fenómenos esperados.

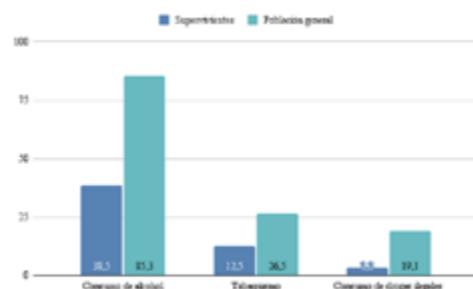
HÁBITOS DE CONSUMO DE DROGAS Y DESARROLLO ESCOLAR

Para el análisis de los datos relacionados con el consumo de drogas se han consultado datos publicados por el Instituto Nacional de Estadística (INE) filtrando estos con las características que más se adecuaban a nuestra muestra, situando el rango de edad entre los 15-24 años y el consumo en los últimos 12 meses. Los datos recogidos se han extraído de las Encuestas sobre Alcohol y Drogas en Población General en España (EDADES) de diferentes años ajustándose al dato buscado y del informe del Observatorio Español de Drogas y Adicciones (OEDA), la fecha de publicación de ambas estadísticas oscilaba entre 2019-2022.

Para el análisis de las variables académicas, se han consultado diversos estudios además de los datos publicados por el Programa para la Evaluación Internacional de los estudiantes (PISA) del año 2018.

Figura 3

Comparativa de los hábitos de consumo de drogas en SCIJ con la población general en los últimos 12 meses



Se puede observar que un 50% más de la población general de una edad aproximada a la de la muestra consume alcohol en comparación a los supervivientes.

Dentro del consumo de alcohol destaca un dato concreto sobre el consumo de riesgo evaluado con el cuestionario validado (AUDIT-C) en los supervivientes. Si relacionamos los resultados, se puede observar cómo los adultos supervivientes presentan un menor consumo de alcohol, si bien de entre los que lo



consumen se observa un mayor consumo de riesgo. Mientras la población general tiene un consumo más extendido pero más responsable.

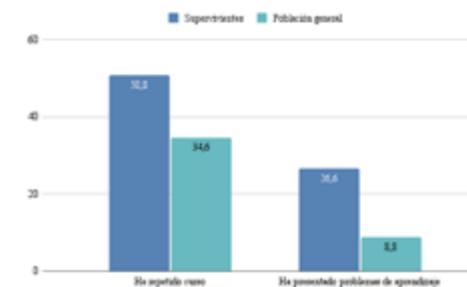
Por último, los datos sobre el consumo de drogas ilegales han sido recogidos de la encuesta realizada por la OEDA (2019). El consumo de drogas ilegales (derivados del cannabis y cocaína) ha reportado un porcentaje muy bajo en la muestra.

Se puede relacionar la diferencia de consumo con una gran concienciación sobre su estado de salud, los riesgos que estas prácticas producen en él y una preocupación respecto a este. Esto también se puede asociar al previamente desarrollado crecimiento post-traumático pues el ex-paciente es consciente de sus circunstancias tras la enfermedad e incorpora unos mejores hábitos de vida como consecuencia de su crecimiento personal ante la superación de la enfermedad.

La formación académica es una variable importante de la CV de los niños y jóvenes. El entorno escolar suele percibirse hostil al regreso del niño tras el tratamiento por falta de conocimientos para la integración del paciente por parte del personal docente y el desconocimiento de la enfermedad por parte de los niños. La desentrevista y desarrollo en esta etapa supondrán un gran avance o una gran traba en su calidad de vida como adulto superviviente.

Figura 4

Comparativa de la incidencia en problemas académicos en SCIJ con la población general



Los datos sobre la pérdida o repetición de curso han sido extraídos del Programa para la Evaluación Internacional de los estudiantes (PISA) del año 2018 de la Región de Murcia. Se puede observar en la Figura 4 como varían los porcentajes entre SCIJ y los estudiantes murcianos, más de un 50% de los supervivientes ha repetido algún curso frente a aproximadamente un 35% de la muestra regional. Pese a que en los hospitales existen aulas hospitalarias y personal docente que acompaña al enfermo durante todo el tratamiento, en algunos casos existe una falta de comunicación con el centro de procedencia del niño o incluso una diferencia demasiado elevada en los programas y planes de estudios de ambas instituciones; esto puede provocar una dificultad al todavía paciente para pasar el curso o al futuro superviviente para los siguientes cursos.

En el segundo diagrama de barras se observan los porcentajes de alumnos que precisaron ayuda psicopedagógica en su centro escolar de referencia por pro-



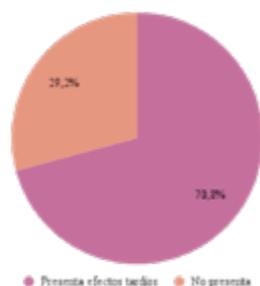
blemas de aprendizaje, Gurney JG et al. (2009) recoge que más de un 25% de los supervivientes precisaron ayuda frente a menos de un 10% de la población correspondiente por edad y ciclo. Esta variación entre las muestras se asocia al largo periodo que pasa el niño alejado del entorno escolar durante el tratamiento; se reportaron mayor incidencia en niños diagnosticados en edad preescolar y durante el primer ciclo de primaria, donde los niños comienzan a tener contacto con el sistema educativo y a conocerlo más a fondo. Esta es la etapa en la que se desarrollarán los conocimientos básicos sin los cuales pueden darse este tipo de problemas para interiorizar y asociar lecciones en el futuro.

Durante el periodo de tratamiento el niño asocia el hospital, sus instalaciones y su personal a una sensación de seguridad que le hace sentir cómodo y que se convierte en su normalidad. Es por esto y por la desconexión con su vida estudiantil durante este periodo que a la hora de regresar a sus estudios pueden desarrollar alteraciones en los procesos de aprendizaje.

INCIDENCIA DE EFECTOS A LARGO PLAZO EN LA MUESTRA

Figura 5

Inciden- cia de efectos a largo plazo en la muestra



Dentro del 70,8% de supervivientes que han desarrollado efectos a largo plazo, más de un 55% los han desarrollado en un grado >2, es decir, moderado, grave o potencialmente mortal para el superviviente. El 12,5% restante presenta efectos tardíos leves que no afectarán a tanta escala en su calidad de vida relacionada con la salud. Estos datos difieren en comparación a un estudio realizado en el Hospital Universitario Miguel Servet de Zaragoza publicado en 2018 en el que se evaluó la calidad de vida de 54 supervivientes de leucemia aguda infantil mediante el cuestionario SF-36 y que concluyó que más de la mitad de los encuestados presentó al menos una comorbilidad o efecto tardío y alrededor del 20% de la muestra presentó un problema de salud clasificado como grave. Los resultados obtenidos fueron menores que los obtenidos en nuestro estudio. En cambio, en un estudio de Dickerman. D (2007), los resultados coinciden en gran parte con nuestro estudio ya que la incidencia acumulada de efectos tardíos fue de alrededor de un 65% y dentro de este, alrededor de un 25% de los procesos se clasificaron como graves, incapacitantes o potencialmente mortales.



En todos los estudios consultados los supervivientes presentaban una incidencia acumulada de procesos crónicos a los 30 años del tratamiento superior al 75%. Aumentado, a la vez que los años desde el diagnóstico, la gravedad de las patologías diagnosticadas.

4. CONCLUSIONES

1. Una vez difundidos y analizados los cuestionarios y en relación al primer objetivo podemos concluir que efectivamente la calidad de vida relacionada con la salud de los 96 supervivientes de la muestra se ha visto afectada. Pese a que en algunas de las escalas más subjetivas se pudiesen apreciar resultados a priori contradictorios, estos se pueden asociar al fenómeno psicológico de crecimiento post-traumático; en este el paciente desarrolla una imagen alterada positivamente de su salud actual como resultado de una comparación de su estado de salud física y mental durante el periodo de tratamiento. Las escalas de función física y rol físico fueron las más afectadas junto con la de rol emocional; es decir, uno de los obstáculos más pronunciados para el superviviente de cáncer es continuar desarrollando su vida con normalidad debido a su condición física y su estado de salud emocional.

2. Los hábitos de consumo tanto de alcohol como de drogas ilegales se han mostrado alterados en los supervivientes, reportando en todos los casos mucho menos consumo. Esto se asocia al conocimiento del paciente sobre su propio estado de salud y lo perjudicial que puede ser el consumo de estas sustancias para su futura salud y calidad de vida. En el consumo de riesgo de alcohol los supervivientes han manifestado una incidencia mayor por lo que, pese a beber alcohol menos porcentaje de supervivientes en comparación a la población general, estos lo hacen de manera más desmesurada e irresponsable.

Por otro lado, en las variables académicas, también se ha reportado gran diferencia en los resultados obtenidos de estas. Los alumnos supervivientes de cáncer presentan una grave tendencia a repetir curso y a presentar problemas de aprendizaje en comparación al alumnado español. Este problema se puede relacionar con la desconexión con el sistema educativo que experimenta el paciente durante su tratamiento y la falta de personal y recursos en algunas aulas hospitalarias de los hospitales pediátricos españoles.

3. Los resultados de la muestra de los 96 supervivientes de cáncer infantil revelan una gran incidencia de efectos tardíos, siendo esta de alrededor de un 70%. Esta incidencia puede ser la causante de que se reporten menores puntuaciones en las escalas de función física o rol emocional, provocando el deterioro de la calidad de vida estudiado. Dentro de este 70%, más de un 20% reportan efectos crónicos clasificados como graves, incapacitantes o potencialmente mortales para el paciente. Este factor es otro de los más influyentes en la CVRS de los supervivientes. Los resultados obtenidos concuerdan con los aportados por otros estudios en diferentes años.



AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a la XXXIV edición del Certamen de Jóvenes Investigadores por promover la inquietud y curiosidad sobre la investigación. A los supervivientes de la Región de Murcia que han formado parte del estudio. A mis tutores, D. Antonio García Zamora y D. Adolfo Muñoz Palancas por haber seguido de cerca el estudio y haber contribuido en su correcto desarrollo. Agradecer a D. Alberto Cárceles Álvarez, médico e investigador de la planta de medicina medioambiental en el Hospital Clínico Universitario Virgen de la Arrixaca, por su colaboración y por habernos facilitado los datos estadísticos necesarios. Al Programa Ambiental y Comunitario de Largo Seguimiento de Supervivientes de Cáncer Pediátrico de la Región de Murcia (PLASESCAP-MUR) por haber aportado parte de la información y, por último, a mi familia y amigos.

REFERENCIAS





TECNOLOGÍA E INGENIERÍA

PRIMER PREMIO |

- 328 - **Desarrollo de un software para el análisis de migración celular en cultivos**
CRISTINA MARTÍNEZ TOLEDO

SEGUNDO PREMIO |

- 340 - **Cálculo del factor *CdA* mínimo para estabilizar rotacionalmente un globo sonda en su ascensión a través de la atmósfera, y su aplicación práctica**
ALEXÀNDER MACIÀ ALCÀNTARA

TERCER PREMIO |

- 352 - **Evaluación de resistencia a enfermedades de las principales especies de leguminosas cultivadas en España**
MARÍA ARIZA INÉS, ALEJANDRO ANTONIO BELMONTE PÉREZ Y ÁLVARO ROT PORRAS
- 364 - **"Ver, conocer y fotografiar". La participación ciudadana en la creación de un banco de aves en las Bardenas Reales**
CELIA DE VEGA PÉREZ Y RITA MALDONADO REMACHA
- 376 - **Inteligencia artificial y paneles solares bifaciales para la optimización del autoconsumo energético**
MARTA SIERRA SEGOVIA

ACCÉSIT |

- 388 - **Prototipo de extrusión de botellas de plástico PET en filamento reciclado rPET para una ecoimpresión 3D sostenible**
LAURA MAYOL LÓPEZ, RUBÉN MOLERO MUÑOZ Y AMY RAMÍREZ ARIAS



Desarrollo de un software para el análisis de migración celular en cultivos

/ PRIMER PREMIO

AUTORA | CRISTINA MARTÍNEZ TOLEDO

COORDINADORA | VIRGINIA SANZ PÉREZ

CENTRO | IES ALKALÁ NAHAR

CIUDAD | ALCALÁ DE HENARES-MADRID

RESUMEN |

La migración celular es el movimiento dirigido de las células en respuesta a un estímulo. Es necesaria en distintos procesos biológicos como la reparación de tejidos, el desarrollo embrionario o ciertas patologías como por ejemplo el cáncer, donde es necesario que las células tengan capacidad migratoria para poder metastatizar. En el desarrollo de fármacos contra el cáncer, los ensayos destinados a evaluar la capacidad de migrar de las células tumorales se realizan como un paso fundamental: impedir esta migración y, por lo tanto, la metástasis, es un objetivo clave. El ensayo de herida in vitro es el método más frecuentemente utilizado para el estudio de la migración celular, aunque el análisis de las imágenes obtenidas con los softwares tradicionalmente empleados es tedioso y requiere el ajuste manual de muchos parámetros, por lo que está sometido a la valoración subjetiva del investigador. El objetivo del proyecto es la adaptación de un software para ciencia de los materiales basado en LabVIEW con el objetivo de desarrollar un programa para el análisis de imágenes de ensayos de herida que resulte rápido de usar, fácil, preciso y objetivo.



ABSTRACT |

Cell migration is the directed movement of a cell in response to a stimulus. It is fundamental for many biological processes such as tissue repair and embryo development. It is also related to some important pathologies such as cancer metastasis, where cell migration studies are extremely important to improve the treatment of malignant neoplasms. The in vitro scratch or wound healing assay is a frequently used method for the study of cell migration. However, obtaining statistically significant results requires time-consuming image analysis procedures. Furthermore, traditionally used softwares for image analysis like ImageJ have some downpoints, such as the manual adjustment of too many parameters. The aim of this study is to review the main characteristics of cell migration and how it is studied, as well as the development of a software prototype for the analysis of scratch assay images with a minimal set of manually adjustable parameters. The development of the software was based on the programming environment LabVIEW, and artificial intelligence algorithms (the neural network U-Net) were used for automated image segmentation. The program was tested for accuracy by comparing the data from previously analyzed scratch images with those obtained after the image analysis with the software developed for this study. Similar results were obtained in less time and in a more automated and reproducible way. Therefore, we have developed a user-friendly prototype software to accurately analyze scratch assay images, fast and easy to use without extensive computer skills.



1. INTRODUCCIÓN

La migración celular es el movimiento dirigido de las células en respuesta a un estímulo. Es un proceso celular fundamental que comienza durante el desarrollo embrionario, y tiene gran importancia en procesos biológicos como la respuesta inmunitaria, el desarrollo del sistema nervioso o el mantenimiento de la homeostasis de los tejidos y la reparación de heridas, así como en la progresión de diversas patologías, como el cáncer. Su estudio y comprensión es fundamental para el desarrollo de nuevas estrategias terapéuticas para acelerar y mejorar los procesos de reparación de heridas, la formación de tejidos artificiales, o el tratamiento de las patologías relacionadas con este proceso (Hulkower and Herber, 2011; Fernández-Espartero, 2013; Merino-Casallo *et al.*, 2022).

1.1. CONCEPTO DE CÁNCER Y METÁSTASIS

El cáncer es una de las principales causas de mortalidad en el mundo. Cuando una célula normal envejece, se daña o tiene alguna anomalía, muere. Sin embargo, si surge algún fallo en este proceso, estas células anormales adquieren resistencia a la apoptosis y se dividen de forma descontrolada, formando un tumor maligno. Estas células son capaces de migrar e invadir el tejido que las rodea, propagándose a otras partes del cuerpo, originando metástasis. Los tumores metastásicos son los más peligrosos y los que causan la mayoría de muertes por cáncer, ya que experimentan una alta tasa de mutación espontánea y suelen ser extremadamente resistentes a las terapias actuales (Bravo-Cordero, Hodgson and Condeelis, 2012).

1.2. ETAPAS DE LA ONCOGÉNESIS, MIGRACIÓN CELULAR Y METÁSTASIS

Para que un tumor metastatice, debe pasar por distintas “etapas”. Primero, las células adquieren mayor capacidad proliferativa y acumulan alteraciones que las hacen más resistentes a la muerte celular (adquisición de inmortalidad). Después adquieren la capacidad de degradar los componentes de la matriz extracelular que forman el “límite” del tejido, se separan del tejido o epitelio y adquieren capacidad migratoria (individual o colectiva), proceso denominado “transición epitelio-mesenquimal” (EMT), que también es fundamental en otros procesos en los que interviene la migración celular (Benedetti and Reyes, 2015). Una vez en el estroma, las células siguen proliferando, generando diversas poblaciones celulares (invasión local); si las masas formadas por el tumor son grandes, acaban teniendo dificultad para nutrirse, por lo que ciertas células pueden adquirir capacidad angiogénica y/o linfangiogénica. A la célula tumoral le resultará más fácil moverse y pasar entre las células endoteliales de estos neovasos para finalmente alcanzar el torrente circulatorio. Aquellas células especialmente preparadas para resistir la acción del sistema inmunitario podrán sobrevivir y salir del torrente sanguíneo, llegando a otros órganos y colonizando su estroma, formando nuevas masas en el proceso inverso a la EMT denominado “transición mesénquimo-epitelial” (MET). El ciclo volverá a empezar y



el cáncer se expandirá progresivamente (Arvelo, Sojo and Cotte, 2016; Hincapie and Gallego-Gómez, 2020).

Muchos de estos acontecimientos pueden ocurrir de forma simultánea, ya que los tumores no son masas homogéneas. Durante las sucesivas divisiones celulares, surgen diferentes poblaciones celulares que pueden presentar características diversas. Así, como si de un ejército invasor se tratara, surgen células capaces de degradar la matriz extracelular con mayor eficiencia, otras capaces de secretar factores inductores de la angiogénesis, células capaces de “engañar” al sistema inmunitario, otras productoras de factores que contribuyen a la supervivencia de las demás: un “ejército” cuya misión es generar y proteger poblaciones celulares capaces de atravesar las paredes vasculares, sobrevivir en el torrente circulatorio, llegar a un órgano diana, implantarse en dicho órgano y reiniciar el ciclo de proliferación-invasión característico de los tumores malignos.

En conclusión, la migración celular en tumores es fundamental para que estos puedan adquirir la capacidad de metastatizar. Debido a ello, el estudio y comprensión de este proceso permitiría el desarrollo de nuevas alternativas para el tratamiento de esta enfermedad, así como nuevas técnicas que puedan prevenir o tratar la metástasis de forma efectiva, lo que podría reducir significativamente el riesgo de muerte por cáncer. Además, frenar la migración en el tumor primario también podría ayudar a limitar o impedir la invasión local incluso antes de que se produzca metástasis (Palmer *et al.*, 2011; Bravo-Cordero, Hodgson and Condeelis, 2012).

1.3. ESTUDIO DE LA MIGRACIÓN CELULAR Y ANÁLISIS TRADICIONAL DE LAS IMÁGENES: EL ENSAYO DE HERIDA

1.3.1. DEFINICIÓN DEL ENSAYO DE HERIDA

De los métodos utilizados para estudiar la migración celular colectiva, el ensayo de herida (“wound healing assay”) es el más conocido y utilizado debido a su simplicidad y relativo bajo coste. Se basa en la observación y estudio de una monocapa de células a la cual se le ha realizado una “herida” o brecha, la cual intentarán cerrar a lo largo del tiempo. Una vez creada la herida, se tomarán imágenes de esta en la misma zona de la brecha cada cierto intervalo temporal, así como al comienzo (0h) y al final del experimento. Debido a la importancia del estudio de la migración en el cáncer, los ensayos de herida son un paso fundamental en el desarrollo de medicamentos antineoplásicos (*Molecular Devices*, no date; Nyegaard, Christensen and Rasmussen, 2016; Nunes and Dias, 2017). Una vez adquiridas las imágenes, se deben analizar con un software de análisis de imagen.



1.3.2. ANÁLISIS TRADICIONAL DE LAS IMÁGENES Y LIMITACIONES.

Entre los programas utilizados para analizar las imágenes de los ensayos de herida, el más común es ImageJ, un software de libre acceso y dominio público desarrollado en Java y principalmente orientado al campo de las ciencias de la salud. A pesar de tener una gran variedad de usos y funciones, se trata de un programa muy complejo y poco intuitivo. Hay muchos parámetros y medidas que requieren ser ajustados manualmente, por lo que hay demasiada interacción subjetiva del investigador que puede llegar a afectar a los resultados de forma significativa. Además, debido a su complejidad, el análisis de imágenes resulta tedioso y consume mucho tiempo. Debido a esto, se han creado varios *plugins* y programas alternativos para facilitar el análisis de ensayos de herida, aunque estos suelen ser de pago, difíciles de conseguir, instalar o utilizar, o siguen dependiendo mucho de la interacción del investigador. (Michael et al., 2004; Suarez-Arnedo et al., 2020).

2. CONCEPTOS PREVIOS

2.1. LABVIEW

LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) es un entorno de programación con un lenguaje visual gráfico creado por National Instruments (NI). Este lenguaje se basa en la conexión mediante cables de iconos gráficos en un orden secuencial formando un diagrama. En cada programa hay dos ventanas; el panel frontal o interfaz de usuario y el diagrama de bloques, el programa propiamente dicho. Cada diagrama de bloques o programa independiente es llamado "VI". En un VI se pueden introducir otros programas, llamados "subVI", que realizarán funciones concretas dentro del principal.

2.2. DEEP LEARNING Y U-NET

Deep learning es una rama del *machine learning*, a su vez parte del campo de la inteligencia artificial, que utiliza redes neuronales artificiales, algoritmos basados en el funcionamiento de las redes neuronales de los seres vivos. Este tipo de red neuronal aprende a reconocer patrones en una base de datos (un *input*) generando una predicción en datos del mismo tipo o similares (*output*). U-Net es una red neuronal convolucional de deep learning utilizada principalmente para tareas de visión artificial, sobre todo para segmentación semántica de imágenes. La segmentación de imágenes es el proceso de dividir una imagen en partes o regiones. La segmentación semántica es un algoritmo de deep learning que asocia una etiqueta o categoría a cada píxel presente en una imagen. Como su propio nombre indica, U-Net es una red con una estructura en forma de U. Funciona utilizando un algoritmo de optimización, el gradiente descendente, mediante el cual el modelo intenta minimizar lo máximo posible una función de error (*loss function*). Esta función cuantifica el error en el output producido por el modelo, es decir, cuánto varía la solución o predicción ofreci-



da por el programa de la "respuesta" que le hemos ofrecido en la base de datos. Después, el programa ajusta sus parámetros para minimizar esta función de error y acercarse más al resultado esperado. Además, debido a esta estructura, U-Net es bastante eficaz incluso con una base de datos limitada, al contrario que otros modelos de deep learning en los cuales se necesitan grandes series de datos para un correcto aprendizaje (Ronneberger, Fischer and Brox, 2015; Rédac, 2022).

2.3. HIPERPARÁMETROS EN REDES NEURONALES

En una red neuronal, los hiperparámetros son las variables ajustables que controlan el proceso de entrenamiento de un modelo. Sus valores se indicarán antes del entrenamiento y serán fijos durante este, por lo que es importante buscar un valor adecuado para cada uno para optimizar lo máximo posible el proceso de aprendizaje. Además de ajustar los hiperparámetros, es importante para el entrenamiento tener cierta variedad en las imágenes de la base de datos (Na8, 2021). El *epoch* es el número de ciclos completos a través de todos los datos de entrenamiento. En general la base de datos no puede pasar completa por el programa, por lo que se divide en varios lotes o "*batches*". El "*batch size*" es el número de datos dentro de cada uno de estos *batches*. Las "*iterations*" indican el número de veces que los parámetros del algoritmo son ajustados, número igual a la cantidad total de *batches* que hace falta para completar un *epoch*. Si el *batch size* es un número muy grande, a pesar de que entrene más rápido, puede que el modelo no aprenda las características, detalles y patrones importantes para hacer predicciones correctas (Brownlee, 2022). El *learning rate*, con un valor entre 0.0 y 1.0, controla cuánto cambian los parámetros del modelo cada vez que estos se actualizan. Si este valor es demasiado alto los cambios realizados serán más rápidos pero el modelo podría aprender de forma equivocada, y si es demasiado bajo el proceso tardaría demasiado y podría quedarse atascado (Jordan, 2020).

3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

Planteamos como hipótesis de trabajo que LabVIEW y U-Net podrían ser herramientas de utilidad para el desarrollo de un software capaz de realizar el análisis de ensayos de herida. Esto podría constituir un método preciso para el análisis de migración celular, más rápido, sencillo de utilizar y automático que los softwares tradicionales. Debido a las dificultades y problemas que presenta este análisis mediante métodos tradicionales, se ha planteado como objetivo principal del proyecto el desarrollo de un prototipo de software, basado en LabVIEW y U-Net, mediante la modificación de un programa para ciencia de los materiales y su adaptación para el análisis de ensayos de herida.



4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. MATERIALES

Se ha empleado la plataforma de desarrollo LabVIEW junto con el módulo NI Vision, una librería de LabVIEW utilizada principalmente para el desarrollo de aplicaciones de análisis y procesamiento de imagen, así como el software base previamente desarrollado para detección de bordes en materiales inorgánicos, cedido por el ingeniero Sergio Perosanz Amarillo (Universidad Politécnica de Madrid). También se utilizó un código de deep learning para la segmentación semántica de las imágenes basado en U-Net. Para la explicación y obtención de este código se ha realizado el curso online de Coursera “Deep Learning with PyTorch: image segmentation”. Para la programación del módulo de U-Net y su posterior uso en el software desarrollado, fue necesaria la descarga de la versión 3.9 de Python junto a las siguientes librerías: OpenCV, Albumentations, Pandas, Segmentation-models-pytorch y torch-torchvision. Para la creación del banco de datos necesario para entrenar y probar el modelo de deep learning, se utilizaron imágenes de ensayos de herida de uso público del repositorio “The Broad Bioimage Benchmark Collection” (BBBC), así como imágenes proporcionadas por la Dra. Marina Lasa (Universidad Autónoma de Madrid-CSIC) y por la Dra. María del Val Toledo (Dpto. Biomedicina y Biotecnología, UAH), siendo en total 126 imágenes con sus respectivas máscaras en blanco y negro. Por último, para la obtención y comparación de resultados se emplearon imágenes de la página de 4Dcell (4Dcell, no date) previamente analizadas con ImageJ.

4.2. MÉTODO EXPERIMENTAL: DESARROLLO Y FUNCIONAMIENTO DEL SOFTWARE

Algunos datos que se analizan en los estudios de migración celular, y que se obtienen con este programa, son el área de la herida, la distancia media entre los bordes de la brecha y la desviación estándar, además de una imagen en la que esté marcado el borde de la herida y una máscara en blanco y negro. También se obtiene una lista con todas las distancias entre bordes de la herida (por cada fila de píxeles).

4.2.1 ENTRENAMIENTO DEL MODELO DE DEEP LEARNING CON U-NET

Ciertos softwares de análisis de imagen que requieren del uso de funciones como thresholds, utilizados en este caso para la detección de bordes, es común que no funcionen de manera precisa si la imagen proporcionada tiene ruido o no tiene suficiente contraste, lo cual es muy común en las imágenes obtenidas en los ensayos de herida. Para solucionar este problema se ha utilizado un algoritmo de deep learning para la segmentación semántica de las imágenes. En este caso, las dos categorías que se diferenciarán serán la brecha y el resto de la imagen. El banco de imágenes introducido para entrenar al modelo consta de las imágenes de distintos ensayos de heridas y sus correspondientes máscaras



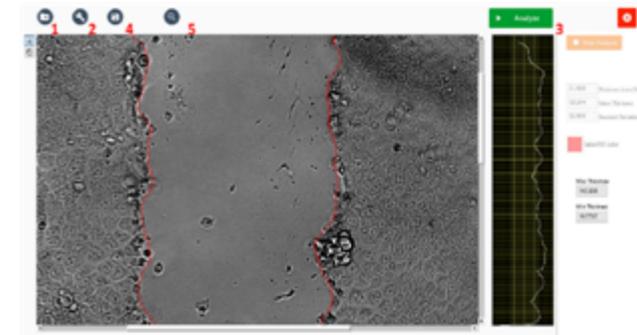
de capa, en las cuales la brecha aparece de color negro y las células del cultivo en blanco. Para mejorar el rendimiento del proceso de aprendizaje del modelo y aumentar su eficiencia y precisión fue necesario ajustar los valores de los hiperparámetros; finalmente se determinó un epoch de 25, un learning rate de 0.003 y un batch size de 16.

4.2.2 PROGRAMA DE LABVIEW PARA DETECCIÓN DE BORDES Y ANÁLISIS

El programa completo está compuesto de un VI principal, que contiene la interfaz de usuario, y cinco secundarios, cada uno de los cuales tiene una función concreta. Estas funciones se unen en el VI principal para que el programa completo trabaje de forma conjunta. El bloque principal de este VI es un “Case structure”: al pulsar cada uno de los botones se ejecutará la función correspondiente a ese “caso”. Hay 5 casos posibles, además del 0 (por defecto). La estructura general del programa e interfaz de usuario forman parte del programa original para ciencia de los materiales.

Figura 1

Interfaz de usuario del software, donde se indica el botón correspondiente a cada caso, que se corresponde con el orden en el que el usuario deberá pulsar cada botón.



Primero (caso 1), se abrirá la imagen seleccionada por el usuario y traducirá a escala de grises U8 para poder ser utilizada en el programa. Después (caso 2), se deben calibrar las imágenes antes de realizar los cálculos necesarios, es decir, hacer la equivalencia entre los píxeles que tiene una determinada distancia en la imagen y los micrómetros a los que equivaldría en la realidad. Las dos medidas serán introducidas por el usuario: los píxeles se determinarán al “dibujar” una línea en la imagen, y el valor de micrómetros será ajustado manualmente. Este SubVI forma parte del programa original.

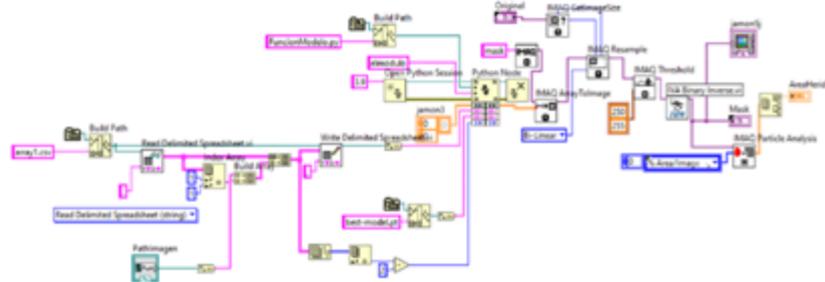
En el caso 3 hay varios módulos que intervienen. El primero contiene el algoritmo de U-Net, que está basado en el lenguaje de programación python, en su versión 3.9, por lo que para utilizarlo se debe añadir un módulo de python (“Python node”), al cual se le introducen distintos datos (la versión utilizada, el modelo previamente entrenado,...). El array que salga de este módulo será convertido de nuevo en una imagen, una máscara en blanco y negro, que estará comprimida, por lo que se deberá aumentar su tamaño al de la imagen original. Al ampliar la imagen aparecen ciertos píxeles grises que pueden dar lugar a



error, por lo que mediante un threshold se toman los valores de gris entre 250 y 255 como blanco y los que están por debajo de 250 como negro. Por último, se calcula el porcentaje de área que ocupa la brecha sobre la imagen total.

Figura 2

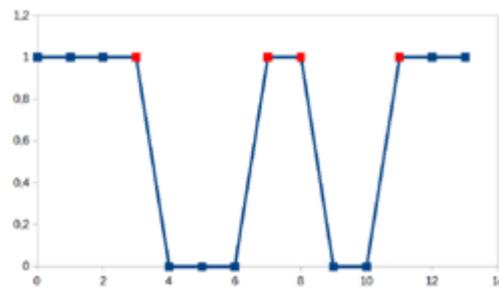
Diagrama de bloques del subVI que contiene el módulo de U-Net.



El siguiente módulo detectará y marcará el borde de la herida, y calculará el resto de datos necesarios para el análisis. El input será la máscara obtenida en el módulo de U-Net. Primero, por cada fila de píxeles se buscará cuáles son de color blanco, correspondientes a la zona de la imagen llena de células. Como la máscara está en binario, se guardarán los índices de los píxeles cuyos valores estén por encima de un threshold que mide 0.5, es decir, que sean blancos. En el siguiente bucle se busca dónde hay un “salto” de blanco a negro para encontrar los bordes. Para esto, a cada píxel de cada fila se le va sumando 1 y comparando los resultados esperados con los que el programa ha guardado en el bucle anterior. Se guardarán los píxeles en los cuales hay un salto entre valores (siempre que no sea el primero o el último) como bordes de la herida y se marcará un punto del color seleccionado por el usuario en todos ellos. Por último, se tomará el primer y último píxel guardado de cada fila para calcular la distancia entre bordes (espesor), que se guardarán en una matriz. Con estos datos el programa calculará la media de todas las distancias y la desviación estándar.

Figura 3

Gráfica de valores hipotéticos de una fila de píxeles. Los píxeles 0-3, 7-8 y 11 en adelante son blancos, por lo que estos números (índices) serán almacenados por el primer bucle. En el segundo bucle, al hacer la suma del píxel 3+1, se comparará el valor teórico que debería dar (4) con el que está guardado en el programa (7). Al ser estos valores distintos, se tomarán como borde los píxeles 3 y 7. Después se seguirá analizando de la misma forma cada píxel de cada fila de la imagen



Por último (caso 4), se guardan los datos obtenidos por el programa. Al pulsar el botón aparecerá un menú preguntando al usuario cuáles de los datos obtenidos desea guardar. Dependiendo de qué opciones hayan sido seleccionadas, se ejecutará uno o varios de los siguientes subdiagramas. El subdiagrama 1 sirve para guardar todos los datos numéricos calibrados, el segundo sirve para guardar la máscara de capa en valores de 0-255, y el tercero sirve para guardar



la imagen de la herida con el overlay. El caso 5 se puede pulsar en cualquier momento y sirve para ajustar el tamaño de la imagen al de la pantalla de la interfaz de usuario para visualizarla mejor. Este bloque forma parte del programa original para ciencia de los materiales.

5. RESULTADOS FINALES Y DISCUSIÓN

El programa es capaz de procesar las imágenes de forma rápida, y la interfaz de usuario es sencilla de comprender y utilizar. Únicamente se requiere que el usuario realice la calibración de la imagen, y el resto del análisis se completará en apenas unos segundos, por lo cual resulta ser un análisis automatizado y muy reproducible. Las líneas del borde obtenidas y la máscara en blanco y negro se ajustan con bastante precisión a la realidad, de forma similar e incluso superior a la proporcionada en varias de las imágenes de prueba (descritas en material y métodos). Los espacios libres de células de la herida, expresados en porcentaje sobre el total de la imagen, calculados con el programa tuvieron una diferencia del 7.38% de media al compararlos con los resultados proporcionados por la página de 4Dcells (Figuras 4 y 5). Esto se debe a la mayor precisión del programa desarrollado al determinar los bordes de la herida, por lo que el resultado es más aproximado a la realidad.

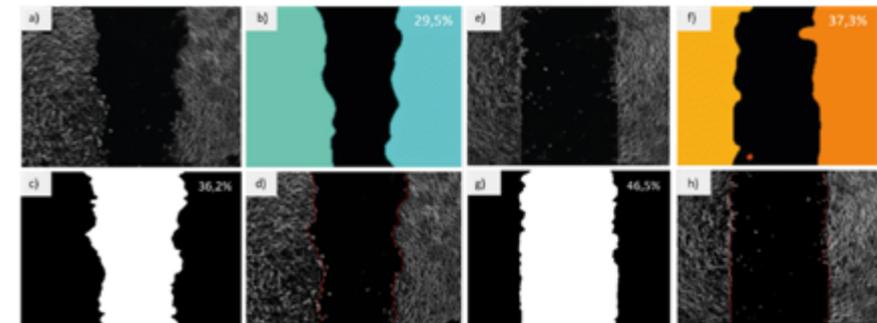
Figura 4

Porcentajes de área obtenidos al analizar varias imágenes con el software desarrollado, y comparación con los resultados ya publicados para las mismas imágenes, dando un porcentaje de diferencia entre ambos para el área de cada una. Al calcular la media de los distintos porcentajes de diferencia el resultado fue un 7.38% de error

Número de imagen	Area (%) de 4Dcells	Area (%). LabVIEW	Dif. entre resultados (%)
1	41.3	48.7	7.4
2	29.5	36.2	6.7
3	41.9	48.6	6.7
4	41.9	48.8	6.9
5	37.3	46.5	9.2

Figura 5

En esta figura se pueden ver las imágenes originales del ensayo de herida (a,e) y el análisis ya publicado obtenido con ImageJ (b,f), así como las máscaras de capa (c,g) y las imágenes con el borde de la herida marcado obtenidas con el software desarrollado (d,h).





La principal limitación que tiene el programa es la escasez de imágenes utilizadas para entrenar al modelo de U-Net, ya que es difícil encontrar un gran repertorio de imágenes de migración celular en el que se proporcionen la imagen original, la máscara en blanco y negro y el análisis. Además, el aspecto de las imágenes de ensayos de herida dependerá de muchos factores, como el tipo de célula, el aumento del microscopio o la luz al tomar la imagen. Debido a esto, las imágenes empleadas en el banco de datos no son lo suficientemente diversas para cubrir todos los casos posibles, por lo que, a pesar de que debido a las características de la red de U-Net el modelo sea bastante preciso, podría mejorarse aumentando la cantidad de imágenes empleadas. Otra posible mejora sería el añadido de un botón para rotar la imagen antes de analizarla. El módulo de detección de bordes programado analiza filas horizontales de píxeles, por lo cual únicamente es capaz de analizar aquellas imágenes que presenten la brecha de forma vertical. A pesar de que rotar la imagen en un editor de imagen es muy sencillo y apenas consume tiempo, para crear un programa completamente funcional por sí mismo sería importante crear este añadido.

6. CONCLUSIONES

Mediante el uso de LabVIEW y U-Net se ha conseguido desarrollar un prototipo de software que es capaz de analizar las imágenes de ensayos de herida de forma más rápida, sencilla, reproducible y automática que los programas tradicionales. Es necesario continuar con el desarrollo de este prototipo, con el fin de optimizarlo y mejorar su precisión.

7. BIBLIOGRAFÍA

Se podrá acceder a la bibliografía escaneando este código QR:





Cálculo del factor CdA mínimo para estabilizar rotacionalmente un globo sonda en su ascensión a través de la atmósfera, y su aplicación práctica

/ SEGUNDO PREMIO Y ESTANCIA CSIC

AUTOR | ALEXÁNDER MACIÀ ALCÁNTARA

COORDINADOR | MONTSERRAT NOLLA CORTIZAS

CENTRO | IES JAUME VICENS VIVES

CIUDAD | GIRONA

RESUMEN |

La rotación de un globo sonda alrededor de su eje vertical dificulta la producción de videos de alta calidad durante su ascenso en la atmósfera. Para estudiar una posible solución, se lanzó un globo sonda a la estratosfera sin las dos alas laterales que venían de serie para frenar esta rotación, junto con un registrador de datos y un giroscopio que registraron valores como la aceleración angular máxima, la velocidad de ascenso y la altitud.

Posteriormente, se analizaron estos parámetros y se utilizaron para calcular el valor mínimo de un nuevo parámetro, que se definió como el factor CdA (abreviatura de coeficiente de resistencia aerodinámica \times distancia de referencia \times área alar) necesario para estabilizar rotacionalmente en el eje vertical un globo sonda, y se propuso un diseño para las alas laterales en función del factor CdA .

Para ello se definió una nueva variable en función de la envergadura del ala, y luego se correlacionó esta variable con la velocidad angular instantánea media y con las revoluciones por minuto de la sonda, a partir de las cuales se puede encontrar la envergadura y el área de superficie alar óptimas para cualquier escenario.



ABSTRACT |

The rotation of a balloon probe around its vertical axis hinders the production of high-quality videos of its ascent in the atmosphere. To study a possible solution, a balloon probe was launched into the stratosphere without the two default side wings to slow this rotation, and a datalogger and gyroscope recorded values such as maximum angular acceleration, rate of ascent, and altitude.

These parameters were then analysed and used to calculate the minimum value of a new parameter that was defined, the CdA factor (abbreviation for drag coefficient \times reference distance \times wing surface area) required to rotationally stabilize a weather balloon around the vertical axis, and a design for the side wings was proposed based on the CdA factor.

To this end, a new variable was defined as a function of the chord length and then was correlated with the mean instantaneous angular velocity and revolutions per minute of the probe, from which the optimum wingspan and wing surface area for any scenario can be found.



INTRODUCCIÓN

Si observáramos un vídeo del ascenso de un globo sonda en la atmósfera, notaríamos un movimiento de rotación. En este trabajo se ha solucionado el problema del giro, analizando la rotación alrededor del eje vertical de una sonda lanzada a la estratosfera. Para ello, se definió un nuevo parámetro, el factor CdA , a partir del cual se ha diseñado un sistema de estabilización rotacional, correlacionándose la velocidad angular con la envergadura alar del diseño.

ANTECEDENTES

Actualmente, el sistema de estabilización que viene de serie en un globo sonda consiste en un par de alas laterales de pequeñas dimensiones, con las que se obtiene una reducción en el movimiento giratorio, favoreciendo unas grabaciones más nítidas, pero no una estabilización total. Estas alas laterales, son significativamente más pequeñas que las encontradas, y poco eficientes para estabilizar la sonda, como veremos más adelante.

Encontramos que existen estudios sobre los efectos de la rotación y el balanceo, con propuestas para su mitigación:

James Flaten, en su trabajo *Techniques for Payload Stabilization for Improved Photography During Stratospheric Balloon Flights* [1], estudia los sistemas de fijación entre el globo y la sonda, así como posibles cambios de ubicación del paracaídas, que normalmente se instala entre el globo y la sonda.

Otro trabajo a resaltar es el de *Lee Vasilenko*, en *High altitude balloon with stabilized camera system* [2], donde para mejorar la estabilización del globo, diseñó un servosistema dotado de un sensor giroscópico y un microcontrolador Arduino.

Los estudios que hay hasta la fecha pretenden estabilizar el globo sonda a una altitud determinada y no durante la ascensión, como se busca en este trabajo. Además, en este estudio se ha planteado cómo estabilizar el globo con un sistema estático de aletas y no mediante un servosistema de estabilización dinámica, para así poder entender mejor el efecto del giro y cómo se puede corregir.

HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Partiendo de la hipótesis de una aparente aleatoriedad en el movimiento giratorio de un globo durante su ascensión, se plantea, como solución a este problema, el diseño de un sistema estático de aletas estabilizadoras que evite este giro y permita una ascensión estable del globo.



Para ello estableceremos tres objetivos definidos:

- El primer objetivo de este trabajo es encontrar el valor mínimo del producto CdA necesario para estabilizar rotacionalmente alrededor del eje vertical un globo sonda que se eleva en la atmósfera.
- A partir de este valor, el segundo objetivo es proponer un diseño para las alas laterales en función del factor CdA encontrado, definiendo una nueva variable para parametrizar el diseño, función de la envergadura alar.
- Por último, el tercer objetivo es correlacionar esta variable del diseño con la velocidad angular media alrededor del eje vertical, o análogamente con las revoluciones por minuto en función de la superficie alar.

PREPARACIÓN E INSTRUMENTACIÓN

Para realizar el proyecto se lanzó un globo sonda de helio sin las dos alas laterales que venían de serie para frenar esta rotación, alcanzando una altitud máxima de 32569.90 m.

Para el trabajo experimental se utilizó el Kit de Globo Meteorológico comercializado por *Stratoflights* [3], que contenía el registrador de datos *Datalogger STRATOMini*, el cual proporciona datos sobre la posición GPS exacta de la sonda estratosférica, en particular la latitud, la longitud y la altitud, tomando medidas cada dos segundos. A partir de estos datos, el registrador de datos calcula automáticamente la velocidad de ascensión, la velocidad deriva por el viento, y otras variables no necesarias para este proyecto. Todos estos datos fueron obtenidos empíricamente y la incertidumbre es baja, debido a que estuvo conectado en todo momento con seis satélites.

Adicionalmente, se utilizó el giroscopio *WitMotion WT901SDCL* [4], un dispositivo que mide la orientación en el espacio respecto a los tres ejes, proporcionándonos automáticamente factores como el ángulo de la sonda, la velocidad angular instantánea y la aceleración angular instantánea respecto a cada uno de los tres ejes por defecto para cada instante de tiempo. Se tomaron 10 mediciones por segundo, sumando más de 100000 registros, teniendo en cuenta que el ascenso y descenso del globo duró poco más de tres horas.

Nótese que, al estar todos los cálculos en función del tiempo, se consolidaron los datos del registrador de datos y el giroscopio, y que valores como la altitud máxima se encuentran buscando el valor más alto en su respectiva columna. Para una menor incertidumbre en los cálculos se midieron la temperatura y la presión a la altura del lanzamiento, así como las masas del globo y de la sonda. En la tabla de la *Figura 1* se muestra el valor de todas estas variables.

Figura 1

VARIABLES CONTROLADAS INICIALMENTE.

$h_{\text{lanzamiento}} = 303 \text{ m}$	$m_{\text{globo}} = 0.800 \text{ kg}$
$T_{\text{lanzamiento}} = 302.8 \text{ K}$	$m_{\text{sonda}} = 0.737 \text{ kg}$
$P_{\text{lanzamiento}} = 101070 \text{ Pa}$	$M_{\text{He}} = 4.0 \text{ g/mol}$
$R_{\text{aire}} = 287.05 \text{ J/(kgK)}$	$M_{\text{aire}} = 28.97 \text{ g/mol}$

Además, en la *Figura 2* se muestra un conjunto de imágenes grabadas del lanzamiento, los materiales utilizados y una imagen tomada desde una de las cámaras con las que se equipó a la sonda.

Figura 2

Trabajo experimental, lanzamiento y materiales del globo sonda.



METODOLOGÍA

Para el estudio, nos basaremos en el método empírico, experimentando y midiendo la rotación de un globo sonda lanzado a la estratosfera, para comprobar el valor máximo de la aceleración angular experimentada en el eje Z. De este modo, a partir de los datos registrados, estableceremos el modelo teórico para estabilizar un globo sonda.

CÁLCULO DEL FACTOR CDA

El primer paso es identificar el valor máximo de la aceleración angular instantánea alrededor del eje vertical registrado por el giroscopio a lo largo del ascenso que, según los registros obtenidos, es $\alpha_{max,xy} = 0.818 \text{ rad/s}^2$. Nótese que se requiere el valor máximo de esta aceleración angular, porque como veremos más adelante, es el valor para el que se alcanza el mayor momento de fuerza, algo que necesitamos para encontrar el mínimo valor del factor *CdA* para estabilizar rotacionalmente en el eje vertical el globo sonda.



En segundo lugar, dado que se conoce el instante exacto en el que produjo la aceleración angular anterior, se pueden conocer mediante los datos empíricos los valores experimentales que estudiaremos de la altitud, la velocidad vertical de ascensión en la dirección del eje Z y la velocidad angular en el plano XY.

El siguiente paso es analizar las fuerzas que actúan sobre el globo en su ascensión, que están representadas en la *Figura 3*.

$$\sum \vec{F}_z = \vec{F}_{L,z} + \vec{P}_z + \vec{F}_{R,z} = 0$$

A continuación, se analizan también los momentos que actúan sobre el globo, representados en la *Figura 4*.

$$\sum \vec{M}_{xy} = \vec{M}_{T,xy} + \vec{M}_{R,xy} = 0$$

Figura 3

Representación de fuerzas del globo sonda.

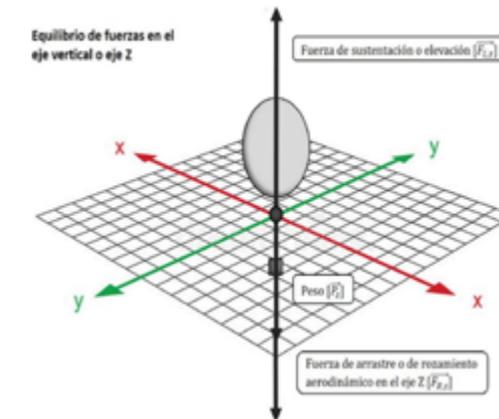
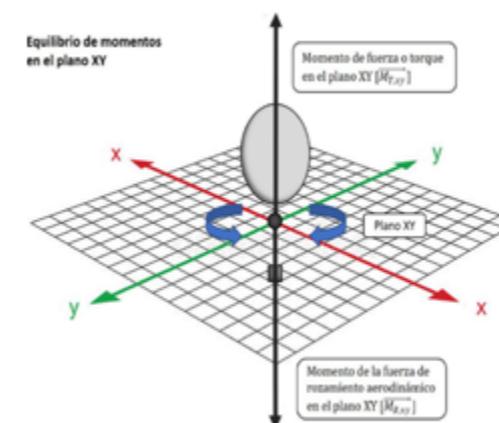


Figura 4

Representación de momentos del globo sonda.





Para obtener el valor mínimo del factor CdA que estabilice rotacionalmente el globo sonda, es necesario equilibrar las fuerzas y los momentos:

$$\left. \begin{aligned} F_{L,z} &= P_z + F_{R,z} \\ M_{T,xy} &= M_{R,xy} \end{aligned} \right\}$$

La fuerza de sustentación $F_{L,z}$ se calculó utilizando la ecuación de elevación para globos de gas, asumiendo temperaturas y presiones iguales dentro y fuera del globo sonda [5].

$$F_{L,z} = \rho_{atm} g V_{globo} \left(1 - \frac{M_{He}}{M_{atm}} \right)$$

El peso P_z se obtuvo a partir de la masa del globo y la masa de la instrumentación en el interior de la sonda. Las fuerzas de arrastre $F_{R,xy}$ y $F_{R,z}$ se calcularon utilizando la ecuación de arrastre [6], que se muestra a continuación.

$$F_R = \frac{1}{2} C_D \rho_{atm} v^2 A$$

El momento de giro o torque máximo $M_{T,xy}$ en el plano XY es el producto del momento de inercia del cuerpo por su aceleración angular máxima en este mismo plano.

$$M_{T,xy} = I \alpha_{max,xy}$$

El momento de arrastre $M_{R,xy}$ es el producto de la fuerza de arrastre $F_{R,xy}$ y la distancia de referencia d_{ref} donde este se aplica, la cual será descompuesta en función de si hace referencia al globo o a la sonda por separado.

$$M_{R,xy} = F_{R,xy} d_{ref} = \frac{1}{2} C_{Dxy} \rho_{atm} v_{T,xy}^2 A_{xy} d_{ref}$$

Con lo que, partiendo del equilibrio de fuerzas planteado en la Figura 3, podemos calcular el radio del globo a esa misma altitud, asumiendo el valor del coeficiente de arrastre C_{Dz} basándonos en datos históricos tabulados [7].

$$V_{globo} \rho_{atm} g \left(1 - \frac{M_{He}}{M_{atm}} \right) = g m_{total} + \frac{1}{2} C_{Dz} \rho_{atm} v_{exp,z}^2 A_z$$

Sustituyendo y despejando, obtenemos una ecuación de tercer grado. De los tres resultados obtenidos, dos de ellos pertenecen al conjunto de números complejos y solo uno de ellos es real, con lo que $r_{globo,exp} = 0.83717$ m.

El siguiente paso es encontrar el producto mínimo del área del ala y el coeficiente de resistencia y la distancia de referencia, el factor CdA , a partir del cual se propondrá el diseño alar para estabilizar el globo sonda rotacionalmente. Si ahora se desarrolla la segunda ecuación de equilibrio de momentos:



$$\begin{aligned} M_{T,xy} &= M_{R,xy} \\ I \alpha_{max,xy} &= \frac{1}{2} C_{Dxy} \rho_{atm} v_{T,xy}^2 A_{xy} d_{ref} \end{aligned}$$

Nótese que, al igualar los momentos, se supone que los dos cuerpos giran conjuntamente. Con el fin de continuar desarrollando la anterior ecuación, se muestran los momentos de inercia experimentales del globo, que corresponde al de una cáscara esférica delgada, y del momento de inercia de la sonda, que corresponde al de un cubo.

$$I_{globo} = \frac{2}{3} m_{globo} r_{globo}^2 \quad ; \quad I_{sonda} = \frac{2}{3} m_{sonda} a_{sonda}^2$$

Si se sustituyen los momentos de inercia mencionados, y la velocidad tangencial instantánea $V_{T,xy}$ se substituye por la velocidad angular instantánea $\omega_{exp,xy}$, multiplicando este valor por una distancia de referencia d_{ref} que más adelante descompondremos en función de si hace referencia al globo o a la sonda, queda:

$$C_{Dxy} d_{ref}^2 A_{xy} = \frac{\alpha_{max,xy} \left(\frac{4}{3} m_{globo} r_{globo}^2 + \frac{4}{3} m_{sonda} a_{sonda}^2 \right)}{\rho_{atm} \omega_{exp,xy}^2}$$

Nótese que el factor encontrado hace referencia tanto al globo como a la sonda en conjunto. Los valores del globo son específicos de este experimento, y la distancia de referencia del globo es el radio del globo a esta altitud. En cambio, bajo la condición de que se debe estabilizar rotacionalmente la sonda, debemos encontrar un valor teórico constante que no sea específico para este experimento y se pueda extrapolar. Nótese también que en este caso la distancia de referencia se descompondrá en una distancia al baricentro del ala, como veremos en el siguiente apartado. Por lo tanto, estos valores relativos al globo deben restarse, con lo que desarrollando el área del globo $A_{xy,globo}$:

$$C_{Dxy,sonda} d_{ala}^3 A_{xy,sonda} = \frac{\alpha_{max,xy} \left(\frac{4}{3} m_{globo} r_{globo}^2 + \frac{4}{3} m_{sonda} a_{sonda}^2 \right)}{\rho_{atm} \omega_{exp,xy}^2} - C_{Dxy,globo} A_{xy,globo} \pi r_{globo}^2 r_{globo}^3$$

El factor CdA , abreviatura de $C_{Dxy,sonda} d_{ala}^3 A_{xy,sonda}$ está aislado, obteniéndose un valor $CdA = 1.22657$ m⁵.

Nótese que el factor CdA no es específico de este experimento, ya que solo hace referencia a los valores del globo sonda que deben modificarse bajo la condición de que este sea rotacionalmente estable alrededor del eje vertical. Nótese también que no es una constante real, porque varía durante el experimento, pero es el valor más alto que adquiere durante este, ya que se calcula a partir de la aceleración angular máxima y, por tanto, es el valor mínimo que debe utilizarse. Por lo tanto, este valor puede extrapolarse a otros globos ligeros, pero, como veremos más adelante, debe aplicarse un margen de seguridad.



DISEÑO DEL ALA LATERAL EN FUNCIÓN DEL FACTOR CDA

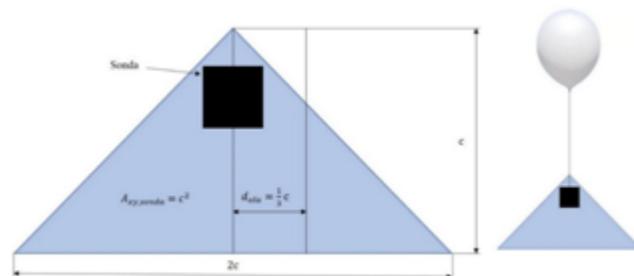
Una vez obtenido el valor del factor CdA , podemos proceder a diseñar el sistema de estabilización rotacional de la sonda, el objetivo principal de este proyecto.

En primer lugar, es necesario definir a qué se refiere cada uno de los factores del producto CdA . El área de la sección transversal A_{xy} es la superficie del ala. El coeficiente de resistencia para el ala en el plano XY es el de una superficie plana, con un valor de $C_{Dxy,sonda} = 1.28$ [7]. Por último, la distancia de referencia d_{ala} es el radio desde el baricentro del globo sonda (el centro de rotación) hasta el punto de la línea de distribución donde se aplica la fuerza.

Ahora, d_{ala} y $A_{xy,sonda}$ deben expresarse en términos de la misma variable, ya que cada una de ellas es función de la otra. Para ello, es necesario diseñar la forma de las alas laterales. La que se propone es un diseño en delta, debido a la simplificación de los cálculos, la fabricación, la estabilidad, los esfuerzos y la eficiencia, mostrándose a continuación en la Figura 5. En la primera imagen se detallan las dimensiones para el alzado, y en la segunda como quedaría con respecto al globo. Nótese que el perfil del ala es simplemente un cierto grosor y se vería como una línea recta, que la longitud de la cuerda entre el globo y la sonda no está a escala, y que el radio del globo aumenta con la altitud.

Figura 5

Croquis de las dimensiones del diseño del ala.



La representación está escalada según el resultado obtenido a continuación, con la excepción de la cuerda que une el globo y la sonda (y el paracaídas, que no se muestra). Se trata de una estructura sólida unida a la sonda por cuatro caras diferentes. Se define una nueva variable c como la longitud de la cuerda del ala, equivalente a la mitad de la envergadura alar. El triángulo tiene una base de $2c$ y una altura de c , por lo que el área del triángulo es c^2 . Además, por definición, el baricentro de un triángulo rectángulo isósceles está a $1/3$ de su base, respecto uno de los dos lados iguales. Por lo tanto, el valor de d_{ala} se puede expresar en términos de la variable c .



$$A_{xy,sonda} = c^2 \quad d_{ala} = \frac{1}{3}c$$

$$C_{Dxy,sonda} d_{ala}^3 A_{xy,sonda} = 1.28 \left(\frac{1}{3}c\right)^3 c^2 = 1.22657 m^5$$

Ahora, si se resuelve el único valor real de esta longitud: $c = 1.91667$ m. Del mismo modo, se puede calcular la superficie alar: $c^2 = 3.67399$ m². Nótese que, de llevarse a cabo, se recomienda añadir un coeficiente de seguridad, aumentando la superficie alar en un 20%.

RELACIÓN ENTRE LA SUPERFICIE ALAR Y LA VELOCIDAD ANGULAR

En último lugar, se parametrizará la relación entre la superficie del ala y la velocidad angular, y de este modo, se podrá determinar la velocidad angular máxima que podría alcanzar una sonda para cada valor de la variable c , o análogamente, las revoluciones por minuto en función del área del ala, medida que no es específica solo del diseño de la Figura 5. Para ello, se volverá a la segunda ecuación, pero con la condición de que haya una aceleración normal.

$$M_{T,xy} - M_{R,xy} = m a_{xy} d_{ref}$$

Si la aceleración a se escribe en términos de la variable velocidad angular ω_{var} y la distancia alar de referencia d_{ala} , desarrollando como antes los demás términos:

$$I \alpha_{max,xy} - \frac{1}{2} C_{Dxy} \rho_{atm} v_{T,xy}^2 A_{xy} d_{ref} = m \omega_{var,xy}^2 d_{ref}^2$$

$$\left(\frac{2}{3} m_{globo} r_{globo}^2 + \frac{2}{3} m_{sonda} a_{sonda}^2\right) \alpha_{max,xy} - \frac{1}{2} \rho_{atm} \omega_{exp,xy}^2 (C_{Dxy,globo} A_{xy,globo} r_{globo}^3 + C_{Dxy,sonda} A_{xy,sonda} d_{ala}^3) = \omega_{var,xy}^2 (m_{globo} r_{globo}^2 + m_{sonda} d_{ala}^2)$$

Si se aísla ω_{var} , sustituyendo $A_{x,sonda}$ y d_{ala} en función de la variable c , resulta la siguiente ecuación:

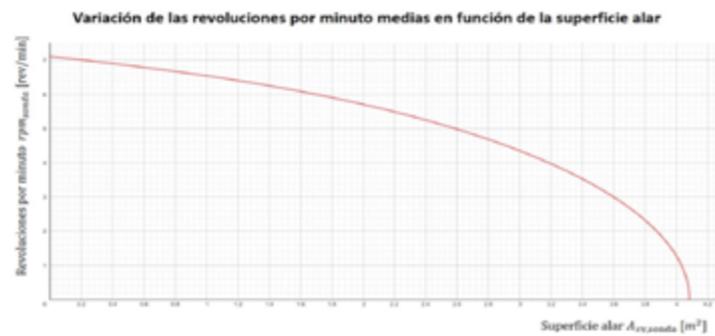
$$\omega_{var,xy} = \sqrt{\frac{\left(\frac{2}{3} m_{globo} r_{globo}^2 + \frac{2}{3} m_{sonda} a_{sonda}^2\right) \alpha_{max,xy} - \frac{1}{2} \rho_{atm} \omega_{exp,xy}^2 (C_{Dxy,globo} 1.28 \pi r_{globo}^3 + C_{Dxy,sonda} c^2 \left(\frac{1}{3}c\right)^3)}{(m_{globo} r_{globo}^2 + m_{sonda} \left(\frac{1}{3}c\right)^2)}}$$

Ahora, la función anterior permite encontrar la relación óptima entre la velocidad angular media y la longitud de la cuerda alar (variable c), la mitad de la envergadura alar. Sin embargo, para una mejor y más sencilla interpretación de los resultados, es mejor graficar el número de revoluciones por minuto en función del área del ala, como se muestra en la Figura 6.



Figura 6

Revoluciones medias por minuto de la sonda en función de la superficie alar.



CONCLUSIÓN

En este trabajo se ha calculado el valor mínimo del CdA necesario para estabilizar rotacionalmente un globo sonda en su ascensión a través de la atmósfera, y se ha propuesto un diseño para las alas laterales, correlacionando en el anterior gráfico la velocidad angular en función de la superficie alar del diseño propuesto.



BIBLIOGRAFÍA

- [1] Flaten J, Gosch C, Habeck J. (2021). Techniques for Payload Stabilization for Improved Photography During Stratospheric Balloon Flights. Journal of High Altitude Ballooning. Obtenido de: <https://via.library.depaul.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1037&context=ahac>
 - [2] Vasilenko, Lee. (2011). The University of British Columbia: High altitude balloon with stabilized camera system. Obtenido de: <https://open.library.ubc.ca/soa/cIRcle/collections/undergraduateresearch/52966/items/1.0074456>
 - [3] Stratoflights GmbH. (2022). Conjunto de globo estratosférico. Obtenido de <https://www.stratoflights.com/es/shop/conjunto-globo-estratosferico/>
 - [4] Wit Motion. (2022). Products / Gyroscope. Obtenido desde <https://www.wit-motion.com/digital-inclinometer/witmotion-9-axis-16g-card.html>
 - [5] Jacco M. Hoekstra. (2013). TUDelft Open Course Ware. First flights: ballooning. Lift of gas balloons (pp.8). Obtenido de: https://ocw.tudelft.nl/wp-content/uploads/Hand-out-Balloons_01.pdf
 - [6] Franchini S, López García, O. (2012). Introducción a la Ingeniería Aeroespacial. ISBN 978-84-9281-290-5
 - [7] Benson T. (2022). Shape Effects on Drag. NASA Glenn Research Center. Obtenido de: <https://www.grc.nasa.gov/www/k12/airplane/shaped.html>
- CDARCU. (2011). Proyecto Near Space: Lanzamiento de un globo a la estratosfera. Obtenido desde <http://www.cdarcu.com/jsp15/index.php?view=article&catid=19:articulos-escritos-por-los-socios&id=49:proyecto-nearspace-lanzamiento-de-un-globo-a-la-estratosfera&tmpl=component&print=1&page=>
- Garg, Kanika. (2019). Doctoral thesis: Autonomous Navigation System for High Altitude Balloons. Luleå University of Technology. Obtenido desde <http://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1364883/FULLTEXT02.pdf>



Evaluación de resistencia a enfermedades de las principales especies de leguminosas cultivadas en España

/ TERCER PREMIO

AUTORES | MARÍA ARIZA INÉS, ALEJANDRO ANTONIO BELMONTE PÉREZ Y ÁLVARO ROT PORRAS

COORDINADOR | MARCOS MATEO FERNÁNDEZ

CENTRO | CES LOPE DE VEGA E IES FIDIANA

CIUDAD | CÓRDOBA

RESUMEN |

Las leguminosas son mundialmente consumidas por sus grandes beneficios. Sin embargo, existen patógenos que afectan a estos cultivos teniendo que emplear sustancias nocivas. Una solución a este problema sería desarrollar plantas resistentes a enfermedades por mejora genética. En este proyecto hemos inoculado distintos genotipos de lentejas, garbanzos y guisantes con roya y oídio para evaluar el efecto de estos hongos fitopatógenos en leguminosas. Nuestra hipótesis plantea que las plantas con el gen de resistencia a oídio o roya serán menos sensibles a estas enfermedades con respecto a las plantas de genotipo silvestre. Para ello, sembraremos un genotipo de *Cicer arietinum*, dos genotipos distintos de *Lens culinaris* y tres genotipos distintos de *Pisum sativum*. Posteriormente, inocularemos los cultivos con oídio y roya extrayendo una hoja que será cultivada de manera in vitro y fotografiada periódicamente. Por último, se analizará la respuesta de las plantas mediante la severidad y el tipo de infección (IT) ayudándose del programa ImageJ para el análisis de las fotografías. Nuestros resultados indican que el guisante es más sensible a la roya que la lenteja. En cuanto al oídio, los guisantes son los más susceptibles a la enfermedad. Como conclusión, podríamos seleccionar el genotipo 2 de guisante, la lenteja 1 y el garbanzo como organismos resistentes a la roya, teniendo en cuenta los datos de AUDPC. En cuanto al oídio, el genotipo 3 de guisante y los dos de lentejas y el de garbanzo evaluados en este estudio presentan resistencia a dicho hongo teniendo en cuenta la IT.



ABSTRACT |

Legumes are consumed worldwide due to their great benefits. However, undesirable substances are used to remove specific pathogens to these crops. To solve this, genetic improvement is used to develop disease-resistant plants. In this project, we have inoculated with rust and powdery mildew, researching on different genotypes of lentils, chickpeas and peas to evaluate the effect of these phytopathogenic fungi on legumes. Our hypothesis is that plants with the powdery mildew or rust resistance gene will be less sensitive to these diseases than wild genotype plants. Therefore, it was planted a genotype of *Cicer arietinum*, two genotypes of *Lens culinaris* and three genotypes of *Pisum sativum*. Then, the crops were inoculated with powdery mildew and rust and a leaf was also extracted and cultivated in in vitro conditions and photographed periodically. Finally, the response of plants to powdery mildew and rust was analyzed using the severity and type of infection (IT), using ImageJ program to analyze photographs. Our results indicate that pea genotype 2 is the most resistant plant to rust. However, pea genotype 1 and lentil genotype 2 are the most sensitive to rust attack. Holistically, pea is more sensitive to this disease compared to the lentil. As for powdery mildew, peas are the most susceptible to the disease. In conclusion, we could select pea genotype 2, lentil 1 and chickpea to grow as rust resistant organisms. Regarding powdery mildew, pea genotype 3 and the two lentil and chickpea genotypes evaluated in this study show resistance to these pathogens.



1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de legumbres se remonta a las antiguas civilizaciones que las utilizaban como parte de la alimentación, eligiendo las legumbres como un cultivo imprescindible en la alimentación para combatir de esta forma la mala nutrición, al mismo tiempo que mejoraba la salud humana y la sostenibilidad del campo. En la actualidad, el 40% del consumo de legumbres se destina al consumo humano y el 30% al consumo animal. Según la FAO el consumo medio mundial de legumbres es de 7 kg por persona al año, siendo España uno de los países que más legumbres consume.

Las legumbres son una fuente esencial de proteínas, con un alto contenido en minerales: hierro y cinc. También son necesarias por su contenido en fibra, y vitaminas del grupo B. Además, tienen compuestos fotoquímicos que ejercen efectos metabólicos y fisiológicos imprescindibles para la prevención de algunas enfermedades, como la diabetes de tipo 2 y la hipercolesterolemia, afecciones gastrointestinales, obesidad y enfermedades cardiovasculares.

Actualmente existen más de 30 especies de leguminosas cultivadas en el mundo para la alimentación humana. Las legumbres más cultivadas y consumidas en el mundo son: las lentejas, los garbanzos y las judías secas (alubias) para el consumo humano y las vezas y los yeros para el consumo animal. En este proyecto hemos inoculado con roya y oídio distintos genotipos de lentejas, garbanzos y guisantes para evaluar el efecto de estos hongos fitopatógenos en leguminosas, planteando gracias a la mejora genética, que las plantas con el gen de resistencia serán menos sensibles al oídio y a la roya.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. HONGOS Y PLANTAS EXPERIMENTALES

Hongos utilizados para el estudio:

Oidio (*Erysiphe pisi*); Popularmente se le llama blanquilla o cenicilla, siendo su principal característica la capa harinosa aparente en la planta infectada, pudiendo aparecer por factores como la atmósfera, el abono utilizado (con excesivo porcentaje de nitrógeno), además de humedad.

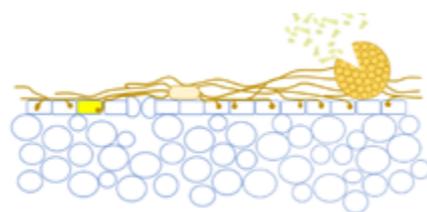


Imagen 1

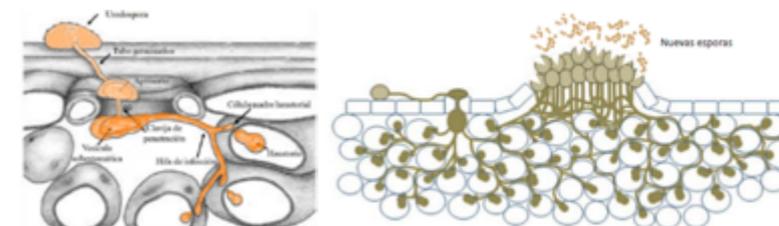
Colonización del oídio en la epidermis de la hoja y posterior producción de esporas.



Roya (*Uromyces pisi*): Se depositan esporas en las plantas siendo estas infectadas, pudiéndose observar en la superficie, por la formación de pústulas (uredia) en el caso de infección, como carácter más significativo de este hongo, dichas plantas infectadas generan menor cantidad de tallos secundarios y en consecuencia menos semillas e incluso en casos de infección extrema, la planta puede llegar a morir.

Imagen 2

A) Colonización y germinación de la espора de la roya. B) producción y liberación de esporas de roya.



Plantas y genotipos utilizados para el estudio:

Garbanzo (*Cicer arietinum*): Un solo genotipo utilizado. Siendo este una especie de leguminosa adaptable en todos los continentes, herbácea y pudiendo alcanzar 50 centímetros aproximadamente. Flores de colores violeta o blanco desarrollando al final en la vaina un total de 2 o 3 semillas, con una periodicidad anual. El garbanzo se trata de una planta anual diploide, con reproducción autogámica.

Lenteja (*Lens culinaris*): Dos genotipos utilizados. Se trata de una especie de leguminosa herbácea pudiendo alcanzar los 40 centímetros, con tallos débiles, estriados y ramosos, con una hoja oblonga. Flores blancas con venas moradas formando un fruto con dos o tres semillas de color pardo finalmente. Siendo este relativamente tolerante a la sequía y properable en todos los ambientes.

Guisante (*Pisum sativum*): Tres genotipos utilizados. Propia de la cuenta mediterránea, pero muy extendida por todos los continentes, siendo esta una especie de leguminosa herbácea, con un sistema vegetativo poco desarrollado aunque la raíz es capaz de profundizar significativamente. La característica que se puede observar a simple vista se trataría de que actúan con función de enredadera para sujetarse al ser tan endeblés formando una estructura, necesitando una especie de guías.

2.2. SIEMBRA

El cultivo de este tipo de plantas se estima que se comenzó a realizar desde el neolítico junto a los cereales, cuando se comienza a realizar este tipo de actividades complementarias a la caza y se comenzó a practicar el sedentarismo.

En cuanto a la siembra, cada planta al ser un grupo tan extenso, necesitaría una siembra diferente debido a la característica de estas de fijación de nitrógeno mediante la bacteria *Rhizobium leguminosarum*, pero escogimos plantas cuáles su siembra era semejante. Para comenzar con ella, se extrae porciones de tierra almacenadas en macetas de un metro cuadrado, en cuanto a las características de la tierra, no tiene porque ser demasiado selecta debido a la facilidad de crecimiento en cualquier continente como antes he nombrado, pudiendo así recoger la tierra en cualquier campo donde no esté muy transitado o contaminado.

Posteriormente para la plantación se debe coger una semilla por maceta de metro cuadrado e introducirla con suavidad, con una profundidad mínima de largo de una uña para que esta pueda crecer de manera correcta, como dato importante es que no se debe regar inmediatamente después de su plantación pero si tener un regado continuo posterior para evitar que se seque.

2.3. INOCULACIÓN

En primer lugar existe un llamado “Proceso de selección” en el que, se observan las diferentes muestras obtenidas y se escogen las que van a ser utilizadas en la inoculación, atendiendo a las pautas de:

El tamaño de la muestra sea adecuadamente alta. Debe ser una muestra homogénea, es decir que debe haber sido cultivada en las mismas condiciones que las demás muestras, todas las muestras seleccionadas deben tener características similares, y todas las hojas tienen que ser de un similar tamaño y forma, que sean de la misma “edad”.

Todas las muestras escogidas deben ser aleatorias siempre y cuando cumplan los factores anteriores, no debes atender a posición o si la muestra es más o menos agradable a tu vista. Posteriormente debemos diferenciar los dos tipos de inoculación que son utilizados, siendo estos diferentes para la roya y el oídio.

INOCULACIÓN ROYA

Al obtener la muestra de las esporas del hongo, se debe mantener en el recipiente que se encontraba en frío, a unos -80°C , para acto seguido añadirlo en un vaso de precipitado a una cierta temperatura, concretamente entre $60-70^{\circ}\text{C}$ para producir un choque térmico y que al subir la temperatura del mismo se mezcle con un porcentaje de polvos de talco, midiendo todas las cantidades meticulosamente en una balanza de precisión. A continuación se procede a la mezcla en el instrumento de inoculación, y su posterior esparcimiento siguiendo estas indicaciones:

Con precaución y ligeramente inclinado y con notable acercamiento a las muestras se presiona alegremente al globo con el que cuenta el instrumento para introducir la presión necesaria y posterior a esto se presiona con suavidad



para no esparcir todas las esporas de una vez, moviéndote delicadamente alrededor de las muestras para esparcirlas homogéneamente, hasta terminar con toda la mezcla de esporas y talco repartidas en las muestras.

Al final del proceso se debe mantener 24 horas en una situación de humedad y en un lugar oscuro para garantizar el crecimiento e infección (Barilli et al., 2012).

Imagen 3

Inoculación de la esporas de roya por soplado directo de esporas con talco.

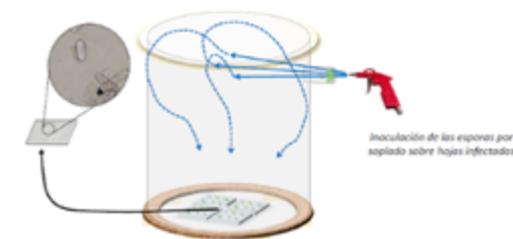


INOCULACIÓN OÍDIO

En esta ocasión la inoculación se produce con una hoja ya infectada con el hongo y mediante una sopladora se esparcen las esporas, con suavidad, a través de un orificio introducido en un cilindro de metal, aunque podría tratarse de cualquier otro material. La mezcla va desprendiéndose sobre el cilindro hasta el final que se encuentran las mezclas anteriormente preparadas en un medio de disolución con Agar donde se adhieren ligeramente para quedar intactas (Patto et al., 2007).

Imagen 4

Inoculación de las esporas de oídio por soplado sobre hojas infectadas. Se coloca un portaobjetos para posteriormente realizar un conteo de esporas y comprobar la efectividad de la inoculación.



2.4. EVALUACIÓN DE LA RESPUESTA

2.4.1. MÉTODOS DE ANÁLISIS

FRECUENCIA DE INFECCIÓN

A partir de los datos de Frecuencia de Infección que obtuvimos al analizar con el software ImageJ (a partir de las fotografías) las placas de hojas infectadas con roya, hemos calculado la media aritmética de las cuatro repeticiones indepen-

dientes, para cada uno de los genotipos y para cada día; este dato lo hemos representado con respecto al tiempo (días tras la inoculación) para construir la Curva de Infección. A continuación, hemos calculado con su correspondiente fórmula el parámetro AUDPC (Área Bajo la Curva de Infección) para obtener un dato individual que nos permita comparar entre genotipos.

Fórmula AUDPC:

$$AUDPC = \sum_{i=1}^{n-1} \left(\frac{y_i + y_{i+1}}{2} \right) (t_{i+1} - t_i)$$

Fórmula AUPDC. Donde: y_i equivale al valor del parámetro (la media de la frecuencia de infección) en un día determinado, y_{i+1} equivale al valor en el día siguiente; t_{i+1} es el día siguiente al calculado y t_i es el día en cuestión.

SEVERIDAD

A partir de los de evaluación visual de Severidad (% cobertura), que evaluamos sobre las plantas infectadas con roya, también hemos calculado la media aritmética de cuatro repeticiones independientes, para cada genotipo estudiado.

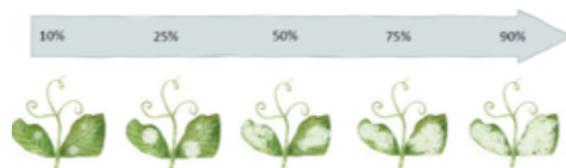
Imagen 5.A

Representación de plantas infectadas con roya apreciando distintos porcentajes de severidad.



Imagen 5.B

Imagen tomada como referencia para la evaluación visual de la severidad en roya

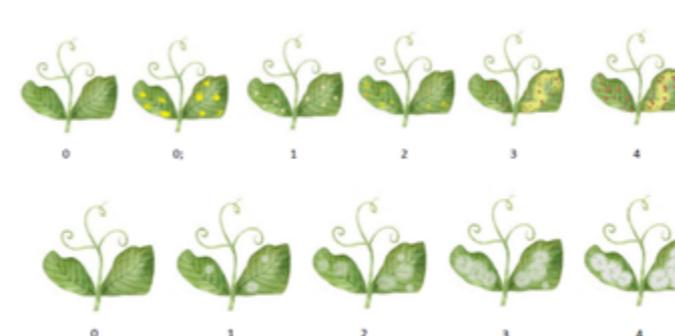


TIPO DE INFECCIÓN (IT)

A partir de la evaluación visual del Tipo de Infección (IT) hemos discutido cuál de las observaciones sería más adecuada, y en los casos en que no hemos encontrado un consenso, hemos utilizado la moda (el dato más repetido por las distintas repeticiones). Hemos seguido el mismo procedimiento para los datos de Tipo de Infección (IT) que obtuvimos al observar las placas de hojas inoculadas con oídio. En este caso, no se pudieron obtener resultados de Severidad, porque en las hojas que se desarrolló el hongo, su crecimiento fue muy leve y no permitía observar el % de cobertura respecto al total de la hoja.

Imagen 6

Modelo guía para la observación visual el tipo de infección tanto en oídio como de roya.



2.4.2. ANÁLISIS DE LA ROYA

En primer lugar, nos fijamos en que estamos viendo, que en el caso de la roya, estaríamos viendo un número de pústulas que más tarde analizaremos, repartidas por el tallo y hojas, además pudiendo observar que la planta ha ido generando hojas y creciendo debido a que hay una sección de la planta que no se encuentra infectada. Estas pústulas se forman a partir de un proceso de infección y posterior colonización, para que cuando la planta ya no pueda subsistir con el hongo implantado se producirá un proceso de esporulación donde las esporas se distribuirán.

Tras analizar lo visible, evaluaremos la severidad de la enfermedad, que básicamente se define como un porcentaje de la superficie de la planta que ha sido cubierto por pústulas.

Así como la evaluación de la severidad, de forma similar se evalúa el tipo de infección (IT), tratándose de un conjunto de síntomas por la acción del agente patógeno y la respuesta ante la infección (Sillero et al., 2006).

2.4.3. ANÁLISIS DEL OÍDIO

Del mismo modo que anteriormente se realiza una observación de la planta para ver de forma visual, cómo ha actuado el agente patógeno sobre la planta, pudiéndose observar su blanquecina capa por encima como carácter principal y al igual que con la roya se realiza posteriormente la evaluación de la severidad, teniendo en cuenta el porcentaje y el tipo de infección (IT) que es de forma gradual de menor a mayor infección (Sillero et al., 2006).

3. RESULTADOS

La figura 1 muestra los resultados de la frecuencia de infección sufrida por cada genotipo estudiado de guisante tras ser inoculados con roya. En ella, podemos observar que el guisante con genotipo 1 ha resultado más afectado que el guisante 2, ya que este último en su día 13 tras la inoculación, padece una media

de infección de 0,00. Nos asombra el repunte que se produce en el día 10 del guisante 1, en el día 13 después de la inoculación con roya, logra una media de infección de 8,97 siendo así el genotipo más afectado de todos los genotipos y plantas evaluadas en este estudio. En el día 13 tras la inoculación, el guisante 3 alcanza una media de infección de 3,01.

Por lo tanto, podemos determinar que el guisante 1 ha sufrido una infección mucho más elevada que en el guisante con genotipo 2 y 3. El número de pústulas en el guisante 1 es más elevado que en el resto de genotipos del guisante.

Figura 1

Representa la frecuencia de infección medida en número de pústulas por cm² a lo largo del tiempo después de la inoculación con roya del guisante con el genotipo 1, 2 y 3, siguiendo la fórmula AUDPC (área bajo la curva de infección).

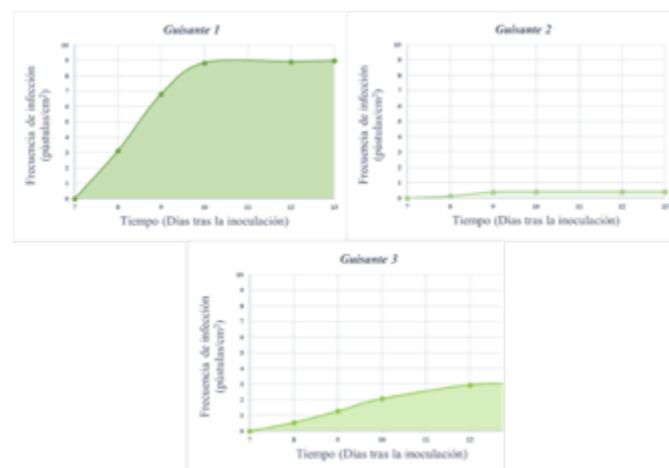


Figura 2

Representa la infección producida en los genotipos de la lenteja 1 y 2, así como del único genotipo estudiado en el garbanzo, medida según la fórmula AUDPC.

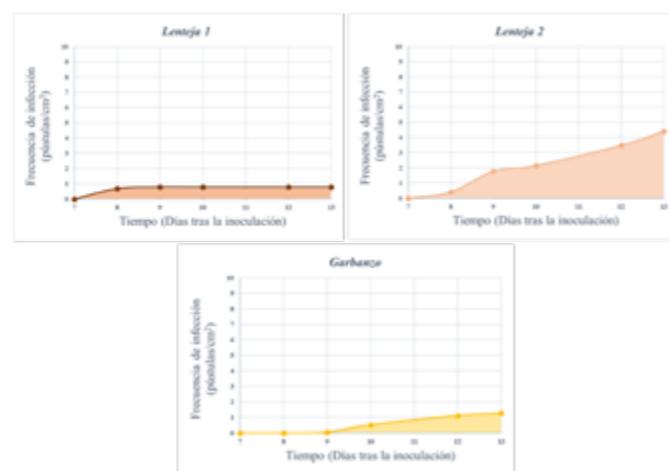


Tabla 1

Muestra los resultados obtenidos tras la inoculación con roya u oídio (1) los distintos genotipos de guisantes, lenteja y garbanzo (2). 3 Significa Área Bajo la Curva de Infección. 4 Grado de severidad producido por el hongo expresado en tantos por ciento. Evaluación visual. 5 Tipo de infección evaluado bajo unos parámetros estándar y también evaluación de tipo visual.

	Roya ¹			Oídio ¹
	AUDPC ³	Severidad (%) ⁴	IT ⁵	IT
Guisante 1 ²	41,03	51,25	3	2
Guisante 2	1,92	6,25	3	2
Guisante 3	10,83	21,75	3	0
Lenteja 1	4,15	2,25	3	0
Lenteja 2	12,8	5,5	2	0
Garbanzo	3,13	28,75	2	0

En la figura 2, observamos que en el día 13 la lenteja 1 alcanza una media de 0,77 y la lenteja 2 alcanza una media en el día 13 de 4,4. En cuanto al garbanzo, su media de infección de roya en el día 13 es de 1,27.

En este caso, la lenteja con genotipo 2 es más susceptible a la infección de roya que el genotipo 1.

En la tabla 1 podemos observar los resultados obtenidos en la evaluación conjunta de las dos enfermedades. Observamos como en general la planta guisante 3 y lentejas y garbanzo muestran menor grado de infección de oídio que las plantas guisante con genotipo 1 y 2 en cuanto al tipo de infección.

En cuanto a la roya, la planta guisante con genotipo 1 muestra también un mayor grado de afectación en todas las variables estudiadas. Además, en general se observa que las plantas estudiadas son más sensibles a la roya que al oídio.

4. CONCLUSIÓN

Las conclusiones del presente estudio son: 1) Observando los resultados se puede ver que la especie más susceptible a la roya es el guisante mientras que el genotipo 2 es el guisante más resistente a ella. Lentejas y garbanzos son bastante resistentes a la roya lo cual es congruente con los resultados previos pues el hongo usado es *Uromyces pisi* que es patógeno específico de guisante y habas, siendo la lenteja 1 el genotipo más resistente. 2) Comparando los diferentes resultados para determinar qué especie (guisante, lenteja y garbanzo) tiene más latencia respecto a la enfermedad vemos que se trata del garbanzo. 3) Respecto a la resistencia a oídio, solamente los guisantes 1 y 2 mostraron síntomas lo cual coincide con lo esperado pues la especie de oídio utilizada (*Erysiphe pisi*) es un patógeno específico de guisante y parece que no afecta a lenteja y garbanzo. Sin embargo, hay un genotipo de guisante (guisante 3) que no muestra afectación por el hongo y por lo tanto podría contener una fuente de resistencia a oídio. 4) Para conseguir la venta de estas, deberemos coger las especies con mejores características para ir cruzándolas entre ellas y así deberán salir genotipos con mejores propiedades. 5) Respecto a las ventajas que podemos encontrar en es-



tos genotipos diferentes a los que se pueden comprar en tienda, estaría la resistencia de los mismos a la roya y al oídio evitando así las pérdidas económicas y alimentarias.

5. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Instituto de Agricultura Sostenible (IAS) y especialmente al investigador Manuel A. Jiménez Vaquero por todo su tiempo y enseñanzas. También queremos mostrar nuestra gratitud a los centros IES Fidiana y CES Lope de Vega por brindarnos esta oportunidad. Y a nuestras familias, gracias.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Barilli, E., Moral, A., Sillero, J. C., & Rubiales, D. (2012). "Clarification on rust species potentially infecting pea (*Pisum sativum* L.) crop and host range of *Uromyces pisi* (Pers.)". *Wint. Crop Protection*, 37, 65-70.
- Patto, V., Fernández-Aparicio, M., Moral, A., & Rubiales, D. (2007). "Resistance reaction to powdery mildew (*Erysiphe pisi*) in a germplasm collection of zz from Iberian origin". *Genetic Resources and Crop Evolution*, 54(7), 1517-1521.
- Sillero, J. C., Fondevilla, S., Davidson, J., Patto, M. C., Warkentin, T. D., Thomas, J., & Rubiales, D. (2006). "Screening techniques and sources of resistance to rusts and mildews in grain legumes". *Euphytica*, 147(1), 255-272.



“Ver, conocer y fotografiar”. La participación ciudadana en la creación de un banco de aves en las Bardenas Reales

/ TERCER PREMIO

AUTORAS | CELIA DE VEGA PÉREZ Y RITA MALDONADO REMACHA

COORDINADOR | FRANCISCO SANTOS ESCRIBANO

CENTRO | IES VALLE DEL EBRO

CIUDAD | TUDELA-NAVARRA

RESUMEN |

Bardenas Reales es un Parque Natural declarado Reserva de la Biosfera por la UNESCO en el año 2000 situado cerca del municipio navarro de Arguedas. Se trata de un desierto, característico por su rareza geográfica, su paisaje y sus formaciones geológicas. Del mismo modo, su flora y fauna hacen que sea un lugar único y desconocido por muchos. Por ello, se ha visto preciso crear una base de datos en colaboración con la entidad de Bardenas Reales que permita almacenar el fondo audiovisual realizado por personal especializado en el avistamiento de aves o por cualquier visitante del parque que considere conveniente registrar esa especie. Para que pueda ser manipulada por todos los públicos se ha buscado que sea fácil de utilizar y de rápido acceso, además se puede hacer de forma anónima sin necesidad de tener un usuario. Mediante la aplicación MySQL se ha programado una base de datos de carácter relacional que permite categorizar la fotografía con mayor precisión, algunos de los apartados en los que se pueden clasificar las imágenes son: el tipo de ave, su hábitat, alimentación...del mismo modo que se impide que aparezca la localización las especies para no alterar el ecosistema al que pertenecen.



ABSTRACT |

Bardenas Reales is a Natural Park declared a Biosphere Reserve by UNESCO in 2000, located near the Navarrese municipality of Arguedas. It is a desert, characterised by its geographical rarity, its landscape and its geological formations. Likewise, its flora and fauna make it a unique place, unknown to many. For this reason, it is necessary to create a database in collaboration with the Bardenas Reales organisation that will allow the storage of audiovisual material taken by personnel specialised in bird watching or by any visitor of the park who considers it appropriate to record that species of bird. We have sought to make it easy to use and quick to access so that it can be manipulated by everyone, as well as being able to do so anonymously without the need for a user. By means of the MySQL application, a relational database has been programmed that allows the photograph to be categorised with greater precision. Some of the sections in which the images can be classified are: the type of bird, its habitat, feeding... in the same way that the location of the species is prevented from appearing so as not to alter the ecosystem to which they belong.



1. JUSTIFICACIÓN

La creación de una base de datos participativa y operativa para la institución Bardenas Reales, surge de la necesidad de identificar, de forma rápida y eficaz la flora y fauna del espacio, y que a su vez sea accesible al público interesado en el avistamiento de aves. Es un proyecto ambicioso puesto que, en este parque natural nunca se ha tenido la oportunidad de clasificar y parametrizar el número de especies que habitan el ecosistema estepario.

La investigación llevada a cabo pretende contribuir al seguimiento de la biodiversidad en el Parque Natural de Bardenas Reales. El proyecto se ha diseñado pensando en facilitar una aproximación a la ornitología apta para todos los públicos, con facilidad de manejo y sin necesidad de conocimientos previos. Por ello, consideramos que cubre tres aspectos esenciales del enfoque de Ciencia Ciudadana combinado con la biodiversidad recogidos en el documento Ciencia Ciudadana, naturaleza urbana y educación ambiental, elaborado conjuntamente por Fundesplai y la CREA (2020): fomentar la acción local, con lo que puede aportar de conocimiento sobre el entorno más cercano; incentivar la sensibilización ciudadana; y promover la adopción de espacios naturales, con el objetivo de contribuir a su custodia y protección. Además, se estima que la propuesta llevada a cabo permita ofrecer datos de relevancia para investigaciones científicas, tanto por su volumen como por la calidad de los mismos (requerimientos incluidos en el decálogo de la Asociación Europea de Ciencia Ciudadana, ECSA, 2015).

2. OBJETO DE ESTUDIO

El objetivo principal ha sido diseñar una estrategia que articulase de manera eficaz la participación voluntaria en el avistamiento de aves dentro del Parque Natural de Bardenas Reales, de manera que proporcionase información relevante para el estudio de la biodiversidad del espacio, fomentase el conocimiento del entorno, su protección y concienciación, y ofreciese un sistema 'open data' para construir conocimiento científico, disponible para cualquier usuario. El pilar que sustenta el proyecto es diseñar una base de datos funcional (operativa, accesible y participativa) cuya finalidad es su uso por la Comunidad de Bardenas Reales a través de su página web oficial.

3. OBJETIVOS

Generales:

- Facilitar el conocimiento de las aves que hay en el parque Natural de Bardenas Reales mostrando la diversidad de especies y estudiando su comportamiento.
- Poner en valor, a través de la digitalización y la clasificación de las diversas especies de aves, el patrimonio natural de este paisaje estepario bardenero



- Conocer los movimientos de las aves en el parque de Bardenas Reales y sus hábitos cuando anidan y pasan el tiempo en dicho entorno.

Específicos:

- Almacenar el fondo documental de imágenes disponibles sobre diversas especies.
- Categorizar este fondo, organizarlo y etiquetarlo mediante metadatos.
- Permitir que los usuarios particulares puedan subir a la base de datos sus propias imágenes y que estas, automáticamente, se almacenen según los criterios del motor de búsqueda.

4. METODOLOGÍA

4.1. ENFOQUE

Para nuestro trabajo de investigación «*Diseño de una base de datos operativa y participativa con el fondo documental de imágenes de especies procedentes de Bardenas Reales.*» se ha decidido, como fundamento del mismo, informarse sobre el tema a través de la diversidad bibliográfica de la literatura informática. Para ello se ha propuesto buscar y realizar una labor objetiva y veraz, y lo más importante que sea eficiente, para que pueda ajustarse a las características del planteamiento de la entidad promotora del mismo.

En este sentido, se emplean las fuentes proporcionadas por el coordinador del Bi+ y bibliografía y webgrafía de internet.

5. RESULTADOS

5.1. ANÁLISIS DE REQUISITOS

Combinando los criterios recogidos en Fraisl et al. (2022), en el decálogo de la ECSA (2015) y en las guías BABOK del International Institute of Business Analysis (2015) para la gestión de proyectos, se establecieron con los responsables de Bardenas Reales cinco requisitos esenciales. Además, los programas de monitoreo basados en ciencia ciudadana deben fundamentarse en tres criterios mínimos (Chandler et al., 2017): que se garantice la calidad de los datos, se compartan, y adicionalmente se realice una verificación de los mismos.

Requisitos:

- Inmediatez
- Sencillez
- Accesibilidad
- Privacidad de usuario
- Evitar nombrar la localización de las aves.



En este contexto, desde el comienzo se barajaron por las autoras dos opciones principales de solución para el problema de diseño planteado.

a. Crear un sitio web o página, mediante el uso de los lenguajes de programación (por ejemplo, PHP y SQL), que se integrase en el ya existente oficial de Bardenas Reales (<<https://bardenasreales.es/>>), agrupando los datos en una base.

b. Utilizar un sistema de gestión de contenido (CMS) para estructurar la información mediante tablas en un servidor, que queda enlazado a la web de la entidad.

Por todo ello, y después de tener una primera reunión con los responsables de la institución, para la constitución del proyecto (Anexo), se decide que es mejor la segunda posibilidad, por varios factores:

- El cliente no tiene una idea previa de cómo deseaba la entrega del proyecto.
- No existe ningún profesional del área de la ingeniería informática responsable del mantenimiento del sitio web.
- Frente a A, B puede utilizarse sin tener ningún conocimiento de diseño ni de programación, por lo que la transmisión y mantenimiento del producto finalizado sería más sencillo.

En este modelo, las claves primarias están marcadas en amarillo. Sus id son valores numéricos pero para que sea más sencillo han sido expresados con palabras. De este modo, al haber varias fotos para un mismo ave hay diversas filas con un mismo idAVE. A su vez, puede darse el caso de que existan varias especies en una misma imagen por lo que se generan varias filas con el mismo idFOTO.

5.1.2. MATRIZ DE REQUERIMIENTO

Anexo 1

5.2. DISEÑO CONCEPTUAL

5.2.1. ESQUEMA ER (ENTIDAD RELACIÓN)

Anexo 2 y 3

5.3. DISEÑO LÓGICO

5.3.1. ELECCIÓN DEL SGBD: COMPARATIVA.

5.3.2. TAMAÑO APROXIMADO DE LA BASE

Se calcula que la suma del código y los datos de la base ocuparían unos 120 Mb de espacio. Sumado a las imágenes aportadas por Bardenas (con un tamaño de 23Gb) y asumiendo que se debe estimar un peso mayor para poder integrar más fotografías durante un periodo de al menos un mes con normali-



dad, concluimos que el tamaño inicial reservado para la base de datos idóneo es de unos 30Gb.

5.3.3. ESQUEMA RELACIONAL (ANEXO 4)

Este es el segundo esquema elaborado de forma relacional. En el mismo, las claves primarias tienen forma de llave. Además, las relaciones están marcadas con líneas y son entre las variables con mismo nombre en las diferentes tablas. Por ello, a la derecha de los nombres de estas aparece su tipo, entre los cuales se encuentra varchar (texto con un número de caracteres específico), TinyInt (el programa no tiene valores booleanos, es decir, 0 o 1, y lo intercambia por un tinyint). Una variable booleana tiene dos valores, 1 o 0, que representan, por ejemplo, el estado activo o inactivo, una pregunta de sí o no etc. Se encuentran también variables tipo Int (valores numéricos enteros), Text (texto de diferente longitud) y DateTime.

A su vez, la cardinalidad permite transformar el modelo ER, obtenido de la fase precedente a un sistema relacional propiamente dicho. Para ello, los dos elementos de los que consta el mismo, se traducen del siguiente modo. Cada entidad origina una relación, y las interrelaciones, si son binarias del tipo 1:M (uno a muchos), dando lugar a claves foráneas de alguna relación, y si lo son del tipo M:N (muchos a muchos), originan una nueva relación (no pueden usarse en este segundo caso claves foráneas porque generarían atributos que tomarían varios valores). Las interrelaciones binarias 1:1 (uno a uno) no requieren añadir atributos porque al transformar las entidades en relaciones las claves primarias se conservan, como ahora se explica.

Para ello, los atributos de la entidad se consideran atributos de la relación en el modelo relacional y, del mismo modo, la clave primaria de la entidad es la de la relación que surge.

En el esquema, a continuación, los atributos de cada entidad están estructurados en forma de una columna. En la propia base de datos cada uno representa una columna de una tabla titulada como el nombre de la entidad. Cada fila es una nueva entrada (en nuestro caso cada ave). Un ejemplo de ello es la tabla modelo del apartado 6.2.1

Este concepto se conecta con el esquema relacional. En primer lugar, las relaciones 1:1, en la que una variable solo puede corresponderse con una de la otra variable. En esta base no hay ninguna.

En segundo lugar, las relaciones 1:n se dan cuando un valor de una variable se puede corresponder con más de una entrada de la otra variable. Este es el caso de la relación entre las tablas de Aves y el Censo, en la que hay más de uno, cada año, de cada ave, pero este no puede pertenecer a varias especies.



En tercer lugar se encuentran las relaciones n:m, en la que una entrada de una variable se puede corresponder con varias de la otra y viceversa. Para estos casos hace falta una tabla externa que las enlace. Este es el caso de la relación entre las tablas de pájaros y tipos, en la que un ave puede ser carnívora y diurna. A su vez, otras pueden ser diurnas o carnívoras. También se da entre el cuadro de Pájaros y de Fotos, porque pueden haber varias fotos de una misma, a la vez que aparecer varias en la foto. Es igual para las tablas de Ave y Hábitat.

El estado de las fotos hace referencia a la confirmación de la revisión de las imágenes subidas por usuarios externos a la entidad por el informático encargado del mantenimiento.

5.3.4. NORMALIZACIÓN

Este proceso sirve para detectar posibles fallos en el modelo relacional generado, garantizar la integridad de los datos y mejorar la estructura. La siguiente tabla muestra el grado de cumplimiento de las reglas, propiamente denominadas primeras formas normales. (Anexo 5)

Es importante tener en cuenta que al no tener el código fuente de la base escrito no se puede confirmar que estas reglas se cumplan, pues no es posible comprobar si alguna clave primaria no tiene valor al no estar escritas cada una de las aves. Sin embargo, por la estructura seguida, y al rellenar todos los campos correctamente estas reglas sí se cumplen hasta al menos la 3FN.

Se comprobarán las formas normales al finalizar el desarrollo de la base en conjunto con Bardenas Reales con una fecha estimada de enero.

5.4. DISEÑO FÍSICO

El desarrollo del sitio web con PHP y MySQL se basa en escribir los scripts de programación con lenguajes por cada función y en la definición de las relaciones entre las tablas del contenido de la base de datos.

Esta primera opción exige diversas competencias informáticas y de software específicamente si el contenido del sitio web impulsado por una base de datos agrupa los datos y los resultados de experimentación que son demasiado amplios.

Por eso, debe implementarse una solución adecuada a las necesidades de los usuarios internos que son principalmente los que desarrollan, y pueden ser algunas personas del equipo de investigación.

Haría falta un alojamiento web (un 'hosting'), pero depende del proveedor del servicio (En este caso la entidad o el técnico). Tipos de alojamientos:

- Alojamiento con lenguaje HTML *HyperText Markup Language*.
- Alojamiento con lenguaje PHP y base de datos MySQL.
- Alojamiento con PHP y MySQL para instalación de gestor de contenidos (CMS).

A continuación debe ser llevada a cabo la programación de la base de datos. Aquí se detiene el proyecto para empezar a trabajar en conjunto con los informáticos encargados de la web oficial de Bardenas Reales.

5.5. MANTENIMIENTO Y REVISIÓN

Esta sección debe ser llevada a cabo cada cierto tiempo y periódicamente tras la finalización de una base para comprobar el funcionamiento y la actualización correcta de los datos. Para ello, la entidad es la encargada de asignar a un informático que la revise mensual o trimestralmente mediante el gestor de bases de datos.

6. CONCLUSIONES

En definitiva, hemos utilizado en nuestro trabajo un modelo que tiene una arquitectura de SGBD que consta de cuatro niveles. Un primer nivel interno que es la estructura del almacenamiento de datos. Un nivel físico con los mecanismos de almacenamiento del sistema operativo utilizado. También a nivel conceptual con la descripción del contenido y las relaciones entre datos. Y por último, el externo que son las partes externas presentadas a los usuarios.

Ahora bien, cuando nos planteamos realizar esta investigación éramos conscientes de la experiencia que nos iba a aportar en nuestra vida académica y laboral. Sin duda, el mismo nos acerca al mundo real. La metodología, el trabajo colaborativo y la práctica diaria con las exigencias de plazos y entregas, no se parecen en nada a cualquier tipo de actividad realizada a lo largo de los cursos anteriores.

Un experto por hora cobraría aproximadamente 40 euros, en consonancia con nuestros resultados empleamos alrededor de 70 horas que multiplicado por 40 sería equivalente a 2.800 euros, al ser dos personas los gastos se duplican y serían un total de 5.600 euros, este gasto se hubiera incrementado si no se hubiera utilizado software libre, y no se ha tenido en cuenta el coste en equipos, que han sido los de las autoras.

Por último, este estudio viene a desarrollar uno de los objetivos previstos para la implantación de un programa de educación ambiental, impulsado desde 2016 por la Comunidad de Bardenas Reales, entidad con la que se ha colaborado para desarrollar esta investigación en virtud de un Convenio Marco establecido con el programa de bachillerato de investigación, Bi+, de nuestro centro.



7. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Anexo 1

TIPO DE REQUERIMIENTO	DESCRIPCIÓN TEXTUAL (frase breve)	SEGUIMIENTO (marcar con una «X» según corresponda)				
		Vigencia			Estado	
		Aprobado	Cancelado	Diferido	Activo	Completado
001 REQUERIMIENTOS DEL NEGOCIO						
1.1.	Clasificar las aves y sus imágenes	X				X
1.2.	Accesibilidad y uso sencillo	X				X
1.3.	Poner en valor la fauna del parque	X			X	
002 REQUERIMIENTOS DE LOS INTERESADOS						
2.1.	Anonimidad de los usuarios	X			X	
2.2.	No mostrar la localización y rutinas de las aves	X				X
Requerimientos de la solución, que se dividen en dos:						
003 REQUISITOS FUNCIONALES (RF)						
3.1.	Sistema de seguridad completo	X			X	
004 REQUISITOS NO FUNCIONALES (RNF)						
4.1.	Inmediatez	X			X	
005 REQUERIMIENTOS DE TRANSICIÓN						
5.1.						

Anexo 2

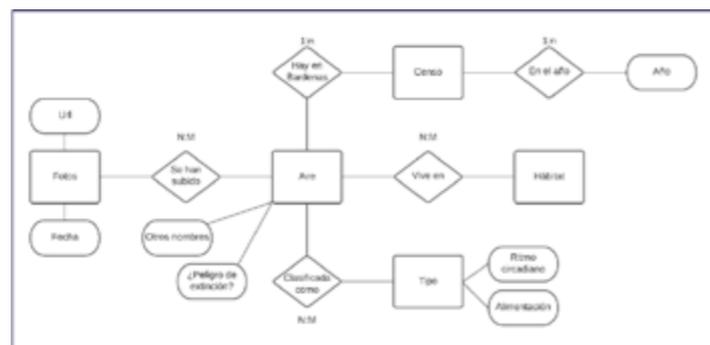


Tabla 2

Matriz de requerimientos. Fuente Project Management Institute (2017). A Guide to the Project Management Body of Knowledge

Esquema sobre las estructuras y relaciones que debe contener la base de datos. Fuente: Elaboración propia

Anexo 3

Para la elaboración del esquema entidad-relación se empleó MySQL Workbench, el cual tiene las herramientas necesarias para generar una tabla por cada entidad en la que se encuentran los atributos. Por ejemplo, en el cuadro de imágenes encontramos el nombre del ave, el ID de la foto, su URL y su estado. También avisa si ha sido o no revisada por un trabajador y la fecha de subida. De este modo, un modelo con datos ficticios quedaría así:

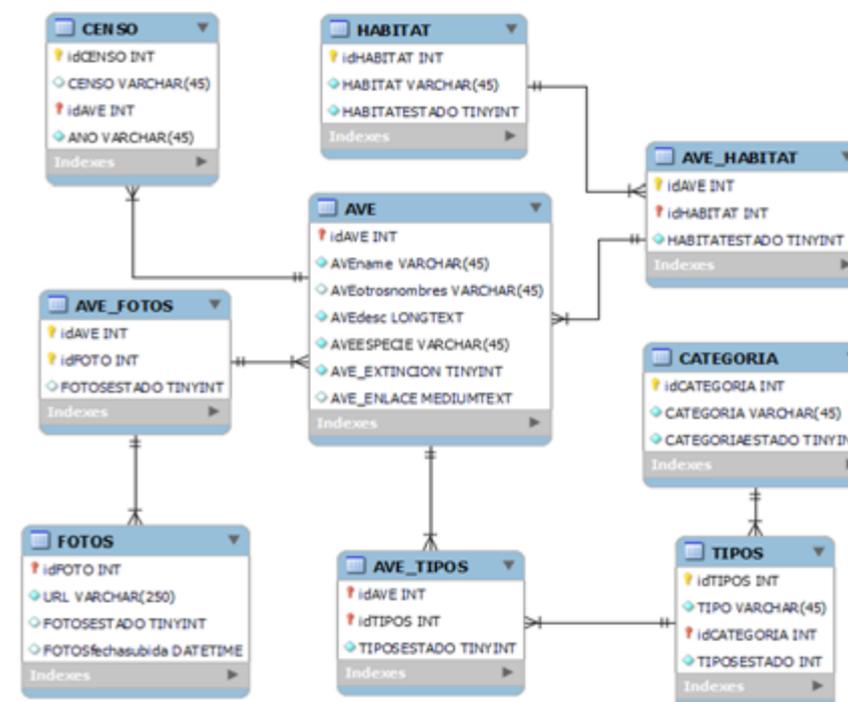
IMÁGENES				
IDFOTO	IDAVE	URL	FOTOSESTADO*	FOTOSFECHASUBIDA
foto1	idave1	urlfoto1.es	1	15/04/22
foto2	idave1	urlfoto2.es	1	22/01/22
foto3	idave2	urlfoto3.es	0	01/10/22
foto3	idave3	urlfoto3.es	0	01/10/22

*1- Foto revisada. 0-Foto no revisada

Tabla 3

Ejemplo sobre el funcionamiento de las relaciones. Fuente: Elaboración propia

Anexo 4



Fuente. Elaboración propia sobre las relaciones que contiene la base de datos.



Anexo 5

El primer paso es determinar las relaciones (o entidades), sus atributos y los dominios de cada uno.*

AVE (*idave*, *nombre*, *otrosnombres*, *descripcion*, *especie*, *extincion*).

TIPO (*idtipo*, *categoría*, *categoríasubtipo*).

FOTO (*idfoto*, *url*, *revisado*, *fechasubida*).

CENSO (*idcenso*, *censo*, *año*).

HÁBITAT(*idhabitat*, *estado*).

A continuación determinamos el dominio de cada atributo:

dom (*idave*)=números enteros.

dom (*nombre*)=texto.

dom (*otrosnombres*)=texto.

dom (*descripcion*)=texto.

dom (*especie*)=texto.

dom (*extinción*)=booleano.

dom (*idtipo*)=números enteros.

dom (*categoría*)=texto.

dom (*categoríasubtipo*)=texto.

dom (*idfoto*)= números enteros.

dom (*url*)=texto.

dom (*revisado*)=booleano.

dom (*fechasubida*)=fecha y hora.

dom (*idcenso*)=números enteros

dom (*censo*)=números enteros



dom (*año*)=números enteros

dom (*idhabitat*)=números enteros

dom (*estado*)=booleano

*La ausencia del uso de tildes y espacios en todo este apartado se debe a que en el lenguaje de programación la lengua original empleada es la inglesa, por lo que las tildes no se emplean y no son reconocidas. A su vez no se admiten los espacios, por lo que un apartado con varias palabras se escriben juntas.

8. BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA





Inteligencia artificial y paneles solares bifaciales para la optimización del autoconsumo energético

/ TERCER PREMIO

AUTORA | MARTA SIERRA SEGOVIA

COORDINADORAS | BLANCA LÓPEZ FERNÁNDEZ Y CRISTINA MARÍA JIMÉNEZ LEAL

CENTRO | IES MARGARITA SALAS

CIUDAD | MAJADAHONDA-MADRID

RESUMEN |

La actual crisis energética y el acentuado cambio climático hacen patente la necesidad de optimizar el consumo energético. Gracias a la masiva cantidad de datos al alcance de todos y a los avances tecnológicos que facilitan su análisis, entre ellos el *deep learning* o aprendizaje profundo, es posible dar con soluciones innovadoras que abordan dichos problemas, entre otros, desde una nueva perspectiva.

En el presente proyecto se ha desarrollado un modelo de análisis predictivo basado en redes neuronales recurrentes de memoria larga a corto plazo (LSTM), empleando el lenguaje de programación Python. Dicho modelo tiene la capacidad de estimar la producción energética de una instalación de autoconsumo formada por paneles solares bifaciales en las futuras 24 horas, utilizando los datos de los tres días anteriores. Para el entrenamiento del modelo se emplearon un total de 61.320 datos de potencia obtenidos a partir de datos meteorológicos, valores de albedo correspondientes a siete superficies distintas y el diseño digital de una instalación fotovoltaica. Los resultados corroboraron la predictibilidad de la potencia eléctrica, puesto que el algoritmo adquirió una notable precisión, con un MSE de 0,012 y un RMSE de 0,109. Esto permite la adecuación de la demanda a la disponibilidad, optimizando así el consumo energético.



ABSTRACT |

The current energy crisis and ongoing climate change shed light on the need to optimize energy consumption. Thanks to the massive amount of data available to everyone and the technological breakthroughs that facilitate its analysis, such as deep learning methods, it is possible to devise innovative solutions capable of addressing these problems, among others, from a new perspective.

In this project, a predictive analysis model based on long-short term memory (LSTM) recurrent neural networks has been developed, using Python, a well-known programming language. This model has the capacity to estimate the energy production of a self-consumption installation made up of bifacial solar panels in the future 24 hours, using stored data from the three previous days. For training the model, a total of 61,320 power data was processed, which had been obtained from meteorological data, albedo values corresponding to seven different surfaces and the digital design of a photovoltaic installation. The results corroborated the predictability of electrical power since the algorithm achieved remarkable accuracy, with an MSE of 0.012 and an RMSE of 0.109. This enables the adjustment of demand to availability, thus optimizing energy consumption.



1. INTRODUCCIÓN

El 25 de septiembre de 2015, se aprobó en Naciones Unidas la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, cuyo objetivo 7 pretende garantizar el acceso a una energía asequible, fiable, sostenible y moderna para todos. Acontecimientos recientes como la pandemia de la Covid-19 o la guerra en Ucrania han sido agravantes de la crisis energética que el mundo arrastra desde principios de siglo, dejando al descubierto un claro déficit energético y provocando una inflación en los precios de la energía. Este proyecto apuesta por la sostenibilidad ambiental, económica y social, proponiendo, mediante el uso de inteligencia artificial (IA), un sistema de predicción de la producción energética en una instalación para el autoconsumo compuesta por paneles solares fotovoltaicos bifaciales.

Hoy en día, el carbón es una de las principales causas del cambio climático antropogénico, ya que contribuye con casi la mitad del total de emisiones de CO₂. Las energías renovables y modernas, como la solar fotovoltaica, son una alternativa sostenible que permiten satisfacer las necesidades básicas sin suponer una amenaza para el medio ambiente o la salud pública. Pero, además de priorizar las energías sostenibles, la crisis energética hace evidente la urgencia de reducir la demanda y optimizar los recursos disponibles. La iniciativa de este proyecto facilita dicha optimización ya que permite al consumidor modificar sus hábitos de consumo en el hogar adaptándose a la disponibilidad energética. Además, una ventaja fundamental de la energía solar fotovoltaica, en especial si se usan paneles solares bifaciales, es su bajo coste de producción en comparación con otras energías, y produciendo para el autoconsumo se eliminan los costes de transporte y las emisiones derivadas del proceso. Esta mayor asequibilidad y la fiabilidad hacen que la energía solar sea clave para abastecer a los 733 millones de personas que carecen de acceso a electricidad.

2. ANTECEDENTES

2.1. ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar fotovoltaica se obtiene al transformar directamente la energía del sol en electricidad usando tecnologías basadas en el efecto fotoeléctrico (Iberdrola, 2022). Esta tecnología energética está en un constante desarrollo, siendo una de las más prometedoras en vistas al futuro gracias a la reducción de costes que supone en la producción y el consumo energético.

Para transformar la radiación solar en electricidad se utilizan paneles o módulos solares fotovoltaicos. Estos tienen una larga vida útil, de entre 25 y 30 años, lo cual hace que sean económicamente rentables, especialmente a largo plazo (Endesa, 2022 b). Suelen disponer de 60 células fotovoltaicas, normalmente de silicio, y otros componentes que les dan firmeza y operatividad (Planas, 2022), (BBVA, 2022). Destacan el inversor y el transformador, y ocasionalmente un seguidor que cambia la posición del panel para maximizar su eficiencia.



Uno de los avances más prometedores de la tecnología fotovoltaica es el módulo bifacial. A diferencia de los paneles solares convencionales, monofaciales, los bifaciales producen electricidad a través de ambas caras al tener células fotovoltaicas en su cara posterior. Mientras que la cara superior aprovecha la radiación directa y la difusa, la cara inferior aprovecha la reflejada o albedo, definido como el porcentaje de radiación solar que refleja una superficie, por lo que depende de la superficie en cuestión. Cuanto más alto sea el albedo, típicamente en superficies claras, brillantes y de textura suave, más radiación solar llegará a la parte trasera del panel. Esto supone un incremento de la producción de electricidad (Cambio energético, 2019 b), favorecido también por factores como la distancia entre paneles, la altura de estos, el sombreado, la inclinación y orientación, la temperatura de trabajo a la que están sometidos los módulos, y la presencia de un seguidor (Interempresas, 2021).

2.2. BIG DATA O MACRODATOS

Durante las últimas décadas, el volumen de datos digitales mundiales ha experimentado un crecimiento exponencial, pasando de 2 zettabits en 2010, a 64 en el año 2020 (Roa, 2021). Big Data es un término que hace referencia a un volumen masivo de datos y a su tratamiento y análisis. En lo que respecta al ODS 7, trabajar con esta tecnología puede suponer una revolución en el sector energético y un significativo avance hacia el objetivo (Naciones Unidas, s. f.). Frente al aumento de la demanda energética causado por el crecimiento demográfico y económico, y la escasez de combustibles fósiles, el Big Data permite analizar todo el proceso relacionado con la energía y consecuentemente mejorar la eficiencia de su uso, garantizar el cubrimiento de demanda, hacer más sostenible el proceso, y reducir la huella de CO₂, la dependencia energética y los costes (Herrero, 2017).

2.3. INTELIGENCIA ARTIFICIAL

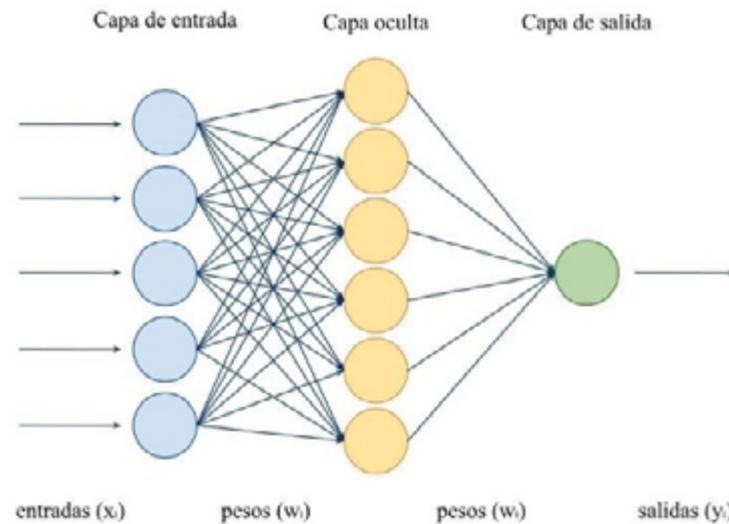
La inteligencia artificial (IA) es una técnica que pretende imitar la inteligencia humana a través de sistemas que aprenden mediante el análisis de datos. El puente entre la IA y el Big Data es el aprendizaje automático (*machine learning*), que permite la identificación de patrones en los datos mediante algoritmos entrenados para extraer conclusiones. Un subconjunto de este es el aprendizaje profundo (*deep learning*), basado en redes neuronales artificiales, las cuales imitan el funcionamiento de las neuronas humanas (Instituto de Ingeniería del Conocimiento, 2021). Como se muestra en la Figura 1, las redes neuronales tienen capas de neuronas o unidades que operan en los datos y se conectan con las neuronas de capas anteriores y posteriores mediante pesos sinápticos. Dichos pesos regulan la información que se transmite a la siguiente capa y establecen la influencia de los valores de entrada para determinar el valor de salida (Amat Rodrigo, 2021). El entrenamiento de una ANN consiste en el ajuste de los valores para los vectores de pesos con el fin de identificar las variables que más influyen en los resultados (Amat Rodrigo, 2021).



Figura 1

Arquitectura de una red neuronal artificial

Fuente: Elaboración propia



Algunas de las operaciones mencionadas son la suma ponderada de las entradas y una función de activación (sigmoide en este proyecto, la cual transforma los valores al rango (0,1)). Otra función fundamental es la función de pérdida, encargada de cuantificar la diferencia entre los valores predichos y los reales. Para los problemas de regresión, la más utilizada es el error cuadrático medio (MSE).

Existen varios tipos de ANN. Por ejemplo, las redes neuronales recurrentes (RNN) tienen *loops* en su arquitectura que les permite “recordar” información. Una evolución de estas son las redes neuronales de memoria larga a corto plazo o LSTM (*long short-term memory*), con una arquitectura más compleja. Estas recuerdan información durante extensos intervalos de tiempo gracias a múltiples celdas de memoria que se modifican de manera regulada a través de capas con funciones de pérdida, como la sigmoide o la tangente hiperbólica. (González, 2020). Por ello, su uso se ha expandido en los ámbitos de predicción de series temporales, el reconocimiento de idiomas, etc. (Microsoft, 2022).

3. HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

La hipótesis planteada en este proyecto es: la inteligencia artificial permite ajustar el autoconsumo a la producción energética.

El objetivo principal del presente proyecto es:

- Programar un algoritmo basado en redes neuronales recurrentes de memoria larga a corto plazo o LSTM (*Long Short-Term Memory*), que sea capaz de realizar una predicción con precisión de la energía generada por una instalación fotovoltaica de autoconsumo, de placas bifaciales, en función del albedo de las superficies, en las veinticuatro horas posteriores.



Como objetivos secundarios se contemplan los siguientes:

- Contribuir a la optimización del consumo energético ligado al ODS 7.
- Investigar técnicas de IA para su aplicación en análisis predictivo.

4. METODOLOGÍA

La metodología procedimental de este proyecto se basa en la predicción a corto plazo de la producción energética de los paneles solares bifaciales, en función de la potencia generada en las 72 horas anteriores, mediante el uso de un algoritmo basado en una red neuronal recurrente LSTM. Se emplearon las siguientes herramientas:

- *System Advisor Model (SAM)*. Software gratuito que realiza predicciones de rendimiento para proyectos de energías renovables (Freeman, s. f.).
- *JRC Photovoltaic Geographical Information (PVGIS)*. Una herramienta de la Unión Europea que cuenta con información meteorológica y de rendimiento energético. (EU ScienceHub, s. f.).
- *Jupyter Notebook y Anaconda*. El código de programación se desarrolló con *Jupyter Notebook*, un entorno de trabajo interactivo de código abierto, al cuál se accedió a través de la aplicación *Anaconda*. Es compatible con varios lenguajes de programación, incluyendo *Python*, el empleado para la elaboración del programa (Santos, 2021).
- *edX*. Una plataforma de cursos en línea. Se cursaron “¡Conceptos básicos de Python para Data Science!”, “Analizando datos con Python” y “Visualizando datos con Python”, impartidos por la empresa IBM.

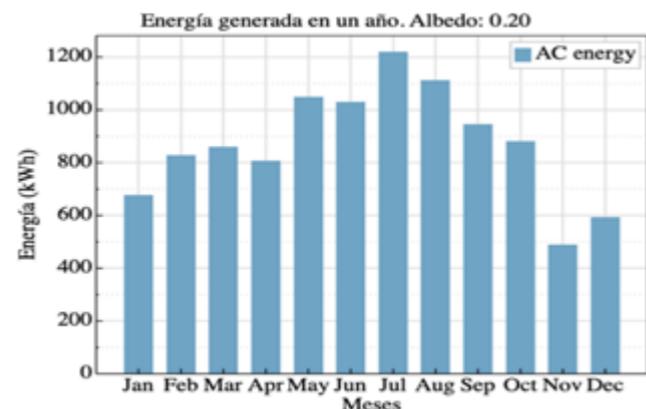
4.1. RECOPIACIÓN DE DATOS

En primer lugar, se descargaron los datos meteorológicos de PVGIS. Se seleccionó Majadahonda como localización y los datos del año típico meteorológico (TMY), un conjunto de datos meteorológicos representativos de la localidad. Se obtuvo un valor para cada hora durante doce años, y se descargaron en formato *epw (EnergyPlus Weather Data File)*. A continuación, se descargaron los datos de potencia en SAM. Esta aplicación se basa en el diseño personalizado de un modelo de rendimiento mediante la selección de parámetros. Se ajustó el modelo a un sistema de autoconsumo alimentado por paneles bifaciales, introduciendo los datos meteorológicos ya, el coeficiente de albedo predeterminado (0,2), diez paneles bifaciales compuestos de 72 células de silicio monocristalino y un área de 2,210 m² cada uno, un seguidor de un solo eje y una inclinación de 35°, y un inversor adecuado al modelo. Los resultados de la potencia generada en kW y el coeficiente de albedo se descargaron en un archivo CSV, el cual incluye una tabla con valores horarios de un año. Los resultados obtenidos de la simulación del modelo se muestran en la Figura 2. Finalmente, se cambió el valor del albedo por valores conocidos asociados a distintas superficies y se descargaron los resultados obtenidos.

Figura 2

kWh/año con albedo 0,20

Fuente: Elaboración propia



4.2. PREPROCESADO DE DATOS

El código se desarrolló en un cuaderno de Jupyter. En primer lugar, se importaron las librerías necesarias, que son conjuntos de archivos de código y funcionalidades que facilitan la programación al reducir el tiempo de desarrollo y los costes (Datos. gob, 2022). Las que se emplearon para el desarrollo del programa son *Numpy*, *Pandas*, *Matplotlib*, *Seaborn*, *Scikit-learn* y *Keras*.

A continuación, se cargaron, en forma de *DataFrame*, los datos de potencia generada y albedo en el cuaderno, y se crearon 7 variables diferentes, una para cada conjunto de datos con un valor de albedo distinto. Con los métodos `.head()` y `.shape` se comprobó la estructura y forma de los *DataFrames*, los cuales tienen 3 columnas (tiempo, potencia generada y albedo) y 8760 filas (horas de un año). También se obtuvieron las estadísticas de los conjuntos de datos y se comprobó que no hay ningún valor atípico con el método `.describe()`, y se empleó el método `.isnull().values.any()`, que indica si hay algún valor nulo, lo que podría tener una gran repercusión negativa en el análisis de datos.

La reestructuración de datos se llevó a cabo para que estos adquiriesen el formato adecuado para la red neuronal LSTM. Para reducir los conjuntos de datos y las líneas de código necesarias, se agruparon los datos en dos conjuntos: entrenamiento y validación. Se decidió utilizar los datos calculados con el valor de albedo predeterminado (0,2) como datos de validación, y agrupar los otros seis conjuntos de datos para el entrenamiento de la red. A continuación, se cambió el índice de las tablas puesto que en las series temporales de pandas es conveniente que el índice sea la columna del tiempo (*Time stamp*), y se eliminó la columna con los valores del albedo puesto que la red neuronal solo toma como valores de entrada los datos de la potencia generada.

Otro paso importante a seguir es la normalización de los datos, para lo que se utilizó la escala Min Max. Esta convierte el valor mínimo del conjunto de datos en un 0 y el valor máximo en un 1, mientras que los valores intermedios toman

valores decimales entre el 0 y el 1. Una vez se obtuvieron los *DataFrames* de entrenamiento y validación con los datos escalados y solo los estrictamente necesarios, se estructuraron de tal manera que en la fila correspondiente a una hora de cualquier día se encontraban los valores de potencia generada en las 72 horas anteriores, el valor en dicha hora y los valores de las 23 horas posteriores. Finalmente, se comprobó que los *DataFrames* nuevos tenían valores NaN en las primeras 72 filas y las últimas 23, por lo que se eliminaron dichas filas.

Se dividieron los datos en valores de entrada y de salida, es decir, valores que utiliza la red como *input* y valores que tiene que predecir. Al primer conjunto se le asociaron los primeros 72 valores de cada fila, y al segundo los 24 últimos. Este proceso se llevó a cabo con los datos de entrenamiento y de validación.

Por último, como los valores de entrada tenían dos dimensiones y las redes neuronales LSTM requieren *inputs* de tres dimensiones, se les cambió la forma de tal modo que la dimensión del conjunto de entrenamiento era (52465, 1, 72), y la de validación (8665, 1, 72), siendo el valor intermedio los pasos de tiempo.

4.3. DESARROLLO Y ENTRENAMIENTO DEL MODELO

Para desarrollar y entrenar el modelo de análisis predictivo usando una red neuronal LSTM se creó un modelo *deep learning* de clase *Sequential* con varias capas. Primeramente, se agregó una capa LSTM con 100 neuronas y cuyo *array* de entrada se formó por los pasos de tiempo (1) y la longitud (72) de los *arrays* tridimensionales previamente generados. La segunda capa es de abandono o exclusión (*Dropout*), con una tasa de abandono del 20 %, que sirve para evitar el sobreajuste u *overfitting*. La última capa es la capa densa en la que cada neurona se conecta con todas las neuronas de la capa anterior. El número de neuronas de esta capa concuerda con el número de valores de salida (24). Una vez añadidas las capas, se compiló el modelo con el error cuadrático medio como función de pérdida y *adam* como optimizador, y se añadió una parada temprana o *Early Stopping*, una técnica de regularización que evita el sobreajuste.

Finalmente, se entrenó el modelo para que sea capaz de realizar predicciones. Hubo que seleccionar los valores de entrada y de salida con los que entrenar el modelo (datos de entrenamiento divididos en entrada y salida); el número de ciclos o *epoch* (100), que son las veces que cada ejemplo pasa por la red; la devolución de llamada o *callbacks* con la parada temprana, que detiene el entrenamiento si la pérdida de validación no disminuye durante seis ciclos consecutivos; el *batch size* o tamaño de lote (85), que determina la memoria del modelo estableciendo el número de ejemplos que pasan por él en cada ciclo; los datos de validación (divididos en entrada y salida); la *verbose*; y por último, el *shuffle (False)*, donde se elige si los datos son desordenados automáticamente antes de entrenar el modelo (González, 2020).

5. VISUALIZACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Una vez entrenado el modelo, se representaron las curvas de aprendizaje, visualizaron los resultados y calculó el error del programa para comprobar que el modelo hubiese aprendido correctamente, que su funcionamiento fuese óptimo y, por tanto, que el modelo fuese fiable.

5.1. PROCESO DE ENTRENAMIENTO 1

Se representaron gráficamente las curvas de aprendizaje de los ciclos frente a los valores de pérdida en los conjuntos de datos de entrenamiento (*loss*) y validación (*validation loss*). En la Figura 3 se puede ver cómo, aunque el número de ciclos establecido había sido 100, gracias a la parada temprana, el entrenamiento del modelo se detuvo tras el ciclo 64 para evitar un sobreajuste. Las pérdidas alcanzan valores bajos y estables, llegando al valor mínimo de pérdida de validación (0,0165) en el ciclo 58.

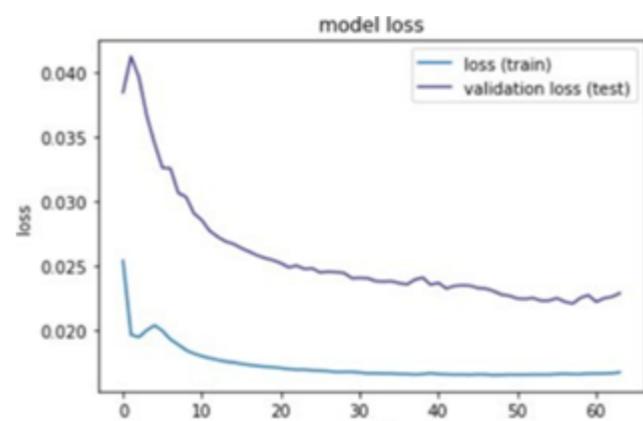


Figura 3

Curva de aprendizaje del modelo. Proceso de entrenamiento 1.

Fuente: Elaboración propia

Figura 4

Valores predichos y reales de potencia generada en un día. Proceso de entrenamiento 1.

Fuente: Elaboración propia

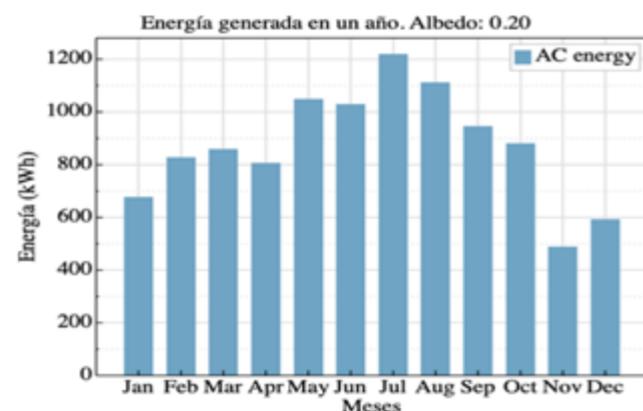
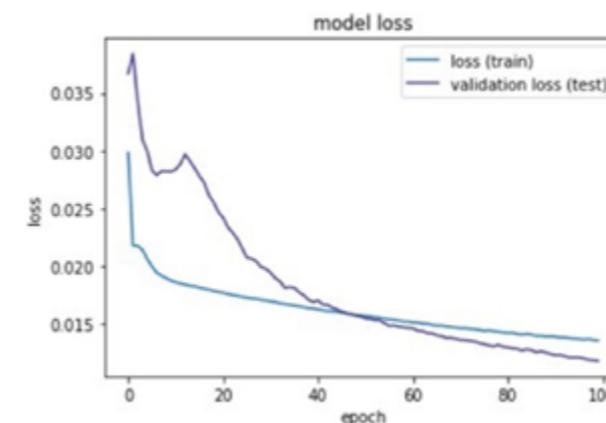


Figura 5

Curva de aprendizaje del modelo. Proceso de entrenamiento 2.

Fuente: Elaboración propia



El error cuadrático medio (MSE) calculado y su raíz (RMSE) comparando todos los valores de validación reales y los valores predichos correspondientes son 0,023 y 0,151. Como es un error bajo, se entiende que el programa tiene un buen funcionamiento. En la Figura 4 se representa la predicción realizada frente a los valores reales de potencia generada durante el transcurso de un día. Por conveniencia, se eligió el primer día del conjunto de datos de validación. se puede ver cómo la predicción se aproxima a los valores reales y, en términos generales, el comportamiento del programa es correcto. Sin embargo, no llega a alcanzar los valores más altos. El MSE en este conjunto reducido de datos es 0,003 y el RMSE es 0,054.

5.2. PROCESO DE ENTRENAMIENTO 2

Intentando mejorar el rendimiento del programa, se modificó el código y se volvió a ejecutar. Para hacerlo más complejo y aumentar su precisión, se añadió una segunda capa LSTM con los mismos parámetros que la ya existente, acompañada de otra capa de abandono. Además, se eliminó la parada temprana para ver la evolución de los valores de pérdida a lo largo de 100 ciclos.

Los resultados obtenidos fueron significativamente mejores. El MSE descendió a 0,012, levemente superior a la mitad del error en el experimento anterior, y el RMSE a 0,109. La Figura 5 muestra cómo se alcanzan pérdidas menores, alcanzando los mejores resultados, una pérdida de validación de 0,0118, en el último ciclo. En torno al ciclo 10, el modelo experimenta un aumento en los valores de pérdida para posteriormente recuperar la tendencia. Si no se hubiese eliminado la parada temprana, el entrenamiento del modelo se hubiese detenido en torno al ciclo 20 y no se hubiesen obtenido los mismos resultados. Además, como ilustra la figura, las pérdidas de validación alcanzan valores inferiores a las de entrenamiento, lo que indica un óptimo aprendizaje del modelo.

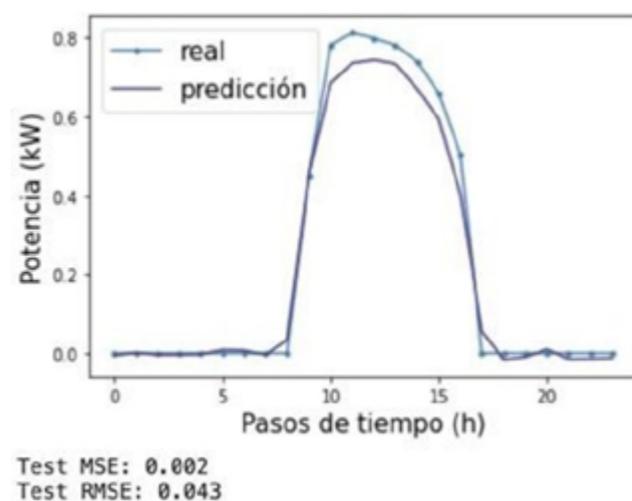


Se volvió a representar la predicción del primer día ante los valores reales correspondientes en la Figura 6. En efecto, la predicción ha adquirido más precisión, lo que se puede ver gráficamente y a través del error numérico, ya que el MSE y en RMSE son menores que en el proceso de entrenamiento anterior.

Figura 6

Valores predichos y reales de potencia generada en un día. Proceso de entrenamiento 2.

Fuente: Elaboración propia



6. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos se pudo llegar a las siguientes conclusiones:

- La producción energética de una instalación de paneles solares bifaciales para el autoconsumo se puede predecir con un grado de precisión elevado gracias a la inteligencia artificial, lo que se podría aplicar a otros tipos de paneles solares o a otras fuentes de energía renovables. El uso de un algoritmo basado en redes neuronales recurrentes LSTM ha permitido obtener un modelo predictivo con un MSE de 0,012 y un RMSE de 0,109.
- El modelo de predicción de energía fotovoltaica, gracias a su alto nivel de precisión, podría ser implementado en los hogares con el fin de optimizar el consumo energético.
- La energía solar fotovoltaica es una alternativa clave de los combustibles fósiles, no solo por su bajo coste y sostenibilidad, sino por la capacidad de predicción que permite la adecuación de la demanda a la disponibilidad.
- Los paneles solares bifaciales, instalados en superficies claras y lisas, es decir, con altos coeficientes de albedo, suponen un aumento de la producción y una disminución de costes.
- Cuando se trabaja con redes neuronales artificiales, la elección de los hiper parámetros es clave para el buen funcionamiento del programa, y es necesario disponer de una amplia cantidad de datos para entrenar el modelo y obtener resultados óptimos.



- En el programa diseñado en este proyecto, el uso de dos capas de red neuronal LSTM en vez de una supone una disminución del error y un aumento de la precisión.

7. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Algunas de las futuras líneas de investigación implican la adaptación del modelo de análisis predictivo basado en redes neuronales recurrentes LSTM para, por ejemplo, su implementación en países en vías de desarrollo, junto con un plan social y económico que permita garantizar el acceso a una energía moderna y sostenible a la población más desfavorecida. Para ello sería necesario adaptar el software a los datos disponibles en dichos entornos y a los dispositivos de los que dispone la población.



1. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer al IES Margarita Salas por ofrecerme la oportunidad de llevar a cabo este proyecto, proceso que ha enriquecido mis conocimientos permitiéndome investigar en un área de interés personal. En segundo lugar, mis agradecimientos van dirigidos a mis tutoras de proyecto, Cristina M^a Jiménez Leal y Blanca López Fernández, por su dedicación, trabajo y apoyo brindado durante todo el proceso. Asimismo, cabe mencionar al doctor Jesús Polo y al catedrático director del Instituto de Energía Solar Carlos del Cañizo por su ayuda en el enfoque de la idea, y al director de la ETSI de telecomunicación de la UPM Manuel Sierra Castañer por su dedicación y buenos consejos. Por último, me gustaría agradecer a mi familia y amigos por su apoyo durante todos estos meses.

2. BIBLIOGRAFÍA

Acciona. (s.f.). *Energía solar fotovoltaica y su contribución* | ACCIONA | business as unusual. Disponible en: <https://bit.ly/3V2m7oV> [Consultado 20-07-2022].

BBVA. (2022). *¿Qué son los paneles solares, cómo funcionan y cuál es su futuro?* Disponible en: <https://bit.ly/3HLLzw3> [Consultado 27-07-2022].

Cambio energético. (2019 a). *PLACAS SOLARES BIFACIALES*. Disponible en: <https://bit.ly/3Wnsghf> [Consultado 09-08-2022].

Cambio energético. (2019 b). *¿CUÁL ES LA ÚLTIMA TECNOLOGÍA EN MÓDULOS FOTOVOLTAICOS?* Disponible en: <https://bit.ly/3Yywjc0> [Consultado 09-08-2022].

Datos.gob. (2022). *11 librerías para crear visualizaciones de datos*. Disponible en: <https://bit.ly/3G3cRws> [Consultado 07-09-2022].

Ampliación de la bibliografía:





Prototipo de extrusión de botellas de plástico PET en filamento reciclado rPET para una ecoimpresión 3D sostenible

/ ACCÉSIT

AUTORES | LAURA MAYOL LÓPEZ, RUBÉN MOLERO MUÑOZ Y AMY RAMÍREZ ARIAS

COORDINADOR | GINÉS MORALES MÉNDEZ

CENTRO | COLEGIO AZARAQUE, SOC. COOP.

CIUDAD | ALHAMA DE MURCIA-MURCIA

RESUMEN |

La creciente preocupación ambiental causada por el uso excesivo y la acumulación de residuos de materiales plásticos en el medio ambiente, ha desviado la atención de la Organización de Naciones Unidas (ONU) hacia el uso de materiales sostenibles junto con un enfoque de Economía Circular (EC). Las tecnologías de reciclaje de compuestos poliméricos tienen el potencial de reincorporar los desechos plásticos a la cadena de producción, reduciendo su impacto medioambiental, disminuyendo la huella de carbono y otorgándole una segunda vida útil, logrando así varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Consiguientemente, se presenta un prototipo desarrollado por estudiantes de cuarto curso de Educación Secundaria entorno a la asignatura de tecnología en el curso 2021-2022, mediante este prototipo se pretende reducir el impacto ambiental de las botellas de plástico tipo PET (polietileno tereftalato) y buscar formas de reutilizarlas. Con este propósito, se diseña y fabrica, un prototipo bajo el modelo opensource que transforma automáticamente las botellas PET en una nueva materia prima llamada filamento reciclado rPET para la impresión 3D que tiene propiedades mecánicas similares a los filamentos comerciales y se puede utilizar para fabricar un número ilimitado de productos nuevos. Nuestro prototipo no pretende ser un producto comercial, sino que cumple con una estrategia de emprendimiento social y sostenible, además de impulsar la EC y la educación en valores.

Palabras clave: filamento, botellas PET, reciclaje, educación secundaria obligatoria, impresión 3D, ODS, economía circular



ABSTRACT |

The growing environmental concern caused by the excessive use and accumulation of plastic waste in the environment has diverted the attention of the United Nations (UN) towards the use of sustainable materials together with a Circular Economy (CE) approach. Polymer composite recycling technologies have the potential to reintroduce plastic waste back into the production chain, reducing its environmental impact, decreasing the carbon footprint and giving it a second life, thus achieving several of the Sustainable Development Goals (SDGs). Consequently, a prototype developed by students in the fourth year of Secondary Education as part of the technology subject in the 2021-2022 academic year is presented. The aim of this prototype is to reduce the environmental impact of PET (polyethylene terephthalate) plastic bottles and look for ways to reuse them. For this purpose, a prototype is designed and manufactured under the opensource model that automatically transforms PET bottles into a new raw material called rPET recycled filament for 3D printing that has mechanical properties similar to commercial filaments and can be used to manufacture an unlimited number of new products. Our prototype is not intended to be a commercial product, but fulfils a strategy of social and sustainable entrepreneurship, as well as promoting CE and values education.

Keywords: filament, PET bottles, recycling, secondary education, 3d printing, SDG, circular economy



1. INTRODUCCIÓN

La demanda mundial de materiales plásticos ha aumentado significativamente, generando preocupación por su toxicidad y el impacto negativo en el medio ambiente, humanos y la vida marina (Alabi et al., 2019). Se señala que más de 30 mil toneladas de residuos plásticos terminan en el mar Mediterráneo (Van Sebille et al., 2015), y estos pueden demorar hasta 400 años en descomponerse, con el riesgo de incorporarse en la cadena alimenticia (Evans et al., 2012). En 2021, el 90,2% de la producción mundial de plásticos provenía de fuentes fósiles, y solo un pequeño porcentaje era de plásticos reciclados o biobasados (Plastics Europe, 2022).

Ante este escenario, se resalta la necesidad de nuevas tecnologías y metodologías para promover la sostenibilidad, enfatizando la importancia del reciclaje de polímeros debido al aumento de la población y el consumo de plásticos (Conroy et al., 2006). Para 2050, se espera que la generación de residuos plásticos alcance casi 25 mil millones de toneladas (Saha et al., 2021), subrayando la urgencia de reciclaje mediante métodos económicamente sostenibles y que maximicen el valor de los productos (Feng et al., 2021; Despeisse et al., 2017).

2. ANTECEDENTES

La tecnología de impresión 3D, que utiliza principalmente plástico, está revolucionando la creación y fabricación de prototipos, siendo cada vez más común en empresas, centros educativos y hogares (Tuner et al., 2014). Esta tecnología permite convertir diseños CAD en objetos reales y fabricar componentes inaccesibles por otros métodos. Sin embargo, el coste del filamento de impresión 3D sigue aumentando a pesar de la reducción del precio de las impresoras (Prusinowski y Kaczyński, 2017).

La Economía Circular (EC) surge como un modelo alternativo al tradicional sistema de producción lineal, buscando ser regenerativa y cíclica para minimizar el uso de recursos y la generación de residuos (Wu et al., 2014). En este contexto, se investiga cómo reintegrar los desechos plásticos en la cadena de consumo, desarrollando máquinas de trituración y extrusión de desechos plásticos que, aunque efectivas, son costosas y poco accesibles para la mayoría (Ayo et al., 2017).

La investigación actual se enfoca en diseñar y fabricar un prototipo para convertir botellas de PET en filamento para impresión 3D, buscando reincorporar estos desechos en la cadena de producción y consumo y reducir el impacto ambiental (Mosaddek et al., 2018).



3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Este trabajo tiene como objetivo general diseñar y construir un prototipo de máquina extrusora para reciclar botellas de plástico PET, utilizando principalmente componentes impresos en 3D y partes reutilizadas de otra máquina de impresión 3D dañada. El propósito es producir filamento reciclado con propiedades térmicas y mecánicas adecuadas para la impresión 3D.

Los objetivos específicos del proyecto se centran en: (1) analizar las necesidades del proyecto, (2) diseñar y construir los mecanismos del prototipo, (3) conectar los circuitos eléctricos y la electrónica de control, (4) determinar los parámetros de impresión 3D, (5) realizar pruebas de impresión, (6) analizar y probar mecánicamente el filamento reciclado, (7) contribuir a la EC y a los ODS.

El proyecto busca interconectar varios conceptos para proponer una solución viable y sostenible que abarque desde el diseño y fabricación del prototipo hasta la impresión final del producto usando filamento reciclado.

4. MATERIALES Y MÉTODO

El presente trabajo abarca el diseño, construcción y operación de un prototipo para el reciclaje de botellas PET en filamento para impresión 3D. Se estructura en cuatro partes:

1. Diseño y construcción mecánica: se detalla la creación del prototipo, mayoritariamente a partir de piezas impresas en 3D.
2. Sistema eléctrico y electrónico: se describe el sistema responsable del control de temperatura, velocidad de bobinado del filamento, enfriamiento y calentamiento del cabezal.
3. Creación de filamento y funcionamiento de la máquina: se expone el proceso de fabricación del filamento y la operativa de la máquina.
4. Resultados experimentales y comparación: se presentarán en la siguiente sección del documento, enfocándose en las características y propiedades mecánicas del filamento rPET, como la resistencia a la temperatura y a la tracción, y su comparación con filamentos comerciales.

El proyecto se enriquece con un informe de evaluación según la metodología NABCH, fotografías del proceso de diseño, fabricación y pruebas, y ejemplos de productos creados con el filamento reciclado para fines educativos y sociales, incluyendo prótesis de bajo coste, carcasas para bolsas de quimioterapia infantil, y recursos educativos como un bloque motor y un pistón de dos tiempos. Además, se documenta el proyecto en su sitio web (<https://www.reciclador3d.com/>), con un vídeo explicativo (<https://youtu.be/r1OQgc9lNVY>) y a través de redes sociales.

El proceso de producción de filamento rPET a partir de botellas de plástico PET se estructura en varias etapas claramente definidas (Figura 1):

Figura 1

Prototipo finalizado.
Fecha: 24 de febrero de 2022 (elaboración propia).



- a. Limpieza de las botellas PET: se eliminan residuos, polvo, etiquetas y pegamento de las botellas vacías utilizando agua y jabón.
- b. Corte de la botella: se corta la botella por la parte del talón y se desecha esta sección, conservando el resto de la botella.
- c. Retirada del tapón y posicionamiento en el prototipo: se quita el tapón de la botella y se coloca la botella en la barra de metal del prototipo, desde la base hasta la boca.
- d. Creación de tiras de plástico: se corta una tira de 10 mm de ancho de la parte baja de la botella utilizando el cortador del prototipo.
- e. Extrusión del filamento: la tira cortada se introduce en el extrusor, que se mantiene a una temperatura de 140°C (temperatura definida tras pruebas experimentales). La tira de plástico se estira manualmente hasta unirse a la bobina.
- f. Bobinado automático: el filamento plástico sale del extrusor y se enrolla automáticamente en la bobina.
- g. Producción final del filamento rPET: al llegar a la parte del anillo de la botella, se obtiene aproximadamente 25g de filamento rPET por cada botella de 1,5 L de capacidad (Figura 2).

Prototipo de extrusión de botellas de plástico PET en filamento reciclado rPET para una ecoimpresión 3D sostenible

Figura 2

Filamento rPET acabado (realización propia).



Este procedimiento ilustra la transformación de botellas PET en un valioso recurso reciclado para la impresión 3D, maximizando la reutilización de materiales desechados.

5. RESULTADOS

El estudio examina las propiedades mecánicas de los filamentos y las impresiones 3D, tomando como referencia investigaciones anteriores (Dizon et al., 2018). Se utilizaron recursos del grupo de investigación E0B9-04 de la Universidad de Murcia para analizar los parámetros de impresión de filamentos comunes como PLA, ABS y PETG, comparándolos con el filamento reciclado rPET. Los parámetros como la altura de capa y la velocidad de impresión se mantuvieron constantes en todos los ensayos. Se descubrió que el rPET tiene parámetros de impresión similares al PETG.

En pruebas experimentales, se imprimieron cubos de calibración con rPET, obteniendo resultados satisfactorios a una temperatura de extrusor de 230 °C y una temperatura de cama caliente de 80 °C, con una velocidad de impresión de 35mm/s (Figura 3). Se observó que el material rPET impreso tenía una alta dureza y un acabado superficial brillante. Mediante el análisis microscópico, se comparó la estructura de filamentos comerciales de PETG con el rPET, notando diferencias en la estructura interna; el rPET mostró irregularidades, aunque no afectaron significativamente la calidad de la impresión. Se sugiere que estos errores estructurales podrían corregirse mediante un control de caudal de filamento más preciso en el proceso de fabricación del rPET.

Figura 3

Cubo de calibración fabricado con rPET (elaboración propia).





Se realizaron ensayos de resistencia a la tracción de diferentes filamentos, incluido el rPET, utilizando un diseño de probeta basado en la norma ISO 527 A (Figura 4) y se imprimieron en 3D para las pruebas. Los resultados de estas pruebas mostraron que el rPET tenía un límite de rotura más bajo en comparación con otros materiales, atribuido a fallos estructurales internos y burbujas de aire formadas durante su procesamiento.

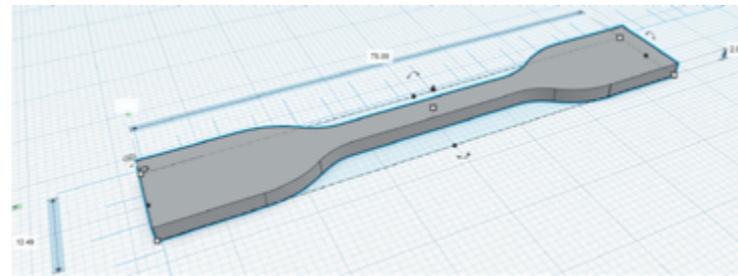


Figura 4

Diseño de la probeta de prueba de acuerdo a la norma ISO 527 A (elaboración propia).

A pesar de sus propiedades mecánicas ligeramente inferiores, el filamento rPET es económico, resistente, sostenible y ecológico. El proyecto contribuye significativamente a la EC y a 11 ODS de la ONU. Redefine la "cuarta R" de la regla de las 3R como "replicar", transformando desechos plásticos en una nueva materia prima para impresión 3D. La iniciativa promueve la fabricación de piezas y productos con menos materiales y energía, y contribuye a un sistema de producción y consumo más sostenible, en línea con los principios de la EC y los ODS.

6. CONCLUSIONES

El proyecto desarrolla un prototipo de reciclaje alineado con 11 ODS, enfatizando la importancia de inculcar prácticas sostenibles en la educación (del Cerro y Morales, 2018). Este modelo de EC utiliza desechos plásticos para crear un filamento rPET, accesible y económico, destinado a la impresión 3D. Aunque las propiedades mecánicas del rPET son ligeramente inferiores a las de los filamentos comerciales, se planifica incorporar mejoras para optimizar su calidad.

El rPET se presenta como una alternativa sostenible y económica a los filamentos comerciales, con el objetivo de facilitar una impresión 3D inclusiva y respetuosa con el medio ambiente. Su uso contribuye a la reducción de la huella de carbono y los residuos plásticos, fomentando la innovación y la sostenibilidad en la producción. Además, los objetos creados con el rPET se utilizan para fines educativos y para promover la inclusión social.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alabi, O. A., Ologbonjaye, K. I., Awosolu, O., & Alalade, O. E. (2019). Public and environmental health effects of plastic wastes disposal: a review. *J Toxicol Risk Assess*, 5(021), 1-13.
- Ayo, A. W., Olukunle, O. J., & Adelabu, D. J. (2017). Development of a waste plastic shredding machine. *International Journal of Waste Resources*, 7(2), 1-4.
- Conroy, A., Halliwell, S., & Reynolds, T. (2006). Composite recycling in the construction industry. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 37(8), 1216-1222.
- Del Cerro Velázquez, F., & Morales Méndez, G. (2018). Augmented reality and mobile devices: A binominal methodological resource for inclusive education (SDG 4). An example in secondary education. *Sustainability*, 10(10), 3446.
- Despeisse, M., Baumers, M., Brown, P., Charnley, F., Ford, S. J., Garmulewicz, A., & Rowley, J. (2017). Unlocking value for a circular economy through 3D printing: A research agenda. *Technological Forecasting and Social Change*, 115, 75-84.
- Dizon, J. R. C., Espera Jr, A. H., Chen, Q., & Advincula, R. C. (2018). Mechanical characterization of 3D-printed polymers. *Additive manufacturing*, 20, 44-67.
- Evans, A. E., Hanjra, M. A., Jiang, Y., Qadir, M., & Drechsel, P. (2012). Water quality: assessment of the current situation in Asia. *International Journal of Water Resources Development*, 28(2), 195-216.
- Feng, Z., Adolfsson, K. H., Xu, Y., Fang, H., Hakkarainen, M., & Wu, M. (2021). Carbon dot/polymer nanocomposites: From green synthesis to energy, environmental and biomedical applications. *Sustainable Materials and Technologies*, 29.
- Mosaddek, A., Kommula, H. K., & Gonzalez, F. (2018). Design and testing of a recycled 3D printed and foldable unmanned aerial vehicle for remote sensing. In 2018 *International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS)* (pp. 1207-1216). IEEE.
- PlasticsEurope. (2022) *Plastics - the Facts 2022*. An analysis of European latest plastics production, demand and waste data. Disponible en: https://plasticseurope.org/wp-content/uploads/2022/10/PE-PLASTICS-THE-FACTS_V7-Tue_19-10-1.pdf [Consultado 16-01-2023].
- Prusinowski, A., & Kaczyński, R. (2017). Simulation of processes occurring in the extrusion head used in additive manufacturing technology. *Acta mechanica et automatica*, 11(4).



- Saha, A., Gupt, C. B., & Sekharan, S. (2021). Recycling natural fibre to superabsorbent hydrogel composite for conservation of irrigation water in semi-arid regions. *Waste and Biomass Valorization*, 12(12), 6433-6448
- Turner, B. N., Strong, R., & Gold, S. A. (2014). A review of melt extrusion additive manufacturing processes: I. Process design and modeling. *Rapid prototyping journal*.
- Van Buren, N., Demmers, M., Van der Heijden, R., & Witlox, F. (2016). Towards a circular economy: The role of Dutch logistics industries and governments. *Sustainability*, 8(7), 647.
- Wu, H. Q., Shi, Y., Xia, Q., & Zhu, W. D. (2014). Effectiveness of the policy of circular economy in China: A DEA-based analysis for the period of 11th five-year-plan. *Resources, conservation and recycling*, 83, 163-175



CIENCIAS FÍSICAS, QUÍMICAS Y MATEMÁTICAS

PRIMER PREMIO |

- 402 - **Puzle de escutoideos. De la morfología epitelial al reenfoque de los sólidos geométricos**
ELENA LÓPEZ LÓPEZ

SEGUNDO PREMIO |

- 414 - **Comprobación de una nueva teoría sobre la formación del sistema solar a partir del estudio de sus asteroides**
ANDRÉS GÓMEZ TORIBIO
- 426 - **Hacia la habitabilidad en Marte: El impacto de los *Dust Devils***
MIGUEL PÉREZ CIRIACO, AIMAR SEMINARIO UNZU Y MARÍA TOMEY ALONSO
- 439 - **Método Low-Cost de recuperación de la tinta usada de los rotuladores de pizarras blancas**
JOSÉ MARÍA TOLEDO ÁVILA Y GONZALO NAZ POLO

TERCER PREMIO |

- 451 - **Investigaciones matemáticas sobre átomos y coloraciones bloqueadoras**
ANDREY PARRILLA PROKOPYEV
- 462 - **Caracterización fotométrica de un aula del IES Saavedra Fajardo**
JULIA FERNÁNDEZ PASTOR, PABLO GARCÍA FERNÁNDEZ Y
ALICIA IBÁÑEZ FERNÁNDEZ

ACCÉSIT |

- 472 - **¡Un pHmetro para mi cole!**
LARA CARRILLO VÁZQUEZ, IVÁN MARTÍNEZ HERNÁNDEZ Y RAQUEL PÉREZ RUIZ
- 48 - **Pompas ... más que un entretenimiento**
PAULA GÓMEZ RAMÍREZ



Puzle de escutoides. De la morfología epitelial al reenfoque de los sólidos geométricos

/ PRIMER PREMIO

AUTORA | ELENA LÓPEZ LÓPEZ

COORDINADOR | FERMÍN GALLEGO MEDINA

CENTRO | IES DR. PEDRO GUILLÉN

CIUDAD | ARCHENA-MURCIA

RESUMEN |

Las células epiteliales tienen forma de escutoide, sólido geométrico recientemente descrito y cuyo descubrimiento rechaza la forma celular preconcebida para los epitelios hasta el año 2018. En la presente investigación, se usa un programa de diseño libre CAD con el objeto de elaborar un método sencillo para generar escutoides. El diagrama de Voronói es trazado en cada uno de los planos planteados, tanto en el apical, como en el basal y en los de interpolación. Interconectando las regiones de influencia con un eje común se construyen escutoides, los cuales son llevados a la realidad física por medio de la fabricación aditiva.

Se trata de un hecho que permite la elaboración de un puzle de escutoides desmontable, el cual ofrece la posibilidad de observar la morfología intrincada y la complementariedad de las células en el epitelio. Por otro lado, tras experimentar en el proceso, manteniendo intrínseco el diagrama de Voronói, se desvelan los elementos definitorios de distintos sólidos geométricos en lo que a su generación respecta.

Palabras clave: escutoide, célula, diagrama de Voronói, epitelio, tejido epitelial, Matemáticas, descubrimiento, naturaleza, Impresión 3D, fabricación aditiva, CAD, sólidos geométricos



ABSTRACT |

Epithelial cells have the shape of a scutoid, a geometric solid recently described and whose discovery rejects the preconceived cell shape for epithelia until 2018. In the present investigation, a free CAD design program is used in order to develop a simple method for generate scutoid. The Voronói diagram is drawn in each of the raised planes, both in the apical, in the basal and in the interpolation ones. Interconnecting the regions of influence with a common axis, scutoids are built, which are brought to physical reality through additive manufacturing.

This is a fact that allows the construction of a detachable scutoid puzzle, which offers the possibility of observing the intricate morphology and complementarity of cells in the epithelium. On the other hand, after experimenting in the process, keeping the Voronói diagram intrinsic, the defining elements of different geometric solids are revealed in terms of their generation.

Keywords: scutoid, cell, Voronói diagram, epithelium, epithelial tissue, Mathematics, discovery, nature, 3D printing, additive manufacturing, CAD, geometric solids.



1. INTRODUCCIÓN

Que las matemáticas están en todas partes es una afirmación conocida por todos. Desde el patrón de manchas en el pelaje de algunos animales hasta la figura hexagonal de los copos de nieve, pasando por las conchas de los moluscos y hasta los pétalos de las flores. Lo que quizá no sea tan evidente es que esta disciplina formal aparece incluso bajo tu piel.

Una nueva figura geométrica ha sido descrita, se trata del “escutoide”, cuya estructura es clave para el eficiente y buen desarrollo del tejido epitelial animal.

Por otro lado, el descubrimiento del escutoide y la experimentación en su proceso de obtención llevada a cabo en el presente estudio, conduce al reenfoque de los sólidos geométricos clásicos preconcebido hasta la fecha, pudiéndose establecer elementos definitorios restringibles de los mismos en base al denominado diagrama de Voronói.

2. OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERALES:

- Ampliar el conocimiento que se tiene sobre los escutoides como sólidos geométricos, experimentando en su proceso de obtención.
- Destacar la relevancia del hallazgo de los escutoides y visualizar la nueva perspectiva que los mismos aportan dentro del conjunto de sólidos geométricos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Establecer un proceso de obtención de escutoides con un planteamiento diferente al representado para el tejido epitelial (tubular o sferoidal), a partir de puntos y direcciones de eje apico-basal aleatorias, siempre con los criterios matemáticos del diagrama de Voronói presentes.
- Obtener mediante el diagrama de Voronói y la interpolación de capas, los escutoides de dicho proceso a partir del CAD y la fabricación aditiva.
- Deducir a partir de dicha experimentación los parámetros definitorios que influyen a la hora de plantear métodos de obtención de escutoides, manteniendo intrínseco el diagrama de Voronói.
- Correlacionar los escutoides dentro del campo de los sólidos geométricos, a partir de aplicar restricciones a los parámetros que los definen, favoreciendo un mayor conocimiento de los mismos.



3. ANTECEDENTES Y MARCO TEÓRICO

3.1. EL TEJIDO EPITELIAL

Los epitelios representan en su conjunto más del 60% de todas las células del cuerpo humano Megías et al. (2019) explican que, dependiendo de donde se localice, este tejido recibe un nombre u otro. Mientras que el ubicado en la piel se denomina epidermis, aquel que recubre cavidades internas como la cavidad cardíaca o la pulmonar se llama mesotelio. Del mismo modo, el epitelio que forma la superficie interna de los vasos sanguíneos y linfáticos es el endotelio.

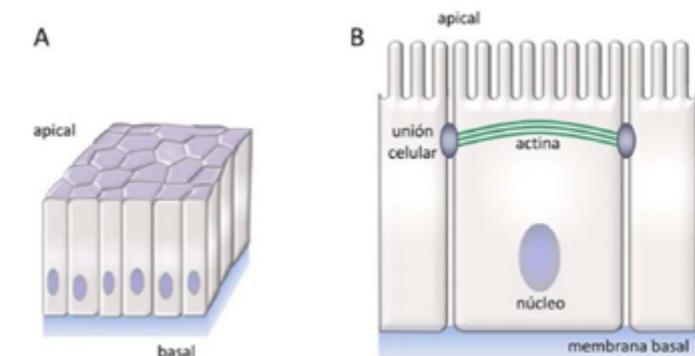
Las células epiteliales se organizan formando uno o varios estratos que descansan sobre una capa de matriz extracelular especializada denominada lámina basal, bajo la cual casi siempre aparece tejido conectivo vascularizado.

La lámina basal tiene un componente producido por las células epiteliales y otro por el tejido conectivo subyacente. Contamina (2013) manifiesta que la polaridad es característica de los epitelios, entendiéndose por ello las diferencias morfofuncionales que presentan entre su dominio apical (orientado hacia la luz de un órgano o hacia el exterior del cuerpo) y su dominio basal (orientado hacia la lámina basal).

Los epitelios están formados por células dispuestas de manera contigua sin que exista prácticamente matriz extracelular, con lo que presentan una gran superficie de contacto entre ellas. Megías et al. (2019) sostienen que en estas zonas adyacentes existen unas estructuras denominadas complejos de unión, que establecen uniones intercelulares a fin de fortalecer la cohesión entre las células. Estas uniones se pueden modificar, reforzar o relajar según las circunstancias. Por otro lado, son dinámicas, pueden formarse y deshacerse. Dichas características permiten la incorporación de nuevas células por proliferación, la eliminación de células del tejido por extrusión o apoptosis, y la elongación de la capa epitelial por intercalación celular durante la morfogénesis.

Ilustración 1

A. La cara apical mira a la luz del órgano, mientras que la basal se apoya sobre la membrana basal. B. Esquema de una célula epitelial en contacto con dos células vecinas con microvellosidades. Se destaca una parte del citoesqueleto de actina, la cual establece conexiones con algunos de los sistemas de unión entre las células. Fuente: Chifflet y Hernández (2013).





3.2. DIAGRAMA DE VORONÓI

El diagrama de Voronói como la descomposición de un espacio métrico en regiones, asociada a la presencia de distintos cuerpos, de tal forma que, en dicha descomposición, a cada cuerpo se le asigna una región del espacio métrico formada por los puntos que son más cercanos a él que a ninguno de los otros cuerpos.

Dado un conjunto de puntos $\{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ en el plano, se le denomina diagrama de Voronói a la subdivisión del plano en regiones tales que la región ii es el conjunto de puntos más cercanos a p_{ii} que a cualquiera de los p_{jj} . Fijado un punto p_i , se considera para cada p_j , $j \neq i$ la recta r_j formada por los puntos que equidistan de p_i y p_j (mediatriz). La recta r_j divide al plano en dos semiplanos, en uno de los cuales está p_i , al que se le llamará π_j . La región del diagrama de Voronói que contiene a p_i puede obtenerse como la intersección de todos los semiplanos π_j .

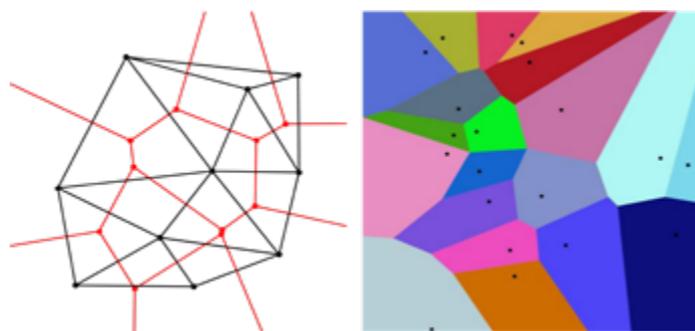


Ilustración 2

Puntos en el plano y la partición del mismo en regiones de Voronói a partir de las mediatrices de las líneas imaginarias que unen cada par de puntos.

Fuente: es.wikipedia.org

3.2.1. PRESENCIA EN LA NATURALEZA

El diagrama de Voronói se da cada vez que se compite por el espacio en igualdad de condiciones, creándose así las distintas regiones de influencia poligonales.



Ilustración 3

Presencia del diagrama de Voronói en la naturaleza.

Fuente: smartgridsinfo.es



Los patrones de Voronói son bastante omnipresentes en la naturaleza, como lo ejemplifica la estructura cristaloides de algunos minerales, la disposición de las células epiteliales, o las delicadas crestas en las alas de una libélula. Este patrón surge en muchos casos debido a la expansión (o crecimiento en el caso de tejido biológico) desde el punto de origen de la región de Voronói hacia el exterior.

Lau et al. (2021) apuntan que se emplea ampliamente en el campo de la patología computacional y el análisis de imágenes digitales en histología e histopatología, especialmente con el propósito de delinear los bordes celulares, que de otro modo serían difíciles de reconocer en secciones histológicas.

3.3. EL ESCUTOIDE

3.3.1. DESCUBRIMIENTO

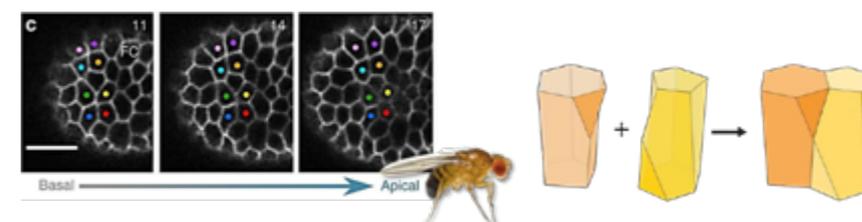
Grima (2018) afianza la lógica creencia de que las células que constituyen tejidos planos se agrupan siguiendo el Diagrama de Voronói, ya que crecen expandiéndose desde un punto de origen y compiten por el espacio en igualdad de condiciones.

Gómez-Gálvez (2020) repara en que al observar el tejido epitelial al microscopio se puede comprobar que hay células vecinas en la superficie apical que dejan de serlo en la basal. Si las células fuesen prismas o pirámides truncadas como se preconcebía, lo mencionado no sería posible. Se hace necesaria, por lo tanto, una forma geométrica que a razón de Gómez-Gálvez (2020) sea capaz de modelar bien las células de los tejidos epiteliales, que se pueda plegar y adoptar distintas curvaturas, cuya forma corresponda a un modelo de equilibrio de fuerzas y que vaya desde la superficie basal hasta la apical, pero sin tener que tener los mismos contactos en ambas.

La solución a todo ello la obtuvieron Gómez-Gálvez et al. (2018), un grupo de investigadores españoles pertenecientes a tres disciplinas distintas (Física, Matemáticas y Biología celular), quienes propusieron una forma geométrica tridimensional no descrita anteriormente, el "escutoide".

Ilustración 4

Las células se diferencian por puntos de colores. Se aprecia su desplazamiento a lo largo del eje apico-basal, lo que implica futuras transiciones que se traducen en nuevos vértices para el escutoide. Fuente: Gómez-Gálvez (2020).





3.3.2. CARACTERÍSTICAS

Un escutoide es un sólido geométrico entre dos superficies paralelas. El límite de cada una de las superficies (y de todas las demás superficies paralelas entre ellas) es un polígono, y los vértices de los dos polígonos extremos están unidos por una curva o una conexión con forma de “Y”.

Gómez-Gálvez (2020) asegura que los escutoides presentan al menos un vértice entre estos dos planos y en contraste con los prismas o frusta, sus caras no son necesariamente convexas. Esto se debe al hecho de que el límite entre las celdas sigue trayectorias geodésicas, es decir, el camino más corto que conecta dos puntos.

3.3.3 RELEVANCIA DEL HALLAZGO

La forma del escutoide les confiere a las células epiteliales una gran estabilidad y hace que su empaquetamiento sea energéticamente eficiente.

“Conocer con este nivel de detalle la estructura de las células epiteliales puede ser fundamental para la creación de órganos con impresión 3D y nos permitirá identificar modelos de epitelios sanos a partir de su geometría, que servirán como patrones para detectar un crecimiento celular anómalo”. (Grima, 2018)

4. METODOLOGÍA

4.1 DEFINICIÓN DEL MODELO DE PARTIDA ALEATORIO

En primer lugar, se crea un plano basal (CAPA 0) cuadrado de 1000×1000 mm. En dicho plano se sitúan un total de 10 puntos aleatorios haciendo uso de la función $\text{excel} = \text{ALEATORIO.ENTRE}(x;x)$.

A continuación, se crea un plano de iguales dimensiones que el plano basal y con una distancia de 1000 mm en el eje z, es el llamado plano apical (CAPA 10).

Con el fin de ubicar los puntos en el plano apical, se copian los establecidos para el basal y se trasladan a la altura correspondiente (1000 mm en z). No obstante, para obtener una distribución aleatoria distinta a la fijada con anterioridad, los puntos de origen se rotan con un ángulo de 90° en sentido antihorario sobre esta última capa.

El procedimiento consecutivo es el de unir cada punto ubicado en el plano basal con su más cercano en el plano apical. De este modo se construyen ejes apico- basales aleatorios al serlo los puntos que los definen.

A continuación se crean nueve planos entre las capas iniciales con una distancia entre sí de 100 mm, es decir, la llamada CAPA 01 tendrá 100 mm en el eje z,



la CAPA 02 200 mm, la CAPA 03 300 mm y así consecutivamente. Con el fin de ubicar los puntos en las capas intermedias se procede a situar el punto de corte de cada eje apico-basal con cada uno de los planos creados.

4.2 TRAZADO DEL DIAGRAMA DE VORONÓI. CAPAS BASAL, APICAL E INTERPOLACIÓN

Una vez situados los 10 puntos en todos los planos, se traza el diagrama de Voronói en cada una de las capas. el diagrama de Voronói se traza intersectando las mediatrices de los segmentos imaginarios que unen cada par de puntos. De esta forma, se crea la celda de Voronói para cada punto. Un ejemplo gráfico, en el que las líneas son la mediatriz entre un punto medio y otro.

4.3 INTERCONEXIÓN SPLINE

El procedimiento que viene a continuación es el de unir cada vértice de las regiones de influencia con su correspondiente gracias a la función “spline”. Se trata de una polilínea que adopta una curvatura geodésica a partir de la unión de una serie de puntos en el espacio. Es en este momento en el que, a medida que se asciende a través de las capas, se adivinan puntos en los cuales dos líneas que unen los vértices de las regiones de influencia para cada punto pasan a convertirse en una, o por el contrario, una sola línea se bifurca en dos. Es de este modo que se crean las conexiones en forma de “Y” que caracterizan a los escutoides, derivadas de la ganancia o pérdida de lados en la región de Voronói.

4.4 CREACIÓN DE CARAS Y CONVERSIÓN A SÓLIDO

Se ha de definir el esqueleto de cada escutoide seleccionando las regiones de influencia que tienen un eje apico-basal común, así como los splines que interconectan sus vértices.

Es sustancial aplicar las restricciones que las aristas de las once regiones de Voronói superpuestas conforman. Dichas restricciones dotarán al sólido resultante de superficies laterales con su respectiva curvatura.



Ilustración 5

A medida que se avanza entre las capas, se observa como las regiones de Voronói van desplazándose sutilmente en el plano e incluso muchas de ellas ganan o pierden lados. Este hecho se traduce en zonas de transición que dan lugar a las conexiones entre vértices en forma de “Y”. Fuente: elaboración propia.

Ilustración 6

Resumen de la metodología en el programa de CAD



5. RESULTADOS

La interconexión mediante splines de las regiones de Voronói subyacentes con un eje apico-basal común da lugar a los 10 esqueletos base para la construcción de los sólidos. Tras el proceso de construcción de superficies y su agrupación en un sólido común, se obtienen 10 sólidos digitales que son llevados a la realidad física gracias a la fabricación aditiva en bioplástico. Se trata de figuras intrincadas con superficies curvas y que en ocasiones cuentan con más de una conexión entre vértices.

A pesar de su morfología caprichosa, los escutoides encajan conformando un puzle desmontable perfecto, el cual se convierte en una herramienta didáctica y manejable que permite reparar con minucia en las características derivadas de la competencia por el espacio que los escutoides adoptan.

Ilustración 6

Escutoides obtenidos por fabricación aditiva con bioplástico (PLA). Los 10 escutoides resultantes son complementarios y se acoplan a la perfección conformando un puzle cúbico. Se trata de figuras intrincadas con superficies curvas y que en ocasiones cuentan con más de una conexión entre bases "Y". El concepto del escutoide abarca una morfología muy variada. Fuente: elaboración propia.

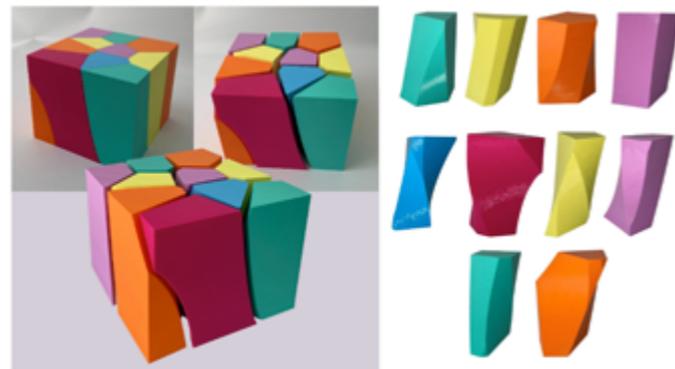
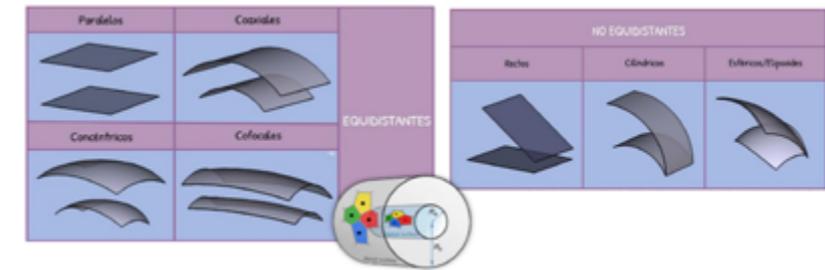


Ilustración 8

Posibles configuraciones de planos para la obtención de sólidos geométricos en base al diagrama de Voronói. Fuente: elaboración propia.



Los planos pueden ser equidistantes (donde se enmarcarían los paralelos, coaxiales, concéntricos y cofocales) o por el contrario no equidistantes (pudiendo ser rectos, cilíndricos o esféricos/elipsoides).

Del mismo modo, respecto al patrón de puntos, este puede ser regular tesselable (igual superpuesto, igual desplazado o con combinados diferentes). Los patrones de regulares de puntos más relevantes en este caso con aquellos cuyo diagrama de Voronói asociado da lugar a cuadrados, rectángulos, hexágonos y triángulos equiláteros. Por otro lado, podría ser aleatorio. De este último patrón resultan los conocidos polígonos de Thiessen.

Ilustración 9

Según el diagrama de Voronói, los puntos de origen ubicados de forma regular precisa dan lugar a regiones poligonales regulares, por el contrario, los ubicados de manera aleatoria originan polígonos de Thiessen irregulares. Fuente: elaboración propia con alexbeutel.com

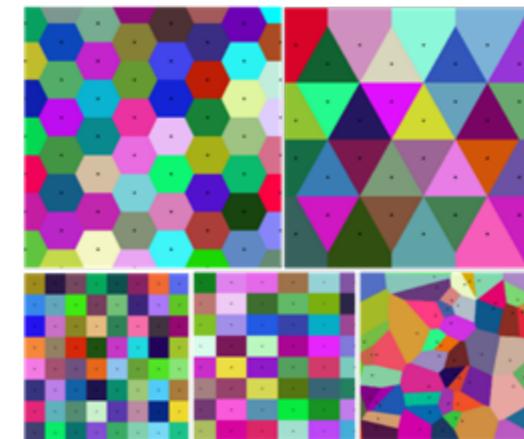
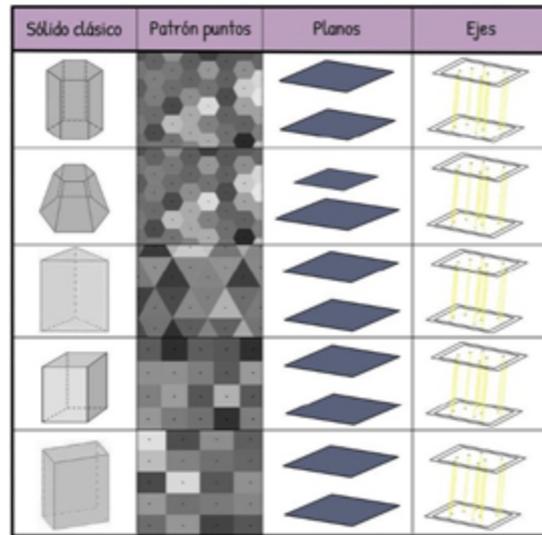




Ilustración 10

Sólidos geométricos clásicos a partir de la restricción de algunos elementos en base al diagrama de Voronói. Fuente: elaboración propia



6. CONCLUSIONES

Las células epiteliales vecinas en la lámina basal pueden tener configuraciones diferentes en la lámina apical debido a torsiones en el eje apico-basal. Para explicar este fenómeno se introduce el "escutoide" y se propone un método para obtener modelos geométricos de su comportamiento en los tejidos utilizando planos paralelos, puntos aleatorios y ejes rectos. El estudio revela que la forma de los sólidos depende de la posición relativa de los planos, el patrón de puntos y las características del eje apico-basal y se destaca la versatilidad de este enfoque para generar una amplia gama de sólidos geométricos, abriendo posibilidades para futuras investigaciones en configuraciones geométricas basadas en el diagrama de Voronói, pues al aplicar restricciones a estos parámetros, es posible obtener sólidos geométricos clásicos en ciertos casos.

Los escutoides derivados del método se han aislado y fabricado físicamente mediante un proceso de diseño asistido por computadora (CAD) e impresión 3D, creando un puzle que facilita la comprensión de la disposición celular en el tejido epitelial.

7. AGRADECIMIENTOS

Doy gracias en primer lugar al tutor y organizador de este proyecto tan interesante como laborioso, Fermín Gallego Medina, al IES Dr. Pedro y al equipo de investigación del Departamento de Biología Celular de la Facultad de Sevilla. Su estudio fue inspiración y una fuente de conocimiento de valor incalculable.



8. BIBLIOGRAFÍA

- Contamina, P. (2013). Atlas De Histología. Facultad de Medicina. [En línea] Universidad de Zaragoza. [Consultado el 24/02/2022] Disponible en: <http://wzar.unizar.es/acad/histologia/inicio.html>
- Estrin, Y., Krishnamurthy, V. R., & Akleman, E. (2021). Design of architected materials based on topological and geometrical interlocking. *Journal of Materials Research and Technology*.
- Gomez, H. F., Dumond, M. S., Hodel, L., Vetter, R., & Iber, D. (2021). 3D cell neighbour dynamics in growing pseudostratified epithelia. *Elife*.
- Gómez-Gálvez, P. J. (2020). Scutooids unveil the three-dimensional packing in curved epithelia. Universidad de Sevilla.
- Gómez-Gálvez, P. J., Vicente-Munuera, P., Anbari, S., Tagua-Jáñez, A., Gordillo-Vázquez, C. M., Palacios, A. M., Velasco, A., Capitán Agudo, C., Grima-Ruiz, C. I., Robles-Arias, R., Márquez-Pérez, A., Buceta, J. & Escudero-Cuadrado, L. M. (2020). A quantitative principle to understand 3D cellular connectivity in epithelial tubes. *BioRxiv*.
- Gómez-Gálvez, P. J., Vicente-Munuera, P., Tagua-Jáñez, A., Forja, C., Castro, A. M., Letran, M., Valencia-Expósito, A., Grima-Ruiz, C. I., Bermúdez-Gallardo, M., Serrano-Pérez, O., Cavodeassi, F., Sotillos, S., Martín-Bermudo, M. D., Márquez-Pérez, A., Buceta, J. & Escudero-Cuadrado, L. M. (2018). "Scutooids are a geometrical solution to three-dimensional packing of epithelia". *Nature Communications*.
- Grima Ruiz, C. I. (2018). "Hemos descrito un nuevo objeto geométrico y lo llevas puesto". [En línea] El País. [Consultado el 20/11/2021] Disponible en: https://elpais.com/elpais/2018/07/30/ciencia/1532938371_705599.html
- Lau, C., Kalantari, B., Batts, K. P., Ferrell, L. D., Nyberg, S. L., Graham, R. P. & Moreira, R. K. (2021). The Voronoi theory of the normal liver lobular architecture and its applicability in hepatic zonation. *Nature Communications*.
- Loannou, F., Dawi, M. A., Tetley, R. J., Mao, Y., & Muñoz, J. J. (2020). Development of a new 3D hybrid model for epithelia morphogenesis. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*.
- Megías, M. Molist, P. & Pombal, M. A. (2019). El tejido epitelial [En línea] *Atlas de histología vegetal y animal*. [Consultado el 24/02/2022] Disponible en: http://mmegias.webs.uvigo.es/guiada_a_inicio.php



Comprobación de una nueva teoría sobre la formación del sistema solar a partir del estudio de sus asteroides

/ SEGUNDO PREMIO Y ESTANCIA CSIC

AUTOR | ANDRÉS GÓMEZ TORIBIO

COORDINADOR | FRANCISCO JOSÉ GÓMEZ SENENT

CENTRO | IES THÁDER

CIUDAD | ORIHUELA-ALICANTE

RESUMEN |

Los asteroides se han mantenido prácticamente *imperturbables* desde su formación en la nube molecular que dio lugar al Sistema Solar, y por ello pueden proporcionar algunas claves sobre su proceso de formación. Además, los avances tecnológicos permiten catalogar y determinar sus características físicas a velocidad exponencial. Por ello, realizaremos un *estudio descriptivo* de todas sus propiedades, usando *datos reales* de 139.727 asteroides de tamaño conocido que proporciona la NASA, actualizando estadísticas obsoletas y detallando su *distribución* en todo el Sistema Solar. Mostraremos que el 97.3% están en el Cinturón Principal de Asteroides (CPA), entre 2.1 y 3.4 UA, y los restantes en otras dos regiones, justificando sus concentraciones y huecos orbitales según las resonancias con Júpiter.

Además, estudiaremos el período y el semieje mayor de la órbita elíptica de todos los asteroides, estableciendo un *modelo funcional* que, con validez estadística, muestra la existencia de una relación muy ligada a la 3ª ley de Kepler, la cual contrastaremos. También analizaremos los asteroides cercanos a la *Tierra* para conocer sus características, concluyendo que por ahora no presentan peligro real.

Pero, principalmente, *verificaremos una nueva teoría sobre la formación del Sistema Solar* (Raymond e Izidoro, 2017), que defiende que el CPA inicialmente estaba vacío y sus componentes actuales se situaron al desplazarse por fuerzas gravitacionales durante la formación de los planetas. Analizando los tipos espectrales, que dependen de su composición, comprobaremos la predicción clave de la teoría: en la distribución del CPA los asteroides *siliáceos* dominan la zona interior, mientras los *carbonáceos* la zona exterior.



ABSTRACT |

Asteroids have remained largely *undisturbed* since their formation in the molecular cloud that gave rise to the Solar System; so, they can provide some clues about their formation process. In addition, technological advances allow us to catalogue and determine their physical characteristics at exponential speed. Therefore, we will carry out a *descriptive study* of all their properties, using *real data* on 139.727 asteroids of known size provided by NASA, updating obsolete statistics and detailing their *distribution* throughout the Solar System. We will show that 97.3% are in the Main Asteroid Belt (MAB), between 2.1-3.4 AU, and the remaining ones in two other regions, justifying their concentrations and orbital gaps according to the *resonances* with Jupiter. Moreover we will study the period and the semi-major axis of the elliptical orbit of all the asteroids, establishing a *functional model* that, with statistical validity, shows the existence of a relationship closely linked to Kepler's 3rd law, which we will contrast. We will analyse *near-Earth* asteroids to find out their characteristics, concluding that for now they present no real danger.

But, mainly, *we will verify a new theory on the formation of the Solar System* (Raymond and Izidoro, 2017), which argues that the MAB was initially empty and its current components were positioned by gravitational forces during the formation of the planets. By analysing the spectral types, which depend on their composition, we will verify the key prediction of the theory: in the distribution of the MAB, *siliceous* asteroids dominate the inner region, while *carbonaceous* dominate the outer region.



1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

El avance de la tecnología permite descubrir y catalogar diariamente nuevos *asteroides* del Sistema Solar, a velocidad exponencial, dejando obsoletas, por ejemplo, algunas presentaciones que se pueden ver en la web acerca de su distribución. Aunque en su mayoría son irregulares y muy pequeños en comparación con los planetas, su estudio es importante principalmente porque *se han mantenido prácticamente imperturbables desde su formación* en la nube molecular que dio lugar a lo que hoy conocemos como Sistema Solar, y *por ello pueden proporcionar algunas claves sobre el proceso de formación del Sol y los planetas*, así como sobre la composición inicial del disco a partir del que se formó todo el Sistema Solar. Además, recientes noticias indican que preocupa hasta cierto punto el hecho de que alguno pudiera colisionar con la Tierra.

Se conocen las propiedades físicas de más de 140.000 asteroides (datos experimentales que proporciona de forma libre la NASA), de todo tipo y forma, ubicados en prácticamente todo el Sistema Solar. Nos proponemos describir algunas *características físicas* de estos cuerpos y su *distribución*, y también verificar alguna ley física relacionada con la gravitación, analizando los datos con el “instrumental” que nos proporciona la Estadística, e ilustrando el método científico en el “laboratorio” informático de las Matemáticas.

Ahora bien, los asteroides se clasifican según su *tipo espectral* principalmente en tres grupos S, C y M, de acuerdo con que su composición se base sobre todo en silicatos, compuestos de carbono, o metales, respectivamente. Y esta variable física va a resultar fundamental en este estudio porque existe una teoría novedosa acerca del proceso de formación del Sistema Solar (Raymond e Izidoro, 2017) con consecuencias verificables a través del análisis de la estructura actual del *Cinturón Principal de Asteroides* (CPA en adelante) situado entre Marte y Júpiter.

En general, el paradigma aceptado consiste en que el CPA se formó con mucha más masa de la que tiene actualmente y después se fue “vacando” muy significativamente, en un proceso similar al que sigue la formación de un planeta a partir de un disco de polvo y gas inicial, pero que en el caso del CPA no finalizó con la formación de otro planeta debido a las fuerzas gravitatorias ejercidas por Júpiter (Riveiro, 2018). Pero en el artículo de Raymond e Izidoro (2017) se muestra a través de 273 *simulaciones con ordenador* basadas en un modelo de dinámica gravitacional creado por los autores (acorde con el actual paradigma de la Física) que el CPA actual es consistente con haberse formado vacío, sin planetesimales preexistentes entre las órbitas actuales de Marte y Júpiter. Así, los autores defienden a raíz de sus resultados experimentales con dichas simulaciones la teoría de que la dispersión gravitatoria durante la formación de Mercurio, Venus, Tierra y Marte provocó una dispersión radial, transportando planetesimales desde el interior del Sistema Solar hacia el cinturón, concentrándose en la **zona interna** del CPA varias veces la masa actual total de los asteroides denominados **tipo S**. Por el contrario, en la **zona exterior** del CPA



se acumularon los asteroides **tipo C**, implantados desde más allá de su actual límite, debido a que la acumulación de gas en la formación de los planetas gigantes (Júpiter y Saturno básicamente) desestabilizó a los planetesimales entonces cercanos, expulsándolos hacia lo que hoy es el CPA. *Si esta teoría es consistente, el CPA representaría un depósito de los restos planetarios que se acumularon provenientes desde todo el Sistema Solar, pero que no se formaron en el cinturón mismo.*

Las simulaciones de Raymond e Izidoro (2017) tienen en cuenta distintas condiciones iniciales para la formación de los planetas, principalmente Tierra, Marte y Júpiter, de manera que los resultados finales de cada simulación sean coherentes con la realidad actual de dichos planetas. Y lo interesante es que, entonces, como resultado de cada simulación, resultan ciertas *predicciones* para la *distribución actual de los asteroides*. Los autores sintetizan en su artículo dichas condiciones finales, resaltando que la realidad actual del CPA da validez a su teoría de formación. Explicaciones detalladas y varias simulaciones (algunas, sencillas con fines divulgativos) pueden consultarse en el blog *PlanetPlanet* de Sean Raymond (2022). Son estas condiciones finales de distribución del CPA las que nosotros **pretendemos comprobar**, al menos en parte, en el presente estudio, puesto que hoy en día se han catalogado muchos más asteroides que los que Raymond e Izidoro podían cotejar en 2017.

2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1. VARIABLES

Las variables principales cuyos valores estudiaremos, disponibles para cada asteroide en la base de datos pública de la web del *Jet Propulsion Laboratory del California Institute of Technology* (JPL) de la NASA (2022) son el *semieje mayor a* de la elipse orbital, medido en unidades astronómicas UA, y el *período orbital P* alrededor del Sol, en años. También analizamos la *excentricidad* de la órbita, el ángulo de *inclinación* entre los planos orbitales del asteroide y de la Tierra (Eclíptica), el *perihelio* y *afelio* del asteroide al Sol, su *magnitud absoluta*, su *diámetro* medio aproximado y su *masa*.

Pero fundamentalmente usamos las siguientes variables. El *albedo*, que indica el porcentaje de radiación que refleja la superficie del asteroide respecto a la radiación incidente, variando entre 0.01 (muy oscuro) y 0.7 (muy brillante).

Y las variables de *tipo espectral* spec-B y spec-T que nos da la web del JPL: clasifican a un asteroide basándose en información sobre cómo refleja toda la radiación electromagnética, lo que da una idea de los *materiales* de los que *está hecho*. Corresponden a los dos sistemas de clasificación principales, Tholen y SMASS. Aunque existen algunas diferencias entre ambos y hay subcategorías, en general los asteroides se pueden dividir en 3 grupos: **tipo C** o **carbonáceos**, formados principalmente por arcilla y rocas, conteniendo compuestos de car-



bono, y que pueden tener gran cantidad de agua; **tipo S** o **siliáceos**, que se componen principalmente de silicatos, con partes de níquel, hierro y posiblemente otros metales como el platino; y **tipo M** o **metálicos**, que consisten principalmente de níquel, hierro y otros metales.

Junto con otros parámetros, sirven para caracterizar la composición química (cuestión clave en nuestro estudio), de manera que basándonos en sus valores, en este estudio se agruparon los distintos *subtipos* existentes en estas variables (tales como A, B, F, G, V, Sk, Cg, etc.) según la información de la bibliografía y de Wikipedia, para analizar todos los asteroides de acuerdo con la clasificación básica de tipos S, C y M.

2.2. OBJETIVOS

De forma esquemática y secuenciada las tareas que queremos abordar son:

Objetivo 1: Queremos saber cuáles son las distribuciones de todos los asteroides según su distancia al Sol, y explicar la existencia de todas aquellas zonas con una cantidad considerable de asteroides.

Objetivo 2: Describiremos cuáles son las características físicas principales de los asteroides que forman el Cinturón Principal de Asteroides.

Objetivo 3: Queremos “obtener alguna ley de la Física” siguiendo una metodología experimental y estadística, “simulando” el método inductivo de un laboratorio, analizando los errores. Para ello, usaremos los datos de los asteroides proporcionados por JPL como “valores experimentales”.

Objetivo 4: Pretendemos comprobar las principales predicciones de la teoría de Raymond e Izidoro (2017). Respecto a cómo están distribuidos los asteroides en el CPA según su tipo espectral, los de tipo S dominan el cinturón interior, y los de tipo C dominan el cinturón exterior. Y la distribución de masas que sustenta la validez de las simulaciones de las que surge su teoría.

Objetivo 5: Queremos conocer cuál es la realidad respecto a los asteroides que pueden colisionar con la Tierra: cuántos y dónde están, características...

La principal motivación de esta investigación se sintetiza en el objetivo 4, aunque para llegar a él es necesario conocer el CPA, cuestión cubierta por los objetivos 1 y 2. Los otros objetivos son complementarios en este trabajo: el 3 para ilustrar el método científico de trabajo experimental en Física, junto al uso y validez de las herramientas matemáticas implicadas; y el 5 responde a la actualidad del tema en los medios de comunicación, fácil de abordar con la información de la web del *Center for Near Earth Object Studies* (NASA, CNEOS/JPL, 2023).



2.3. HIPÓTESIS DE TRABAJO

En correspondencia con los objetivos anteriores, las principales hipótesis de trabajo (conjeturas de partida cuya validez queremos analizar) son:

Hipótesis 1: Existen zonas claramente delimitadas, y se explican los huecos por fenómenos de **resonancia** gravitacional, principalmente con Júpiter.

Hipótesis 2: La inmensa mayoría del total de asteroides están en el CPA, y hay pocas anomalías respecto a las características físicas medias de todos ellos (excepto en lo referente a su tamaño y masa).

Hipótesis 3: El período orbital de un asteroide depende funcionalmente de su distancia al Sol. Obtendremos y analizaremos la validez de una ley alternativa a la 3ª de Kepler lo cual cualitativamente corrobora que en efecto esta se cumple.

Hipótesis 4: Las predicciones de Raymond e Izidoro (2017) verificables con nuestras herramientas se resumen como sigue. **Hip. 4.1:** Los asteroides de tipo C predominan en el cinturón exterior (a partir de 2.7 UA), mientras que la parte interna de este (menos de 2.7 UA) está mayoritariamente compuesta por asteroides tipo S. **Hip. 4.2:** Los asteroides de tipo C son mucho más comunes al acercarnos a Júpiter. **Hip. 4.3:** La masa actual del CPA es 2000 veces menor que la masa de la Tierra, aunque al principio fuesen similares. Además, el cinturón, sin contar a Ceres, tiene 1.5 veces más masa de tipo C que de tipo S.

Hipótesis 5: La cantidad de *Near Earth Asteroids* (NEAs) no es grande, y no hay peligro real inminente de colisión.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

En la web del *Jet Propulsion Laboratory* del *California Institute of Technology* (JPL) de la NASA (2022), están disponibles con acceso libre (entre otros) todos los datos conocidos de todos los asteroides observados, que se actualizan casi diariamente, y estos se pueden consultar y descargar en formato Excel mediante una herramienta de cuestionario implementada en dicha web. Mediante consulta realizada el 23/04/22, descargamos todos los datos correspondientes a 17 variables físicas, para todos los asteroides conocidos **con diámetro definido**, resultando un total de **139.727 asteroides**. Asumimos que esta muestra es suficientemente grande y representativa de las características de **todos** los asteroides (todavía desconocidos), puesto que los de tamaño no definido serán, en general, muy pequeños (incluso similares a pequeñas piedras) o bien estarán muy lejos (no afectan al estudio del CPA, nuestro principal objetivo). A partir de estos datos, analizamos las variables e hipótesis expuestas anteriormente mediante las herramientas estadísticas y gráficas incorporadas en Excel, tanto las descriptivas como las de regresión.



4. RESULTADOS

4.1. DISTRIBUCIÓN DE LOS ASTEROIDES DEL SISTEMA SOLAR

Comenzamos por realizar un histograma de la distribución del semieje mayor orbital **a** de cada asteroide. Debido a la escala en la frecuencia de asteroides (eje Y), se presenta en la Figura 1 sólo el tramo principal, con rango de valores de **a** entre 1.5 UA y 6 UA. Observamos que el **97.3%** (135.981 asteroides del total de 139.727 en el Sistema Solar) están en el **CPA, entre 1.8 y 3.6 UA**.

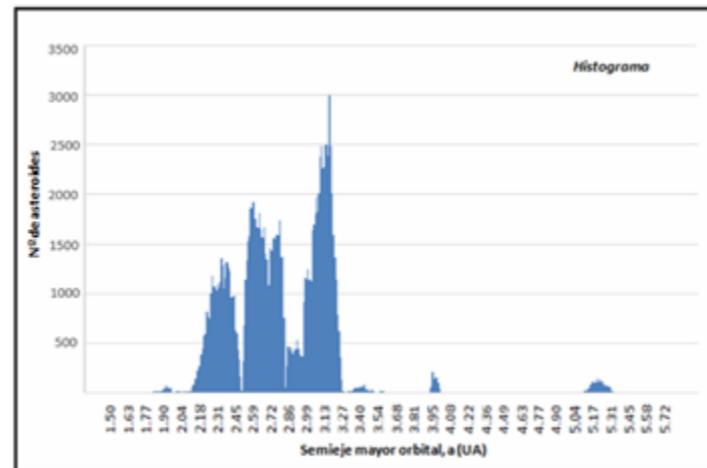


Figura 1

Histograma de distribución de asteroides entre 1.5 y 6 UA.

También existe una cantidad significativa en torno a **3.95 UA** y otra zona de acumulación aproximadamente a **5.2 UA**.

Además, a menos de 1.5 UA tenemos sólo unos 400, y a más de 6 UA conocemos 61 de diámetro definido. De estos, unos 10 situados entre 30 y 50 UA, en el *Cinturón de Kuiper*.

Estos asteroides “externos” no son significativos para el presente estudio general, aunque posiblemente se irán descubriendo más con el avance de la tecnología. Todo esto confirma la hipótesis de que existen zonas claramente delimitadas pero, ¿cómo explicar las dos zonas de acumulación a 3.95 y 5.2 UA? La zona en torno a 3.95 UA está formada por los asteroides llamados **Hildas**, pertenecientes en su mayoría a los tipos espectrales D y P (ricos en materiales carbonáceos), en resonancia 3:2 con Júpiter. Es decir, mientras Júpiter da 2 revoluciones orbitales, estos dan 3. Esta relación simple significa que se ejercen una influencia gravitatoria regular, de manera que se intensifica la fuerza que Júpiter ejerce sobre los asteroides: esta **resonancia fuerte** es **estable**, produciendo un anillo de órbitas permanentes. *El mismo motivo es el que provocó el máximo central* de acumulación de asteroides en el interior del CPA, a **2.6 UA**,

en resonancia 3:1. Según Raymond e Izidoro (2017), durante la formación del CPA y el Sistema Solar, la resonancia estaba a esa distancia (debería crear un hueco, como veremos), pero si la órbita de Júpiter se estaba moviendo en ese momento, quizás debido a la inestabilidad de otro gigante temprano (Saturno), entonces la interacción resonante podría mejorar la tasa de captura de asteroides, los cuales después se quedaron ahí en órbita estable cuando se desplazó la resonancia (hasta los huecos actuales) al situarse Júpiter en su órbita definitiva actual. Por otra parte, la zona entre 5.1 y 5.4 UA la ocupan los **Trojanos**, casi todos asteroides de tipo C que **comparten órbita** con Júpiter en torno a los puntos de Lagrange, áreas estables situadas de forma permanente 60° por delante y 60° por detrás del planeta, en las que se equilibran las fuerzas gravitatorias y el movimiento orbital del asteroide.

4.2. DESCRIPCIÓN DE LOS ASTEROIDES DEL CPA

Se obtuvieron con Excel todos los parámetros estadísticos de interés de todas las variables: comentaremos aquí los principales. Considerando el semieje mayor orbital (elipses con excentricidad media 0.15) como radio medio de órbitas circulares, en el CPA los asteroides están a **distancia** media de **2.77 UA**; y típicamente, casi la totalidad, entre 2.1 y 3.4 UA, según la desviación estándar obtenida. Ya dijimos que, en concreto, el CPA incluye el **97.3%**.

Tardan **4.64 años** de media en completar su órbita. Su **albedo** medio de **0.131** nos indica que en general todos los asteroides reflejan poca luz. La mediana **0.08** indica además que el 50% de ellos son aún más oscuros, y la desviación típica 0.11 que es muy raro encontrar asteroides con cierto brillo. Por último, su **diámetro** medio es **5.18 km** pero en este caso el coeficiente de variación $CV=161\%$ indica que **no** es representativo; y lo mismo sucede con la **masa**. Lo cual se corrobora observando la asimetría y la curtosis para estas variables, y sus respectivas medianas. En efecto, hay 92.404 asteroides de menos de 5 km de diámetro (**68%** del total del CPA), pero hay unos 200 asteroides muy grandes en comparación con el resto, y el mayor, Ceres con diámetro 939.4 km, aglutina el **57.8%** de la masa. En resumen, confirmamos la hipótesis 2 respecto a la baja tasa de anomalías, salvo en lo referente a *tamaño* y *masa*.

Por otro lado, la estructura de zonas que observamos en el CPA presenta 3 o 4 zonas orbitales claramente diferenciadas, de manera que hay huecos (anillos orbitales) sin asteroides en ciertas distancias específicas: **2.5 UA**, **2.82 UA** y **2.95 UA**. La caída es muy brusca a **3.27 UA** (otras menos significativas a 1.9 y 2.06 UA). Estos cortes, los **huecos o lagunas de Kirkwood**, se producen también por **resonancias orbitales** entre Júpiter y los asteroides. Al contrario que en el caso de los **Hildas**, se trata de resonancias débiles con relaciones **3:1**, **5:2**, **7:3** y **2:1**, que provocan vaciamiento del anillo orbital correspondiente a la distancia en cuestión porque en el momento de máximo acercamiento, la gran fuerza gravitacional de Júpiter lo acelera y expulsa a órbitas de alta excentricidad. Por cierto, destacar que la cantidad de asteroides en la zona más exterior del CPA,

es *mucho mayor* que en la zona interna más cercana a Marte, al contrario de lo que podemos ver habitualmente en gráficos antiguos.

4.3. OBTENCIÓN DE UNA LEY FÍSICA. RELACIÓN CON LA 3ª LEY DE KEPLER.

Consideramos una muestra suficientemente representativa de todos los asteroides: los de tipo espectral conocido, incluyendo los que orbitan más allá del CPA. Mediante **regresión cuadrática** entre el semieje a y el período orbital P resulta entonces el modelo $P=0'139a^2+1'778a-1'361$. Se obtiene así, estadísticamente, una ley física que relaciona ambas variables, fiable según las *pruebas F* y *diagramas de residuos* que proporciona Excel, aunque es obvia su validez porque el coeficiente de determinación resulta $r^2=0'999$.

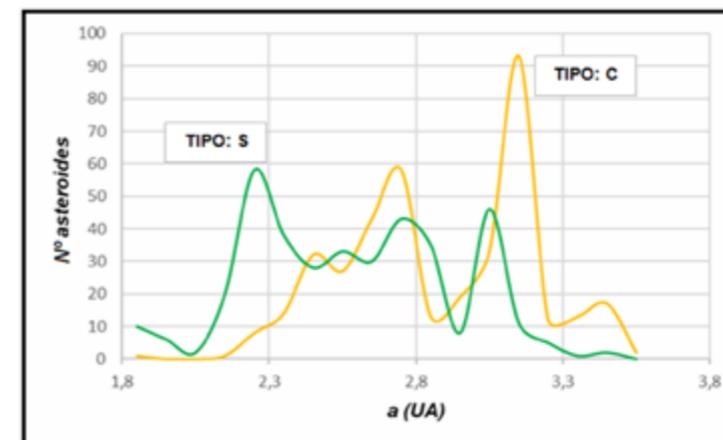
Comparamos predicciones para el “año asteroidal” P de este modelo funcional con datos reales de algunos asteroides, obteniendo errores de estimación en torno al 0.1%, y también lo aplicamos a Júpiter, resultando un error del 1.7% debido a la escasez de datos más allá del planeta. Pero además, este modelo significa que hemos comprobado con validez estadística que existe una fuerte relación entre ambas variables, que es la esencia conceptual de la 3ª ley de Kepler para los planetas ($P^2=ka^3$). Se diferencian, cuantitativamente, en que nuestro modelo proporciona un polinomio cuadrático del período respecto a la distancia, mientras que el de la ley de Kepler es de grado 3/2. Validamos las predicciones numéricas del modelo calculando $k=P^2/a^3$ con los datos reales de a para los planetas, accesibles en UFE (2022), resultando $k_j \cong 0.964$ y $k_u \cong 0.998$ para Júpiter y Urano (Kepler da $k_j=0.9992$ y $k_u=0.9946$). El error para Saturno es 7.6% y mayor para los demás debido a que los datos utilizados son mayoritariamente del CPA (895 asteroides), con unos pocos (71) fuera de él, por lo que no funciona el modelo al extrapolar. Todo esto confirma que nuestro método para relacionar semieje y período orbitales podría proporcionar una ley física alternativa a la 3ª ley de Kepler, si dispusiéramos de datos suficientemente precisos para una cantidad mucho mayor de asteroides lejanos (mucho más allá de la órbita de Neptuno).

4.4. COMPROBACIÓN DE UNA NUEVA TEORÍA DE FORMACIÓN DEL SISTEMA SOLAR.

El objetivo principal de esta memoria consiste en verificar las predicciones especificadas en la hipótesis 4. En primer lugar, de acuerdo con la Figura 2, la distribución de los asteroides tipo S y tipo C confirma la primera hipótesis 4.1 planteada. Al realizar un gráfico de líneas de la cantidad de asteroides de cada tipo según su semieje mayor observamos que los asteroides tipo S predominan hasta una distancia de 2.6 UA, y a partir de 2.7 UA comienzan a ser claramente predominantes los carbonáceos, lo cual ya es muy evidente a partir de 3.1 UA.

Figura 2

Gráfico de líneas de la cantidad de asteroides de cada tipo espectral C y S, dependiendo de su semieje orbital, situados en el CPA (elaboración propia).



Para contrastarlo de otra forma calculamos el porcentaje de asteroides de cada tipo espectral, entre los 895 asteroides del CPA para los que se conoce (0.7% del total de catalogados en el CPA), y generalizando al total (la muestra ya es suficientemente grande y es esperable que las proporciones se mantengan al catalogar más) se puede decir que hay prácticamente el *mismo* número de asteroides de tipo C (43.1%) que de tipo A (42%), y predominan sobre los tipo M. Sin embargo, los porcentajes cuando nos referimos a la región interior del CPA (1.8–2.7 UA), son 52.4% tipo S frente a 36% tipo C; mientras en la región exterior (2.7–3.6 UA) ocurre al contrario, 52.6% tipo C frente a 28.1% tipo S.

Al comprobar la hipótesis 4.2, es aún más evidente, pues en los *Troyanos* (órbita de Júpiter) sólo tenemos 21 asteroides con tipo espectral conocido, pero **ninguno** es de tipo S, y el 78.3% es de tipo C. Y en los *Hildas*, situados entre el CPA y Júpiter, sucede lo mismo, con un 32% de tipo C y ninguno de tipo S.

Es decir, la hipótesis presentada por Raymond e Izidoro (2017) parece muy plausible: hay muchos de tipo C junto a Júpiter; algo menos, pero dominando frente a los tipo S, al acercarnos al CPA; y siguen dominando el anillo exterior del CPA aunque ya con cierta presencia de asteroides tipo S. A falta de que los avances tecnológicos permitan caracterizar a muchos más asteroides, si las proporciones se extrapolan como hasta ahora se ha podido observar, las hipótesis 4.1 y 4.2 que sustentan esencialmente **la nueva teoría sobre la formación del CPA por migración de asteroides desde las zonas más cercanas a Marte y Júpiter cobra mucha verosimilitud.**

El CPA tiene una masa del 0.026% de la masa actual de la Tierra, y aunque debería ser un $1/2000=0.05\%$, teniendo en cuenta que de la inmensa mayoría de los asteroides (más pequeños) no tenemos todavía su peso, es consistente con lo esperado. Además, DeMeo y Carry (2013) sostienen que excluyendo los 4 asteroides más masivos el material primitivo (tipo C básicamente) representa



más de la mitad del cinturón principal. Y también dicen que la masa total de los de tipo C es 1.7 veces la masa total de los de tipo S, sin contar a Ceres. En estos valores se basaron las simulaciones de Raymond e Izidoro (2017) para que se implantaran esas cantidades, y todas estas relaciones las hemos verificado numéricamente. También hemos comprobado que la excentricidad menor que 0.3 e inclinación orbital menor que 25° supuestas se cumple para el 97.5% de los asteroides. Se ratifica así la validez de la hipótesis 4.3, lo cual sustenta la consistencia y planteamiento de las simulaciones de Raymond e Izidoro (2017) y por tanto las tesis de su teoría.

4.5. ESTUDIO DE LOS NEAR EARTH ASTEROIDS (NEAS)

Se denomina NEA a cualquier objeto astronómico no cometa ni meteorítico que se caracteriza por tener una trayectoria que lo lleva más allá de 1.3 UA del Sol y a menos de 0.3 UA de la Tierra. Existen 4 tipos, *Apolo*, *Atón*, *Amor* y *Atira*, dependiendo de sus semieje orbital, perihelio y afelio.

Filtrando nuestra base de datos con sus definiciones, encontramos que con diámetro conocido, en torno al 1% del total son NEAs, casi un 70% de ellos tipo Apolo (con tamaño medio no peligroso, 843 m), que **cruzan** la órbita terrestre. Aproximadamente la cuarta parte de NEAs son PHA, *potencialmente peligrosos* para la Tierra, llamados así cuando su distancia mínima de intersección orbital con la terrestre es menor de 0.05 UA y su magnitud absoluta menor que 22. Porcentajes que cambian, literalmente, cada día, porque la nueva cantidad de asteroides descubiertos crece exponencialmente. Pero no conllevan ningún riesgo inminente para la Tierra, ya que sólo 2 asteroides alcanzaron riesgo 1 (el más bajo) en la “escala de Turín” que mide su peligrosidad. No obstante, artículos como el reciente de Trigo Rodríguez (2022) muestran la actualidad e importancia de este tema: se estudian continuamente y la NASA está diseñando programas de detección, seguimiento, prevención y defensa ante posibles futuros riesgos de colisión.

5. CONCLUSIONES

Hemos analizado la distribución de los asteroides del CPA, explicando sus huecos por resonancias con Júpiter, y la acumulación de otros grupos en otras zonas del Sistema Solar. También hemos ilustrado la obtención estadística de una ley física, hallando un modelo válido relacionado con la 3ª ley de Kepler. Asimismo, hemos analizado el posible riesgo de colisión de algún asteroide con la Tierra, resultando despreciable actualmente.

Y lo más importante, también hemos estudiado en detalle la distribución de los asteroides según su tipo espectral, en el CPA y hasta Júpiter, además de otras condiciones de distribución de masas y propiedades orbitales, **cumpléndose** las predicciones de la teoría de Raymond e Izidoro (2017) sobre una **nueva forma de comprender el proceso de formación del Sistema Solar y del Cinturón Principal de Asteroides**: su teoría es plausible.



6. BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

- DeMeo, F.E. y Carry, B. (2013). “The taxonomic distribution of asteroids from multi-filter all-sky photometric surveys”. *Icarus*, 226 (1), pp. 723-741.
- Díaz Martínez, J.V. (2011). *Distribución y caracterización de los Cuerpos Menores del Sistema Solar*. Trabajo Fin de Master. Universitat Internacional Valenciana (VIU).
- NASA, California Institute of Technology (2022). Jet Propulsion Laboratory (JPL) de https://ssd.jpl.nasa.gov/tools/sbdb_query.html
- NASA, California Institute of Technology (2023). Jet Propulsion Laboratory, Center for Near Earth Object Studies (CNEOS/JPL) de <https://cneos.jpl.nasa.gov/stats/totals.html>
- Raymond, S. e Izidoro, A. (2017). “The empty primordial asteroid belt”. *Science Advances*, 3 (9), e1701138.
- Raymond, S. (2022). PlanetPlanet, A blog about where planets come from and where they are going de <https://planetplanet.net/>
- Riveiro, A. (2018). “La formación del Sistema Solar”. *Astrobitácora*. 11 enero. Recuperado de <https://www.astrobitacora.com/la-formacion-del-sistema-solar/>
- Trigo Rodríguez, J.M. (2022). “La frecuencia de impacto con asteroides y el encuentro con el objeto potencialmente peligroso 7482 1994 PC1”. *Investigación y Ciencia*, 17 de enero.
- UFE, Unité Formation-Enseignement de l’Observatoire de Paris (2022) de <https://ufe.obspm.fr/UFE/>
- Para acceder a la versión completa del trabajo, incluyendo una muestra de la base de datos utilizada, tablas de cálculos, aclaraciones, gráficos e ilustraciones, puede hacerse a través del siguiente código QR.





Hacia la habitabilidad en Marte: el impacto de los *Dust Devils*

/ SEGUNDO PREMIO

AUTORES | MIGUEL PÉREZ CIRIACO, AIMAR SEMINARIO UNZU Y MARÍA TOMEY ALONSO

COORDINADORA | ESTER ALONSO MARTÍNEZ

CENTRO | IES PLAZA DE LA CRUZ

CIUDAD | PAMPLONA-NAVARRA

RESUMEN |

Los fenómenos asociados al polvo en Marte son características distintivas de su meteorología, en la que el ciclo del polvo juega un papel crucial. En este estudio se aborda la interacción de la atmósfera y eventos transitorios rápidos, como el paso de vórtices capaces de levantar columnas de polvo de la superficie. El estudio de la atmósfera de Marte al nivel de la superficie ha sido posible gracias a los datos obtenidos in situ por las estaciones meteorológicas REMS y MEDA, a bordo de los rovers de NASA, *Curiosity* y *Perseverance*, respectivamente. Concretamente, se analiza la perturbación de los parámetros atmosféricos (presión, temperatura y radiación ultravioleta que llega a la superficie) por la presencia cercana de remolinos de polvo. Se caracterizan tres vórtices convectivos en los cráteres *Gale* y *Jezero*, que se generaron en los soles 1717-C, 2847-C y 166-P. Se han detectado variaciones bruscas de presión, radiación UV y de la magnitud y dirección del viento, producidas por este fenómeno. Se compara la velocidad de viento medida con los valores obtenidos a partir de las variaciones de presión. Finalmente, se realiza una estimación teórica de la cantidad de polvo que un DD aportaría a la atmósfera y la densidad de polvo que transportan. Este trabajo puede considerarse como preparatorio para el estudio, en un horizonte muy cercano, de la meteorología marciana con una red discreta de estaciones meteorológicas.



ABSTRACT |

Dust-associated phenomena on Mars are distinctive features of its meteorology, in which the dust cycle plays a crucial role. This study deals with the interaction of the atmosphere and fast transient events, such as the passage of convective vortices (Dust devils) capable of raising dust columns from the surface. The study of the atmosphere of Mars at surface level has been possible thanks to data obtained in situ by the REMS and MEDA weather stations, aboard NASA's Curiosity and Perseverance rovers, respectively. Specifically, the variation of atmospheric parameters (pressure, temperature and ultraviolet radiation reaching the surface) due to the nearby presence of dust devils (DD, acronym for Dust Devil) are analysed. The characterization of three convective vortices in the *Gale* and *Jezero* craters, which were generated in the soles 1717-C, 2847-C and 166-P, is carried out. Sudden variations in pressure and UV radiation have been detected, produced by these convective vortices. Calculated and measured wind speed has been compared. Finally, a theoretical estimation about the amount of dust that a DD would contribute to the atmosphere is made up of, the speed of dusty events and the density of dust they transport are calculated. This work can be considered as preparatory for the study, in a very near horizon, of the Martian meteorology with a discrete network of meteorological stations.



1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

Marte podría ser un perfecto laboratorio para entender el origen y evolución de la vida y relacionarlo con la evolución de su suelo y atmósfera. Sin olvidar la opción de una posible colonización humana futura, este interés lo ha convertido en uno de los principales objetivos de la exploración espacial. Dentro de este marco se incluye la caracterización de la atmósfera marciana y, en particular, el análisis de alguno de sus eventos polvorientos más característicos: los vórtices convectivos (remolinos de polvo o DD, acrónimo en inglés de *Dust Devil*) (Balme y Greeley, 2006).

1.1. CICLO DEL POLVO EN MARTE: CONTRIBUCIÓN DE LOS DD

El ciclo de polvo es un factor dominante que determina el tiempo atmosférico y el clima del planeta (Figura 1). Es decir, es el principal impulsor de la variabilidad atmosférica y superficial en el clima árido y de baja presión de la superficie de Marte actual (Kahre *et al.*, 2017).

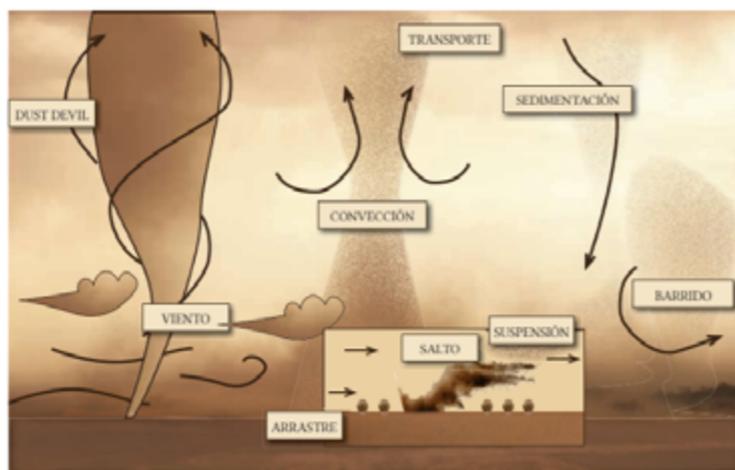


Figura 1

Esquema representativo de los principales mecanismos capaces de levantar polvo de la superficie de Marte, con indicaciones sobre su interacción y evolución. Fuente: Elaboración propia.

En las últimas décadas, se han realizado muchas investigaciones para comprender mejor las características de las partículas de polvo, su distribución y su variabilidad (Martin y Zurek, 1993) (Kahre *et al.*, 2017) (Ordóñez-Etxebarria *et al.*, 2020).

Dentro del ciclo de polvo de Marte, existen dos fenómenos especialmente relevantes en este estudio: los vórtices convectivos (DD) (Balme y Greeley, 2006) y las tormentas de polvo, con relevancia a escalas locales, regionales y planetarias (Kahre *et al.*, 2006).



Los DD se forman cuando el calentamiento de la superficie genera una pequeña pluma de aire caliente que crea una pequeña zona de baja presión con vorticidad asociada (Figura 1). Son habituales en la Tierra y Marte, siendo más comunes y un orden de magnitud mayor en Marte (Balme y Greeley, 2006) (Neakrase *et al.*, 2016).

1.2. DETECCIÓN DE DD EN MARTE

El método *in situ* más efectivo para detectar y caracterizar DD en Marte consiste en monitorizar las variaciones en los parámetros meteorológicos locales, como la velocidad del viento, la presión, la temperatura, radiación ultravioleta y la carga de polvo (Ringrose *et al.*, 2007).

Las instrumentaciones meteorológicas REMS (*Rover Environmental Monitoring Station*, en inglés) del rover *Curiosity* (REMS | *Instruments – NASA Mars Exploration*, 2022) y MEDA (*MEDA for Scientists – NASA Mars*, 2022) de los rovers *Curiosity* (*Home | Curiosity – NASA Mars Exploration*, 2022) y *Perseverance*, respectivamente, son las encargadas del registro de datos de presión, temperatura, concentración del polvo y luz solar en los lugares donde ocurren.

2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS DE TRABAJO

El objetivo principal (O) de esta investigación es la detección de DD, usando datos reales de las estaciones meteorológicas REMS y MEDA. Con estos datos, almacenados en la base de datos PDS NASA, se abordan los objetivos secundarios siguientes (PDS *Atmospheres Node*, 2022):

- O1: Analizar los parámetros de temperatura, presión, radiación UV, velocidad y dirección del viento, a través de las estaciones REMS y MEDA, para relacionar la dinámica atmosférica con la presencia de DDs.
- O2: Estimar la cantidad de partículas de polvo movilizadas por un DD, densidad y su aportación anual de polvo a la atmósfera marciana.

A partir de estos objetivos, se plantean las siguientes hipótesis de trabajo:

- H1: Los sensores meteorológicos de temperatura, presión e irradiación de los rovers *Curiosity* y *Perseverance* detectan la presencia de DDs marcianos.
- H2: El número de DDs producidos en Marte en un año marciano es inferior a 100.000.
- H3: La instrumentación MEDA permite un estudio más completo de los eventos polvorientos marcianos que la estación REMS.

3. METODOLOGÍA

EL DISEÑO EXPERIMENTAL DE ESTE PROYECTO ESTÁ BASADO EN EL ANÁLISIS DE DATOS REALES PROCEDENTES DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS REMS Y MEDA.

1. Descarga de ficheros de datos, mediante la página web del PDS.
2. Muestreo del periodo de soles a estudiar con el objetivo de detectar DDs, usando los parámetros de presión, temperatura e irradiación UV.
3. Análisis de las gráficas elegidas en función del tiempo (*Ls* o tiempo relativo).
4. Cálculo aproximado de la cantidad de polvo que movilizan los DDs, por estimaciones de Fermi, basadas en balances energéticos (Lesh *et al.*, 2013).

4. RESULTADOS

En la Tabla 1 se muestran resultados de detección y caracterización de tres DD detectados por los rovers *Curiosity* y *Perseverance*, y localizados en los cráteres *Gale* (caso 1 y caso 2) y *Jezero* (caso 3), respectivamente:

DÍA Y HORA (GMT)	INSTRUMENTO	SOL-ROVER	CRÁTER	PARÁMETROS ANALIZADOS	CAÍDA DE PRESIÓN (PA)	TIEMPO DETECCIÓN (S)	V _{WIENTO} (M/S)
31/07/2016 12h 29 min 45 s	REMS	1417-C	Gale	$P_{atm\ local}$, índice UV-ABC, T	4.05(un pozo)	3.31	21.83
09/08/2020 11h 35 min	REMS	2847-C	Gale	$P_{atm\ local}$, T, cámara Navcam	No detecta	No detecta	No detecta
07/08/2021 19h 06 min 51s	MEDA	166-P	Jezero	$P_{atm\ local}$, índice refracción (RDS), T, velocidad y dirección del viento	5 (dos pozos)	3.26	24.73

Tabla 1

Cambios en las variables atmosféricas por presencia de DD estudiados. Fuente: Elaboración propia.

Las Figuras 2-4 representan las distintas variables físicas/meteorológicas registradas durante el sol 166-P (MY36). Además de la presión atmosférica local y el índice de radiación UV (incluyendo radiación lateral e irradiación en este caso), se han representado la velocidad y dirección de viento (Figura 4), datos aportados por *Perseverance*.

Correspondiente a este evento, se muestra la caída de presión (Figura 2), el pico de irradiación (Figura 3) y información aportada por la velocidad del viento y su dirección (Figura 4):

Figura 2

a) Presiones atmosféricas registradas por las sondas del rover *Perseverance* durante el sol marciano 166. b) Presión registrada relativa al evento a las 13:05:34. Se observa la "caída" de presión atmosférica en el instante del evento. Fuente: Elaboración propia.

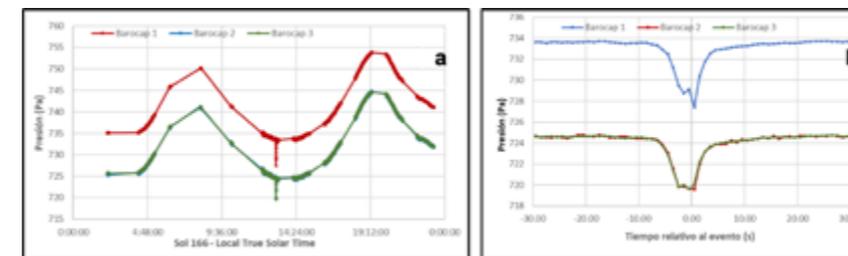


Figura 3

a) Irradiación RDS lateral registrada por el sensor 4 durante el sol marciano 166. b) Irradiación canal 4 registrada, relativa al evento a las 13:05:34. Se observa un fuerte incremento de irradiación relacionado con el DD. Fuente: Elaboración propia.

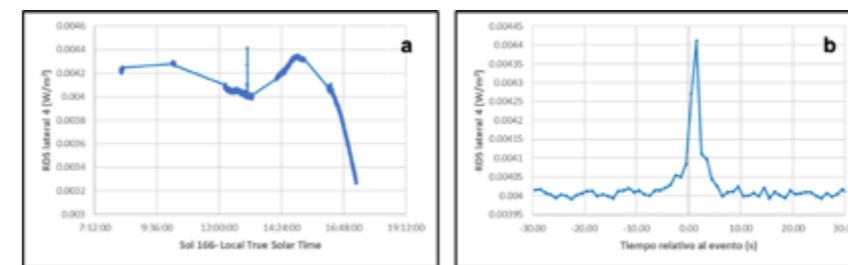
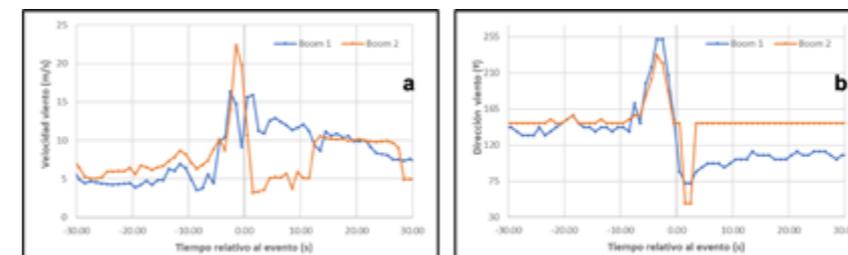


Figura 4

a) Velocidad del viento registrado relativa al evento 13:05:34. b) Dirección del viento registrado relativa al evento 13:05:34. En ambas se aprecia un cambio de dirección del viento ≈180°. Fuente: Elaboración propia.





5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. DD DETECTADO POR REMS EN EL SOL 1417-C EN EL CRÁTER GALE (MY33)

Se detecta el DD en el instante de tiempo (mínima presión) y un mínimo de radiación UV. Las temperaturas no muestran ninguna variación significativa por el paso del DD.

La caída de presión debido a este DD se calcula de $\Delta P = -4.05 \text{ Pa}$, acorde con los valores obtenidos para otros DD analizados en el cráter *Gale* (Ordóñez Etxeberria *et al.*, 2018).

Analizando en detalle el minuto del evento y, centrándolo en el instante mínimo de presión ($t=0$), se ha realizado el ajuste a una línea recta de base y a una función de Gauss:

$$P \text{ (Pa)} = 773.4 - 0.000787t - 4.05 e^{-\left(\frac{t^2}{3.317^2}\right)}$$

(Ecuación 1)

Aplicando la ecuación de Bernoulli (Riaño y Echeverría, 2020), la caída de presión se relaciona con la velocidad del fluido por la expresión:

$$\Delta P = \frac{1}{2} \rho v^2$$

(Ecuación 2)

En nuestro caso la variación de presión es $\Delta P = -4.05 \text{ Pa}$ variación relativa $\Delta P / P = 0.5 \%$ del valor medio y supuesta la densidad 0.017 kg/m^3 (Johnson *et al.*, 2020), la velocidad del viento en este DD sería 21.83 m/s (78 km/h).

Si se considera la radiación medida, se observa en el evento una variación drástica de la radiación en torno a un punto, que correspondería a una variación relativa del 8% . Esto indica que la sensibilidad de la variable radiación / irradiación o índice UV es mucho mayor que la sensibilidad de la presión para detectar el DD.

5.2. DD DETECTADO POR REMS EN EL SOL 2847-C EN EL CRÁTER GALE (MY34)

Las imágenes del DD analizado fueron captadas por una de las cámaras *NacCam* del rover *Curiosity* (*Curiosity Spots a Dust Devil in the Hills – NASA Mars Exploration*, 2020). En este caso, no se tienen datos registrados del índice UV_{ABC}. Al contrario que en el evento registrado en el 1417 (caso 1), en el sol 2847 no se ha detectado ningún cambio o influencia del vórtice en la presión ni en la temperatura.



5.3. DD DETECTADO POR MEDA EN EL SOL 166-P EN EL CRÁTER JEZERO (MY36)

En las Figuras 2 y 3 se presentan las presiones locales y la radiación RDS lateral en el sol analizado, en ambas se detecta claramente el evento tipo DD. En las Figuras 2b, 3b, 4, se presenta el detalle ampliado (*zoom* - 1 minuto) de las magnitudes presión, irradiación, RDS lateral, velocidad y dirección de viento. La Figura 2b muestra una caída de presión ($\Delta P = 5 \text{ Pa}$) de corta duración, con dos pozos.

Este fenómeno también se aprecia al analizar en detalle la velocidad de viento (Figuras 4a), aunque menos marcado en el Canal *Boom* 2, que solo muestra un máximo. La Figura 4b, dirección de viento, muestra un cambio de dirección de las veletas del anemómetro durante el evento, cambiando la dirección del viento del orden 180° antes y después. Todos estos datos son compatibles con el movimiento tipo torbellino del viento en el DD que atraviesa el rover y sus sensores (Figura 5a):

- Acercamiento lateral al rover *Perseverance*
- Incremento de la velocidad en una dirección, disminución de la presión atmosférica local y variación de la irradiación lateral en el sentido de llegada (sonda 2)
- Velocidad mínima en el “ojo” del DD
- Incremento de la velocidad en la dirección opuesta, disminución de la presión atmosférica local y variación de la irradiación lateral en el sentido de alejamiento (sonda 4)

Se propone la posible trayectoria del DD con respecto a *Perseverance* (Figura 5). Murdoch ha caracterizado este mismo tipo de situación (Murdoch *et al.*, 2022, 1-11).

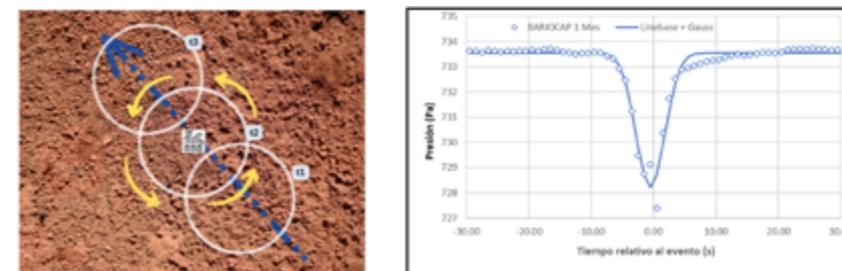


Figura 5

a) Trayectoria del DD. La dirección de la trayectoria del DD (flecha azul) y tamaño (círculos blancos) con respecto al rover *Perseverance*. Las flechas naranjas indican la dirección de rotación en el sentido de las agujas del reloj del viento del vórtice. Fuente: Autoría propia. b) “Pozo” de presión atmosférica en el minuto del evento. Se han incluido los puntos experimentales (medidas) y el ajuste a una línea recta de base y una función de Gauss de altura 5.2 Pa y anchura a media altura 3.26 s . Fuente: Elaboración propia.



5.4. ESTIMACIONES DE LA INFLUENCIA DE LOS DD EN EL APORTE DE POLVO A LA ATMÓSFERA MARCIANA

Para realizar la estimación de la cantidad de masa de polvo que levanta el DD, se ha partido de la hipótesis de que se conserva la energía mecánica del polvo en dicho evento. Es decir, la energía cinética de la corriente de aire que mueve el DD es igual a la energía potencial del polvo en suspensión ($E_{kp} \approx U_p$). Así, la masa de polvo levantada puede calcularse a partir de los siguientes apartados a) y b):

a. La energía cinética de la corriente de aire que mueve el DD:

$$E_k = \frac{1}{2} \rho v^2 DLh$$

Ecuación 3

(ρ es la densidad del aire, v la velocidad del viento, D el diámetro, L el recorrido y h la altura del DD y DLh su volumen total). Suponemos que el DD tiene una geometría aproximadamente cilíndrica. Una fracción C_p de esta energía se transfiere al polvo, es decir, se utiliza para elevarlo:

$$E_{kp} = \frac{1}{2} \rho v^2 DLhC_p$$

Ecuación 4

Suponemos que el valor de C_p es de 0 a 0.5.

b. La energía potencial del polvo en suspensión es:

$$U_p = Mgh$$

Ecuación 5

Donde h es la altura media del polvo en suspensión, es decir $h = h/2$. La conservación de la energía implica que $E_{kp} \approx U_p$ y despejando M , se obtiene:

$$M_T = \frac{E_{kp}}{gh} = \frac{\rho}{g} v^2 DL C_p$$

Ecuación 6

Para obtener el número total de polvo levantado por los DDs, se utilizan valores medios y se multiplica por el número de Dust Devil N_{DD} .

$$M_T = MN_{DD} = \frac{\rho}{g} v^2 DL C_p N_{DD}$$

Ecuación 7



Así, las principales estimaciones calculadas para un DD en Marte son :

- Un DD de velocidad $v=10$ m/s, diámetro $D=7.5$ m, recorrido $L=4000$ m, supuesto $C_p=0.4$, levantaría 5483 kg de polvo (ecuación 6).
- El volumen medio del DD a lo largo del recorrido es de $V_{DD} = 3 \cdot 10^7$ m³/DD
- En este caso, la densidad de partículas en la estela del DD sería 183 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Cantidad de polvo movilizada por 100 DDs/sol y por año marciano sería de $\sim 3.66 \cdot 10^5$ t (ecuación 7).
- Número de DDs producidos anualmente en Marte es de $N(\text{DDs/año}) = 4 \cdot 10^7$ DD/año.

CONCLUSIONES

Tras análisis de los tres eventos DDs, se concluye que H_1 es correcta: Los sensores meteorológicos de presión e irradiación UV de los rovers *Curiosity* y *Perseverance* detectan la presencia de DD marcianos, siempre y cuando la trayectoria del DD cruce el rover. Las caídas de presión detectadas son de $\Delta P \sim 5$ Pa, aproximadamente.

La hipótesis H_2 no ha podido ser confirmada rotundamente a partir de este estudio, porque se requiere el análisis de una gran cantidad de DDs en un largo periodo de tiempo y en diversas localizaciones marcianas. En todo caso, con las estimaciones realizadas (apartado 8.2), la hipótesis H_2 no sería correcta, porque se ha estimado que el número de DDs es de $4 \cdot 10^7$ DD/año. Es decir, se producirían 400 veces más DDs que los propuestos por la hipótesis.

Se confirma la hipótesis H_3 . Es decir, la estación MEDA, al poseer más instrumentos que miden la presencia de polvo, permite una mejor caracterización de los DD que la estación REMS. MEDA dispone de sensores de índice refracción (UV-ABC) y de velocidad y dirección del viento (Apestigue *et al.*, 2022).

AGRADECIMIENTOS

Al Planetario de Pamplona y, en especial, al Dr. Iñaki Ordóñez Etxeberria del Planetario de Pamplona por ofrecernos sus instalaciones, guiarnos y aconsejarnos a lo largo de todo este proceso. Nos ha transmitido su gran pasión por el conocimiento de Marte.



BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

- Apestigue, V., Gonzalo, A., Jiménez, J. J., Boland, J., Lemmon, M., de Mingo, J. R., y Arruego, I. (2022). Radiation and Dust Sensor for Mars Environmental Dynamic Analyzer Onboard M2020 Rover. *Sensors*, 22(8), 2907.
- Balme, M., y Greeley, R. (2006, September 23). Dust Devils on Earth and Mars. *Reviews of Geophysics*, 44(3).
- Curiosity Spots a Dust Devil in the Hills – NASA Mars Exploration*. (2020, August 30). NASA's Mars Exploration Program. Disponible en: <https://mars.nasa.gov/resources/25235/curiosity-spots-a-dust-devil-in-the-hills/> [2022, 3 de octubre].
- NASA. (2022). *Curiosity – NASA Mars Exploration*. NASA's Mars Exploration Program. Disponible en: <https://mars.nasa.gov/msl/home/> [2022, 4 de diciembre].
- Johnson, W., Withrow-Maser, S., Young, L., Malpica, C., Koning, W. J., y Kuang, W. (2020). Mars science helicopter conceptual design. (ARC-E-DAA-TN78199), 10.
- Kahre, M. A., Murphy, J. R., y Haberle, R. M. (2006). Modelling the Martian dust cycle and surface dust reservoirs with the NASA Ames general circulation model. *Journal of Geophysical Research*, Planets(111).
- Kahre, M. A., Murphy, J. R., Newman, C. E., Wilson, R. J., Cantor, B. A., Lemmon, M. T., y Wolf, M. J. (2017). The Mars dust cycle. *The atmosphere and climate of Mars*, 16, 295.
- Lesh, R., Galbraith, P. L., Haines, C. R., y Hurford, A. (Eds.). (2013). *Modelling Students' Mathematical Modeling Competencies: ICTMA 13*. Springer Netherlands.
- Martin, L. J., y Zurek, R. W. (1993). An analysis of the history of dust activity on Mars. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 98(E2), 3221-3246.
- MEDA for Scientists - NASA Mars*. (2022, December 2). NASA's Mars Exploration Program. Disponible en: <https://mars.nasa.gov/mars2020/spacecraft/instruments/meda/for-scientists/> [2022, 2 de diciembre].
- Murdoch, N., Scott, A. E., Giller, M., Hueso, R., Lemmon, M., Martínez, G., y Mimoun, D. (2022). The sound of a Martian dust devil. *Nature communications*, 13(1), 1-11.
- NASA. (2022). *REMS | Instruments – NASA Mars Exploration*. NASA's Mars Exploration Program. Disponible en: <https://mars.nasa.gov/msl/spacecraft/instruments/remis/> [2022, 21 de marzo].



- NASA's Perseverance Studies the Wild Winds of Jezero Crater – NASA Mars Exploration*. (2022, Junio 1). NASA's Mars Exploration Program. Disponible en: <https://mars.nasa.gov/news/9201/nasas-perseverance-studies-the-wild-winds-of-jezero-crater/> [2022, 18 de diciembre].
- Neakrase, L.D. V., Balme, M. R., Esposito, F., Kelling, F., Klose, M., Kok, J. F., y Wurm, G. (2016). Particle lifting processes in dust devils. *Space Science Reviews*, 203(1), 347-376.
- Ordóñez Etxeberria, I., Hueso, R., y Sánchez-Lavega, A. (2018). A systematic search of sudden pressure drops on Gale crater during two Martian years derived from MSL/REMS data. In *Icarus*.
- Ordoñez-Etxeberria, I., Hueso, R., Sánchez-Lavega, A., y Vicente-Retortillo, A. (2020). Characterization of a local dust storm on Mars with REMS/MSL measurements and MARCI/MRO images. *Icarus*, (338).
- PDS Atmospheres Node.. PDS Atmospheres Node*. Disponible en: https://atmos.nmsu.edu/PDS/data/mslrem_1001/ [2022,24 de marzo].
- Ringrose, T. J., Patel, M. R., Towner, M. C., Balme, M., Metzger, S. M., y Zarnecki, J. C. (2007). The meteorological signatures of dust devils on Mars. *Planetary and Space Science*, 55(14), 2151-2161.

ANEXOS

Archivos con ficheros utilizados para el análisis de datos





Método low-cost de recuperación de la tinta usada de los rotuladores de pizarras blancas

/ SEGUNDO PREMIO

AUTORES | JOSÉ MARÍA TOLEDO ÁVILA Y GONZALO NAZ POLO

COORDINADORES | ANTONIO MARCOS NAZ LUCENA Y M^a MERCEDES ÁVILA ÁVILA

CENTRO | IES GRAN CAPITÁN E IES MARTÍN RIVERO

CIUDAD | CÓRDOBA Y RONDA-MÁLAGA

RESUMEN |

En este proyecto se ha realizado una investigación completa sobre el reciclaje de la tinta de los bolígrafos de pizarras que hoy en día se utilizan en los centros docentes. La investigación se ha realizado en un periodo de dos años, en el que se han probado dos métodos distintos para recuperar los residuos de tinta de los borradores “sucios” y encontrar el disolvente o mezcla de disolventes más efectivos para disolver dicho restos y preparar la concentración más adecuada para recargar los rotuladores y volver a usarlos en las mismas pizarras. Además, la investigación se complementa con estudio económico del ahorro que podría proporcionar al centro educativo durante un año escolar, además de la valoración medioambiental de generación de residuos plásticos que se produce por la actividad escolar.

Palabras clave: Breciclaje, tinta, bolígrafos, reciclaje, ahorro.

ABSTRACT |

In this project, a complete investigation has been carried out on the recycling of ink from blackboard pens that is currently used in schools. The research has been carried out over a period of two years, in which two different methods have been tested to recover ink residues from “dirty” erasers and to find the most effective solvent or solvent mixture to dissolve said remains and prepare the ink. Most appropriate concentration to recharge the markers and reuse them on the same blackboard. In addition, the research is complemented by an economic study of the savings that could be provided to the educational center during a school year, in addition to the environmental assessment of the generation of plastic waste that is produced by school activity..

Keywords: recycling, ink, pens, recycling, saving.



1. INTRODUCCIÓN

El ahorro monetario, ayudar al medio ambiente y el reciclaje, son acciones simples que, a veces, tenemos muy a mano pero que se nos olvida que podemos unir y son preocupaciones del ciudadano medio.

Un claro ejemplo de esta unión los podemos encontrar en las aulas de institutos, colegios, empresas, etc. En estos espacios, el número de materiales que son desechados a la papelera son innumerables incluso cuando se han desechado con un único uso. El mal gasto de dinero que se llega a perder en estos establecimientos por no realizar un buen uso de ellos es hasta un 50%. Ya no solo es un desperdicio de dinero y de materiales, sino también de contaminación que esto genera.

Pero...¿Cómo se pueden reutilizar los materiales en las aulas? ¿Qué podemos hacer para unir ahorro, reciclaje y ayuda medio ambiente? Para ello se ha llevado a cabo la presente investigación, pudiendo llegar a reciclar un gran porcentaje de tinta procedente de bolígrafos de pizarra blanca para su próximo uso y sobre todo para llegar a demostrar que el reciclaje puede ayudar en la economía de los centros educativos. Con este proyecto se pretende concienciar a la población con el gran potencial que se puede llegar a obtener con el simple reciclaje de tinta de bolígrafos reutilizables.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Para realizar esta investigación se ha requerido de la siguiente información:

2.1. TIPOS DE ROTULADORES DE BORRADO Y TIPOS DE TINTAS

Algunos de los rotuladores que se encuentran en el mercado son:

- Rotuladores para pizarra blanca Staedtler
- Rotuladores para pizarra blanca Edding

2.2. ESTRUCTURA DE LOS ROTULADORES

La estructura que presentan los rotuladores que se han utilizado para este proyecto es la que se puede observar en la siguiente imagen con un depósito de carga, que puede llegar a albergar unos 10 ml de tinta; la punta, que es rígida y tiene un alto valor de dureza; y por último la punta que permite que la punta del bolígrafo no llegue a secarse.



Figura 1

Partes de un bolígrafo de tinta. Elaboración propia



2.3. COMPOSICIÓN DE LOS ROTULADORES

Los rotuladores de borrado en seco no solo funcionan en pizarras, sino también en otras superficies lisas como el vidrio. Así pues, que podamos borrar la superficie de las pizarras blancas no es algo que dependa tanto del tablero, sino más bien del rotulador. Por algo se llaman rotuladores de borrado en seco. Un marcador borrable para pizarra blanca está formado por cinco ingredientes: disolvente, resina, pigmento, cera y un agente de liberación.

El disolvente es la base de la tinta borrable, es decir, el vehículo en el que están disueltos el resto de los componentes. Cuando se escribe con el rotulador sobre la pizarra, el disolvente se evapora. Por lo general, el disolvente que usan los rotuladores borrables es el alcohol.

El pigmento es el que aporta el color al trazo del rotulador. La resina, en cambio, es un componente que permite extender el pigmento de manera homogénea sobre la superficie de la pizarra. Por sí solo, el pigmento no sería más que un fino polvo. Digamos que la resina es una especie de aglutinante.

La cera, por su parte, crea una película protectora sobre la punta del rotulador que evita que la tinta se seque cuando dejas el marcador destapado. Más concretamente, lo que la cera evita es que el disolvente se evapore. Si tal cosa ocurriera, el pigmento y la resina quedarían obstruidos en la punta y el rotulador quedaría inservible.

El agente de liberación es un compuesto presente en la tinta borrable que no se mezcla bien con la resina y el pigmento.

3. HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

La hipótesis de partida que se plantea es que es posible recuperar los restos de tinta que quedan en las pizarras blancas una vez se usan por parte de los profesores.

La segunda hipótesis planteada es que si reciclamos la tinta, podemos ahorrar más de un 50% en gasto de rotuladores el centro educativo.

Se pretenden alcanzar los siguientes objetivos:

- Poder reciclar las motas de tintas que recolectamos de los borradores de pizarras de los institutos y encontrar un disolvente o mezcla de disolvente que permita recargar los rotuladores y funcione de manera similar.
- Demostrar la disminución del gasto económico al reciclar tinta en vez de comprarla.

4. MÉTODO DE TRABAJO

4.1. DISEÑO EXPERIMENTAL

a. Materiales

- Borrador de pizarra con restos de tinta en “mopa” blanca (Imagen 1), Borradores de pizarra vacíos. (Imagen 2)
- Material de laboratorio: Tubos de ensayo, Tarros de vidrio para hacer la extracción, Vaso de precipitado de 250 ml y de 1000ml, Varilla de vidrio, Espátula, Balanza con tres decimales. (Imagen 3)

b. **Reactivos** (posibles disolventes), Acetona comercial: $\text{CH}_3\text{-CO-CH}_3$ (Imagen 4), Quitaesmaltes: que contiene Acetato de etilo, metiletilcetona y etanol. (Imagen 5)

Imagen 1

Borrador y mopa con restos de tinta



Imagen 2

Rotuladores vacíos



Imagen 3

Tipo de balanza usada



Imagen 4

Acetona comercial



Imagen 5

Quitaesmalte comercial



5. METODOLOGÍA

Se han probado dos métodos distintos para evaluar cuál permite obtener mejores resultados:

MÉTODO A: Método de raspado de borrador y redisolución en busca del disolvente adecuado.

1. Para empezar, la tinta ya utilizada y que se quiere reutilizar se encuentra en los borradores de las pizarras. Su extracción se realiza mediante el raspado de la tinta de la tela (mopa) del borrador con una cucharilla.

2. Al extraer la tinta recolectada, se coge una balanza y en ésta, se pesan las motas de tinta. Para poder obtener medidas fiables de la balanza, las unidades que se usan en las balanzas son Onzas. (Imagen 6)

3. En una probeta se introducen las motas de tintas raspados del borrador pesadas y el disolvente seleccionado (acetona o quitaesmalte). Y por último se mezcla esta disolución. Algunas de las mezclas no se disuelven bien y se filtran con un embudo y papel de filtrar. (Imagen 7)

Imagen 6

Raspado y pesada



Imagen 7

Filtrado en embudo



4. Al tener una disolución homogénea ya se vierte en el bolígrafo que se quiere reutilizar. (Imagen 8)

Imagen 8

Recarga de cartucho



MÉTODO B: Método de extracción de varias “mopas” de borradores en frascos con los posibles disolventes y después evaporación hasta sequedad para obtener la tinta sólida. Pesar el residuo de tinta y probar con distintas concentraciones de los disolventes.

1. Para empezar, la tinta ya utilizada y que se quiere reutilizar se encuentra en los borradores de las pizarras. La extracción de la tinta se hace desde la “mopa” de los borradores. Se separa la mopa y se introduce en un frasco de vidrio con tapadera y se le añade acetona. Por cada 3 “mopas” se utilizan 150 ml de Acetona. Estas se mezclan con una varilla de vidrio durante 1 minuto. Finalmente, se extraen las mopas y se escurren asegurándose de que no quede acetona en las mopas que se sacan del tarro.

2. Cuando se obtiene la acetona y con la tinta, se pasan a un vaso de precipitado de un litro y se evapora todo el disolvente hasta que se obtiene una masa viscosa que con precaución se lleva a sequedad hasta que quede un residuo sólido. (Precaución: usar placa calefactora para el calentamiento) Imagen 9.

Imagen 9

Mezcla parcialmente evaporada antes de secar del todo





3. Esta tinta se saca del vaso de precipitado y se pesa el sólido obteniendo 0,1 Oz (onzas), que es lo que se desea obtener.

4. Con esa cantidad se preparan distintas mezclas con 2 disolventes distintos para evaluar la concentración ideal para que el rotulador recargado pinte con una calidad similar a la del original.

6. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Para evaluar el resultado, a los rotuladores sin tinta, se les hace pasar acetona pura para arrastrar la tinta hasta que no pinte nada. A continuación, se van rellenando los cartuchos y se colocan en los rotuladores boca abajo y se espera una media hora para que el bolígrafo se empape de la nueva mezcla que se va a probar. A continuación se prueba en la misma pizarra blanca en todos los casos. Como ejemplo ponemos la imagen 10.



Imagen 10

Ensayos realizados. El 5º bolígrafo es un ejemplo de resultado positivo. Mezcla válida

RESULTADOS SEGÚN MÉTODO A: Se marcan en azul las mezclas que funcionan según la imagen 10

EN AZUL MEZCLAS VÁLIDAS; EN ROJO MEZCLAS NO VÁLIDAS		
MEZCLA 1ª	MEZCLA 2A	
0,005 onzas	0,1 onzas	
50 ml Quitaesmalte de uñas	50 ml Quitaesmalte de uñas	
MEZCLA 4ª	MEZCLA 5A	MEZCLA 6A
0,005 onzas	0,005 onzas	0,005 onzas
40 ml Quitaesmalte de uñas	100 ml Acetone	30 ml Quitaesmalte de uñas
MEZCLA 7ª	MEZCLA 8A	
0,005 onzas	0,005 onzas	
50 ml Quitaesmalte de uñas	50 ml Quitaesmalte de uñas	
MEZCLA 10ª	MEZCLA 11A	MEZCLA 12A
0,005 onzas	0,005 onzas	0,015 onzas
50 ml Acetona	75 ml Acetona	50 ml Acetona

Tabla 3

Experimentos realizados en el año 2020/2021. Elaboración propia



RESULTADOS SEGÚN MÉTODO B: Se marcan en azul las mezclas que funcionan según la imagen 10

EN AZUL MEZCLAS VÁLIDAS; EN ROJO MEZCLAS NO VÁLIDAS		
MEZCLA 1B	MEZCLA 2B	MEZCLA 3B
0,001 onzas	0,007 onzas	0,01 onzas
10 ml Acetona	10 ml Acetona	10 ml Acetona
MEZCLA 4B	MEZCLA 5B	MEZCLA 6A
0,01 onzas	0,05 onzas	0,05 onzas
10 ml Quitaesmalte	10ml Acetona	10 ml Quitaesmalte
MEZCLA 7B	MEZCLA 8B	
0,1 onzas	0,1 onzas	0,1 onzas
10ml Acetona	10 ml Quitaesmalte	10ml Acetona

Tabla 4

Resultados según el método B

6.1. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En primer lugar el método A no proporciona resultados reproducibles según las pruebas realizadas. Seguramente porque el método de raspado de los borradores no permite tener concentraciones aseguradas. En cambio, el método B nos permite obtener un producto sólido cuantificable a través del cual se pueden preparar concentraciones exactas que pueden ser probadas en las pizarras.

De la tabla del método B, podemos deducir:

- Las mezclas 1B al 3B no han sido efectivas debido a que la disolución estaba muy diluida.
- Las mezclas 4B y 6B al contener quitaesmalte, la disolución precipitaba. Y la mezcla 5B todavía estaba muy diluida.
- Las mezclas 7B y 9B son las ideales y podría ser la concentración perfecta para el reciclaje de estos bolígrafos. El experimento 8B al igual que los experimentos 4 y 6 debido al quitaesmalte la disolución precipitaba

Hemos demostrado que la tinta se reciclará mejor con acetona. Posiblemente debido a que es el único reactivo que no contiene partículas de glicerina, suponiendo que esta puede dejar precipitado en la mezcla de la disolución.

6.2. ESTUDIO SOBRE EL AHORRO DE LA TINTA RECICLADA

Para alcanzar el último objetivo de la investigación, se ha podido comprobar mediante un estudio económico en el IES Martín Rivero durante el año 2020/2021 se han gastado 1445,1 euros en la compra de recambios de bolígrafos de pizarra mientras que con el estudio realizado para obtener tinta reciclada se ha calculado que se puede llegar a ahorrar casi un 97% ya que el precio gastado en este caso es de 38,73 euros.



$1 \text{ recambio reciclado} \cdot (9,69 \text{ eu}) / (12 \text{ recambios comprados}) = 0,80 \text{ eu}$
$10 \text{ ml de acetona} \cdot (3,40 \text{ eu}) / (100 \text{ ml de acetona}) = 0,034 \text{ eu}$
$4 \text{ ml de acetona} \cdot (0,034 \text{ eu}) / (10 \text{ ml de acetona}) = 0,0136 \text{ eu}$

Para concluir con lo anterior, se ha calculado que 2848 recambios comprados en un año escolar son 1445,1 euros mientras que 2848 recambios reciclados por este método B, en un año escolar son 38,73 euros.

7. CONCLUSIONES

Nuestras hipótesis de partida han sido confirmadas. Se pueden recuperar tinta y reutilizar rotuladores gastados y se produce un ahorro superior al 50 % económico usando este método químico para regenerar la tinta usada.

BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

Papelería técnica SL (2017) Disponible en: <https://papeleria-tecnica.net/rotuladores-pizarra-blanca/>



Investigaciones matemáticas sobre átomos y coloraciones bloqueadoras

/ TERCER PREMIO

AUTOR | ANDREY PARRILLA PROKOPYEV

COORDINADOR | JAVIER ELADIO GUZMÁN VILLANUEVA

CENTRO | COLEGIO INTERNACIONAL SEK ALBORÁN

CIUDAD | EL EGIDO-ALMERÍA

RESUMEN |

En este trabajo se presenta el resumen de dos investigaciones propias sobre los cuadrados mágicos y las coloraciones de grafos. En la primera definimos un nuevo tipo de cuadrado mágico (los átomos) y demostramos nuevos resultados que ayudan a trabajar con cuadrados mágicos. En la segunda, definimos un nuevo tipo de coloración (la coloración bloqueadora) y analizamos el número de coloraciones bloqueadoras posibles de árboles binarios. Nuestra contribución principal es la presentación y análisis de dos nuevos objetos que consideramos fundamentales (átomos y coloraciones bloqueadoras) y que pueden encontrar numerosas aplicaciones teóricas y prácticas..

ABSTRACT |

This paper presents the summary of two own investigations on magic squares and graph colorings. In the first one we define a new type of magic square (atoms), and we demonstrate new results that help to work with magic squares. In the second, we define a new type of coloring (the blocking coloring) and analyze the number of possible blocking colorings of binary trees. Our main contribution is the presentation and analysis of two new objects that we consider fundamental (atoms and blocking colors) and that can find numerous theoretical and practical applications..



1. INTRODUCCIÓN

En este trabajo exponemos nuestras investigaciones sobre dos temas: los cuadrados mágicos y las coloraciones de grafos.

Para la primera investigación, definimos un cuadrado mágico de orden n como una matriz de tamaño $n \times n$ en la que las filas, columnas y diagonales suman una misma cantidad. Denotamos por M_n el conjunto de cuadrados mágicos de orden n y por OM_n el conjunto de cuadrados mágicos de orden n con suma 0. En esta investigación introducimos un nuevo tipo de cuadrados mágicos: los n -átomos. Los n -átomos son cuadrados mágicos de orden n con suma 0 cuyos valores pertenecen al conjunto $\{1,0,-1\}$. Este trabajo surge a partir de observar que en artículos científicos se utiliza una parametrización de los cuadrados mágicos para conseguir demostrar ciertos resultados. A colación, nos preguntamos ¿existirá (para $n \in \mathbb{N}$) una base de OM_n exclusivamente formada por átomos?

Para responder esta pregunta, presentamos una 'teoría de los átomos' y encontramos tres líneas principales de investigación: su aplicación para la resolución de problemas de cuadrados mágicos, el estudio de la secuencia de los n -átomos y su posible aplicación en criptografía.

En la segunda investigación trabajamos con coloraciones y árboles binarios. Una coloración es una asignación de colores a los nodos del grafo. Un árbol binario es un árbol con raíz donde cada nodo tiene cero, uno o dos hijos. En la investigación introducimos el concepto de coloración bloqueadora. Diremos que una coloración es bloqueadora si todos los caminos completos (un camino que parta de la raíz y acabe en algún nodo sin hijos) pasan por al menos un nodo coloreado. Esta definición surge de considerar el árbol binario como una estructura computacional y pensar en situaciones donde nos interese garantizar que un dato pase a través de todas las 'ramas'. Asimismo, surge de intentar generalizar los árboles binarios.

Como parte de esta investigación, desarrollaremos cuatro líneas de investigación: el estudio de la convergencia de sucesiones que cuentan el número de cierto tipo de coloraciones bloqueadoras, el estudio de una abstracción de estas sucesiones en forma de funciones, el estudio de variaciones que proponemos de estas coloraciones y el estudio de coloraciones bloqueadoras con resistencias.

Como parte de este trabajo, elaboramos dos artículos extensos donde mostramos todos nuestros resultados y demostraciones y cuatro cuadernos de Jupyter con todo el código que hemos utilizado (disponible en <https://github.com/andrey07/Cuadrados-magicos.git>). Entre estos programas se encuentra uno que permite obtener una lista de la extensión deseada de cuadrados mágicos de orden cualquiera, que es crucial para poder seguir explorando propiedades de cuadrados mágicos u observar patrones. Ese programa es posible gracias a algunos teoremas desarrollados en la primera investigación.



2. OBJETIVOS

Respecto al primer trabajo, nuestro objetivo principal es demostrar que para todo $n \in \mathbb{N}$, existe una base de OM_n formada exclusivamente por átomos. En concreto, demostraremos este resultado de dos formas distintas. Primero, utilizando pseudodimensiones de perímetros. Segundo, con un método constructivo explícito. Esta segunda demostración nos permitirá construir computacionalmente una base de M_n de forma relativamente rápida.

Respecto al segundo trabajo, nuestro otro objetivo principal es investigar las propiedades de las coloraciones bloqueadoras y en concreto, el número de coloraciones bloqueadoras que tienen (1) los árboles binarios completos de altura n y (2) los árboles binarios de n nodos. Esto nos llevará a observar la estrecha relación que guardan algunas de estas cantidades con los coeficientes binomiales.

3. RESULTADOS

Presentamos a continuación los resultados principales (definiciones, teoremas, proposiciones, lemas, corolarios, observaciones y conjeturas) de nuestras investigaciones sobre los átomos y las coloraciones bloqueadoras.

3.1. CUADRADOS MÁGICOS Y ÁTOMOS

Comenzamos estableciendo algunos resultados preliminares sobre M_n y OM_n .

Proposición 1: M_n y OM_n , junto a las operaciones habituales de suma de matrices y producto de matriz con un escalar, forman espacios vectoriales.

Proposición 2: Sea $S:V \rightarrow W$ una transformación lineal entre espacios vectoriales de dimensión finita. Sea " \dim " $V=n$ y $\{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ una base de V . Entonces la dimensión del rango de S coincide con el número de vectores linealmente independientes de $\{S(v_1), S(v_2), \dots, S(v_n)\}$.

Lema 1: Definimos $T: M_{n \times n} \rightarrow \mathbb{R}^{2n+2}$

$$\begin{pmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \dots & a_{1,n} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \dots & a_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n,1} & a_{n,2} & \dots & a_{n,n} \end{pmatrix} \rightarrow (F_1, \dots, F_n, C_1, \dots, C_n, D, D'),$$

donde

$$F_r = \sum_{i=1}^n a_{r,i}, \quad C_r = \sum_{i=1}^n a_{i,r}, \quad D = \sum_{i=1}^n a_{i,i}, \quad D' = \sum_{i=1}^n a_{n+1-i,i},$$



para $r \in \{1, \dots, n\}$. Entonces, T es una transformación lineal.

Lema 2: $\dim(\text{range } T) = 2n+1, n > 2$

Corolario 1: $\dim(M_n) = n^2 - 2n, n > 2$

Para la demostración de los resultados anteriores hemos utilizado herramientas de álgebra lineal.

Definición 1: Definimos un n -átomo A como un cuadrado mágico de $0M_n$ cuyos valores están en $\{-1, 1, 0\}$. Denotamos por A_n el conjunto de n -átomos.

Definición 2: Dado un cuadrado mágico $A = (a_{ij})_{i,j \in \{1, \dots, n\}}$, definimos su perímetro $p(A)$ como $p(A) = (a_{1,1}, a_{1,2}, \dots, a_{1,n}, a_{2,1}, \dots, a_{n,n-1}, \dots, a_{n,1}, a_{n-1,1}, \dots, a_{2,1})$

Definición 3: Dado un cuadrado mágico $M = (m_{ij})_{i,j \in \{1, \dots, n\}}$, definimos la relación antipodal, que denotamos por "apod", del siguiente modo: $m_{r,t}$ "apod" $m_{i,j}$ sii se verifica al menos una de las tres siguientes condiciones

1. $|r-i| = n-1, |t-j| = n-1$
2. $|r-i| = 0, |t-j| = n-1$
3. $|r-i| = n-1, |t-j| = 0$

Si $m_{r,t}$ "apod" $m_{i,j}$, diremos que $m_{r,t}$ y $m_{i,j}$ forman un par antipodal.

Observación 2: la relación antipodal relaciona dos puntos de una matriz si son diametralmente opuestos (con excepción de las esquinas, que están todas relacionadas entre sí).

Proposición 5: Sea $L = \{A_1, \dots, A_r\}$ una lista de n -átomos tal que $A_k = (a_{ij,k})_{i,j \in \{1, \dots, n\}}$, $1 \leq k \leq r$. Si $\exists i, j, s, t \in \{1, \dots, n\}$ tal que $\forall k \in \{1, \dots, r\}$ se verifica que $a_{i,j,k} + a_{s,t,k} = 0$, y existe un n -átomo $B = (b_{ij})_{i,j \in \{1, \dots, n\}}$ con $b_{ij} + b_{s,t} \neq 0$, entonces B es linealmente independiente a L .

Los resultados anteriores nos brindan herramientas para plantear formas de construir átomos linealmente independientes.

Definición 6: Definimos la pseudodimensión de A_n , que denotamos por "pdim" (A_n) , como el máximo número de átomos linealmente independientes que genera A_n .

Proposición 6: Todas las listas de átomos linealmente independientes (LI) que generan A_n tienen la misma cantidad de átomos.



Es necesario definir la pseudodimensión porque A_n no cumple todos los requisitos de un espacio vectorial. A continuación, introducimos el concepto de perímetro como conjunto. Como veremos el perímetro de $0M_n$ y A_n forman espacios muy interesantes que nos permiten demostrar el teorema átomo-base.

Definición 7: Llamamos al perímetro de $0M_n$, que denotamos por $p(0M_n)$, al conjunto de posibles perímetros de $0M_n$. Es decir $p(0M_n) = \{p(a) : a \in 0M_n\}$. Análogamente, $p(A_n) = \{p(a) : a \in A_n\}$.

Proposición 7: $p(0M_n)$ forma un espacio vectorial (con el cuerpo R) bajo las operaciones habituales de suma y multiplicación escalar de tuplas finitas.

Proposición 8: $\dim p(0M_n) = 4n-8, n \geq 3$

Definición 8: Definimos la pseudodimensión de $p(A_n)$, que denotamos por $pdim(p(A_n))$, como el número de elementos linealmente independientes de $p(A_n)$ necesarios para generar todo elemento de $p(A_n)$.

Proposición 9: Hay una base de $p(0M_n)$ en $p(A_n)$ para $n \geq 7$

Proposición 10: existe una base de $0M_k$ en A_k , $k \in \{3, 4, 5, 6\}$

Teorema 3 (átomo-base): Hay una base de $0M_n$ en A_n , $n \geq 3$

Corolario 4 (átomo-base): Hay una base de M_n formada por J_n y elementos de A_n , $n \geq 3$

Todo permite demostrar el resultado que deseábamos en primer lugar. En lo restante del trabajo se investigó otras propiedades de estos átomos: el cálculo de las cotas de $|A_n|$, la representación de los átomos a través de campos de potencial electrostático y el representante principal de una lista de átomos. En lo que sigue utilizamos la notación de Andrews para los coeficientes trinomiales (Andrews, 1990).

Definición 9: Sea C_n el conjunto de n -átomos con el centro (elementos del cuadrado mágico que no forman parte del perímetro) lleno de ceros.

Proposición 11: $|C_{-(n+2)}| = \binom{n}{0}_2 + 4 \binom{n}{0}_2 \binom{n}{2}_2 + 4 \binom{n}{1}_2$

Corolario 5: $|A_{n+2}| > |A_n| |C_{n+2}|$

Proposición 13: Para todo $n \geq 3$, se verifica que $|A_{-n}| < \left(\frac{n}{1}\right)_2^{n-1}$

Hasta aquí hemos mostrado lo concerniente con $|A_n|$. Respecto a los representantes principales, demostramos lo siguiente.



Definición 10: un átomo a es positivo si su primer elemento no nulo es 1. (Ordenamos los elementos de una matriz primero por el número de columna y luego por número de fila).

Definición 11: dado un conjunto de átomos L , definimos la discriminación positiva de L , que denotamos por L^+ , como $L^+ = \{a \in L : a \text{ es positivo}\}$

Definición 12: definimos la aplicación Φ :

$$\begin{aligned} \phi: \mathcal{P}(A_n) &\rightarrow 0M_n \\ L &\mapsto \phi(L) = \sum_{a \in L^+} a \end{aligned}$$

donde $\mathcal{P}(X)$ es el conjunto potencia del conjunto X . Diremos que $\phi(L)$ es el representante principal de L .

Lo interesante de estas aplicaciones es que parecen ser muy erráticas (mostramos algunos ejemplos en la figura 2) y por tanto permiten codificar una matriz con solo dos números (n, r) (pudiendo tener aplicaciones en criptografía). Pero para poder aplicar correctamente esto, se debería cumplir que Φ sea inyectiva.

Figura 1

ejemplos de aplicaciones de $A_{n,r}$ bajo ϕ . (Es decir, ejemplos de $\phi(A_{n,r})$)

$$\begin{aligned} A_{4,8} &\xrightarrow{\phi} \begin{pmatrix} 23 & 6 & -8 & -21 \\ -6 & -17 & 15 & 8 \\ -10 & 13 & -11 & 8 \\ -7 & -2 & 4 & 5 \end{pmatrix} \\ A_4 &\xrightarrow{\phi} \begin{pmatrix} 55 & 15 & -25 & -45 \\ -13 & -39 & 37 & 15 \\ -23 & 27 & -25 & 21 \\ -19 & -3 & 13 & 9 \end{pmatrix} \\ A_{4,5} &\xrightarrow{\phi} \begin{pmatrix} 208 & 33 & -85 & -81 & -75 \\ -55 & -84 & 24 & 76 & 39 \\ -61 & -6 & -15 & 27 & 55 \\ -55 & 51 & 26 & -56 & 34 \\ -37 & 6 & 50 & 34 & -53 \end{pmatrix} \end{aligned}$$

3.2. COLORACIONES BLOQUEADORAS

De aquí en adelante definimos el n -ésimo árbol binario completo, que denotamos por K_n , como el árbol binario de altura n que tiene la máxima cantidad de nodos. Asimismo, denotamos el número de nodos de K_n con $r_n = 2^n - 1$. Por último, denotamos por A_n el conjunto de árboles binarios de n nodos.

Definición 1: Sea B un árbol binario y C una coloración. Entonces un camino completo (a_1, \dots, a_r) es un camino que tiene por origen la raíz del árbol binario (a_1 es la raíz), que acaba en un nodo que no tenga hijos y que verifica que que a_s es un hijo de a_{s-1} para $s \in \{2, \dots, r\}$

Definición 2: Sea C una coloración de un árbol binario B . Si se verifica que todos los caminos completos de B contienen al menos un nodo coloreado, entonces

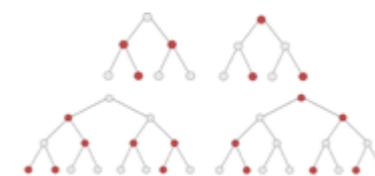


la coloración es bloqueadora. Si la coloración C es bloqueadora y colorea r elementos de B , entonces decimos que es una r -coloración *bloqueadora*.

A modo de notación, dado un árbol binario A , $\beta(A)$ será el conjunto de coloraciones bloqueadoras totales de A y $\beta_r(A)$ será el conjunto de r -coloraciones bloqueadoras de A . Mostramos algunos ejemplos de $\beta_3(K_3)$ y de $\beta_7(K_4)$ en la figura 3. Asimismo, de aquí en adelante denotamos $B_n = |\beta(K_n)|, B_{n,r} = |\beta_r(K_n)|$.

Figura 3

ejemplos de $\beta_3(K_3) = B_{3,3}$ y de $\beta_7(K_4) = B_{4,7}$



Proposición 1: $B_n = 2^{2^n - 2} + (B_{n-1})^2$

Proposición 5: Sea $k > 1$. Entonces,

$$B_{n,k} = \begin{cases} 0, & k > 2^n - 1 \\ \binom{2^n - 1}{k - 1} + \sum_{i=1}^{k-1} B_{n-1,i} B_{n-1,k-i}, & k \leq 2^n - 1 \end{cases}$$

Proposición 6: Sea $k > 1 \in \mathbb{N}$. Si $B_{n-1,i} = \binom{2^{n-1}-1}{i-1}$ para $i \in \{1, \dots, k-1\}$, entonces se verifica que $B_{n,k} = \binom{2^n-1}{k-1}$.

Observación 1: Es claro que la proposición anterior implica que $B_{n,k} = \binom{2^n-1}{k-1}$, $k \in \{1, \dots, n\}$.

La observación y proposiciones anteriores comienzan a enseñar la relación que parece existir entre $B_{n,k}$ y los coeficientes binomiales.

Proposición 7: para todo $k \in \mathbb{N}$, existe un valor de $n_0 \in \mathbb{N}$ tal que $B_{n,k} = \binom{2^n-1}{k-1}$ para $n \geq n_0$.

Corolario 1: Sea $k \in \mathbb{N}$. Entonces, $B_{n,k} \sim \binom{2^n-1}{k-1}$

Conjetura 1: Entonces, $B_{n,k} \sim \binom{2^n-1}{k-1}$ donde k puede depender de n

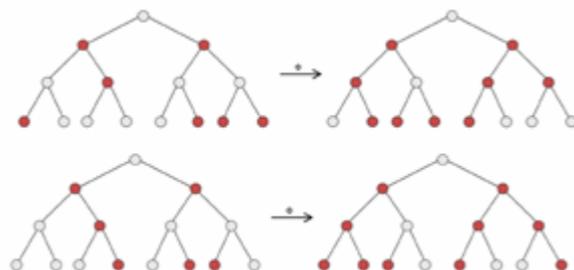
Proposición 8: Sea $n \in \mathbb{N}, k \in \{1, \dots, 2^{n-1}\}$. Entonces $B_{n,k} > \binom{2^n-2}{k-1} + \binom{2^n-4}{k-2}$

A continuación, comenzamos a exponer una aplicación Φ que será muy interesante porque resultará ser la biyección entre $\beta_r(K_n)$ y $\beta_{2^n-r}(K_n)$. (En la figura 4 mostramos ejemplos de imágenes de árboles binarios bajo Φ .)



Figura 4

ejemplos de imágenes de árboles binarios bajo Φ .



Definición 3: Sea b un árbol binario B con una coloración bloqueadora C . Entonces definimos la aplicación $\Phi(b)$ del siguiente modo:

Si b tiene la raíz coloreada, $\Phi(b)$ es el árbol binario que tiene coloreados la raíz y el resto de los elementos no coloreados en b .

Si b no tiene la raíz coloreada, descomponemos b en su rama izquierda (b_L) y su rama derecha (b_D). Entonces $\Phi(b)$ es la coloración que tiene la raíz no coloreada y por ramas izquierda y derecha $\Phi(b_L)$ y $\Phi(b_D)$ respectivamente.

Lema 1: Sea $b \in B_r(K_n)$, $r \in \{1, \dots, 2^n - 1\}$. Entonces $\Phi(b) \in B_{2^n - r}(K_n)$.

Lema 2: Sea b un árbol binario con coloración bloqueadora. Entonces, $\Phi(\Phi(b)) = b$

Proposición 9: Sea $r \in \mathbb{N}$: $1 \leq r \leq 2^n - 1$. Entonces $B_{n,r} = B_{n,2^n - r}$

Demostremos la última proposición de dos maneras: la primera estableciendo una biyección entre $\beta_r(K_n)$ y $\beta_{2^n - r}(K_n)$ y la segunda de manera algebraica (y haciendo uso de la inducción).

Definición 4: decimos que $f(n,r)$ es M -simétrica sii

$$f(n,r) = f(n,M-r), \quad r \in \{1, \dots, M-1\}$$

Proposición 10: Sea $f(n,r)$ una función que cumple $f(n,1) = g(n,1), f(n,r) = 0, r \geq 2^n$ y

$$f(n,r) = g(n,r) + \sum_{i=1}^{r-1} f(n-1,i) f(n-1,r-i), \quad r \geq 2$$

Entonces $f(n,r)$ es 2^n -simétrica sii $g(n,r)$ es 2^n -simétrica

Conjetura 2: Sea $f(n,r)$ una función que satisface las siguientes condiciones:

$$f(n,r) = g(n,r) + \sum_{i=1}^{r-1} f(n-1,i) f(n-1,r-i), \quad r \geq 2$$

$$f(n,1) = g(n,1)$$

$$f(n,r) = 0, r \geq M_n$$

Entonces $f(n,r)$ es M_n -simétrica sii $M_n = 2^{n-1} M_0$ y $g(n,r)$ es M_n -simétrica.

Proposición 12: Sea $n \in \mathbb{N}$. Entonces

$$\sum_{k=1}^{2^n - 1} \sum_{i=1}^{k-1} B_{n-1,i} B_{n-1,k-i} = (B_{n-1})^2$$

El último resultado puede demostrarse de tres formas: dos algebraicas (una explícita y una implícita) y una combinatoria (notando que ambos lados representan las coloraciones bloqueadoras de un árbol binario completo de n niveles en las que no se colorea la raíz). A continuación, trabajamos con $Z_n = |\beta(A_n)|$ y $Z_{n,r} = |\beta_r(A_n)|$. (Denotamos el n -ésimo número de Catalan por C_n .)

Proposición 13: Sea $n \in \mathbb{N}$. Entonces,

$$Z_n = 2^{n-1} C_n + \sum_{i=0}^{n-1} Z_i Z_{n-1-i}$$

Proposición 14: Sea $n \in \mathbb{N}$, $r \in \{1, \dots, n\}$. Entonces

$$Z_{n,r} = \binom{n-1}{r-1} C_n + \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^r Z_{ij} Z_{n-1-i,r-j}$$

Por último, mostramos una posible extensión de las coloraciones bloqueadoras introduciendo el concepto de resistencia.

Definición 5: Sea C una coloración de un árbol binario B que pinta r nodos. Si todos los caminos completos de B contienen exactamente v nodos coloreados, diremos que C es una (r,v) -coloración bloqueadora. El conjunto de (r,v) -coloración bloqueadoras de un árbol binario B viene dado por ${}^v B_{n,r} = |\beta_{r,v}(B)|$. En concreto, ${}^v B_n = |\beta_{r,v}(K_n)|$ (donde $\beta_{r,v}(K_n)$ representa el conjunto de coloraciones de árboles binarios completos con v vidas y sin restricción en el número de nodos coloreados).

Proposición 17: ${}^1 B_n = ({}^1 B_{n-1})^2 + 1, n \in \mathbb{N}$



Proposición 18: $rB_n = (r-1B_{n-1})^2 + (rB_{n-1})^2, r \in \{1, \dots, n\}, n \in \mathbb{N}$

Proposición 19: $rB_n = n-rB_n, r \in \{0, \dots, n\}, n \in \mathbb{N}$

En este caso rB_n también guarda cierta similitud con los coeficientes combinatorio: la proposición 19 es igual y la proposición 18 recuerda a una variante de la identidad $\binom{n}{k} + \binom{n-1}{k-1} = \binom{n-1}{k}$

4. CONCLUSIONES

Con los resultados mostrados en estas investigaciones hemos cumplido nuestros objetivos iniciales al demostrar el teorema átomo-base para los cuadrados mágicos y caracterizar cómo pueden ser estas bases formadas por átomos de OM_n y al investigar el número de posibles coloraciones bloqueadoras de K_n y A_n . Asimismo, hemos propuesto vías por donde se podría seguir investigando sobre estos dos objetos (los átomos y las coloraciones bloqueadoras) que tienen tanto aplicaciones prácticas como teóricas: sistemas criptográficos con los representantes principales de una lista de átomos, la determinación de una fórmula cerrada para el número de n -átomos o la investigación de las (r,v) -coloraciones bloqueadoras de árboles binarios.

5. BIBLIOGRAFÍA REDUCIDA

- Andrews, G. E., 1990. Euler's "Exemplum Memorabile Inductionis Fallacis" and q-Trinomial Coefficients. *Journal of the American Mathematical Society*, pp. 653-669.
- Axler, S., 2015. *Linear Algebra Done Right*. s.l.:Springer.
- Edwards, B. & Hartman, J., 2011. Powers of magic matrices. *The Mathematical Gazette*, 95(533), pp. 284-292.
- Gauthier, N., 1997. Singular Matrices Applied to 3×3 Magic Squares. *The Mathematical Gazette*, 81(491), pp. 225-230.
- Nordgren, R. P., s.f. Compound Lucas Magic Squares. *arXiv:2103.04774*.



Caracterización fotométrica de un aula del IES Saavedra Fajardo

/ TERCER PREMIO

AUTORES | JULIA FERNÁNDEZ PASTOR, PABLO GARCÍA FERNÁNDEZ
Y ALICIA IBÁÑEZ FERNÁNDEZ

COORDINADORES | M^a DOLORES GÁLVEZ SÁNCHEZ, VIRGINIA VERDÚ TORTOSA
Y JOSUA FERNÁNDEZ MARTÍNEZ

CENTRO | IES SAAVEDRA FAJARDO

CIUDAD | MURCIA

RESUMEN |

El objetivo de este proyecto consiste en la medición y caracterización de la iluminancia de un aula y su correspondiente pizarra en nuestro centro académico, el IES Saavedra Fajardo. Para ello se empleó como referencia la Directiva Europea de Iluminación en espacios cerrados, concretamente en establecimientos educativos. Esta normativa se encarga de establecer los parámetros necesarios para garantizar una adecuada higiene visual, manteniendo a la vez una alta eficiencia energética.

Para llevar a cabo la parte experimental, se organizaron las mesas en una disposición ordenada y se señalaron en la pizarra los puntos de medición que se consideraron suficientes para el estudio. Una vez hecho esto, se procedió a realizar las medidas con un luxómetro calibrado, instrumento capaz de cuantificar la iluminancia a través de su sensor.

Se elaboraron diferentes gráficas con los resultados obtenidos. Tras un análisis de las mismas, se concluyó en qué casos la iluminación cumplía, o no, la directiva europea. Se encontró que únicamente en el caso de iluminación combinada natural con artificial se alcanzaban los valores mínimos establecidos por el estándar europeo. Sin embargo, incluso en este caso, la iluminación era altamente heterogénea desde el punto de vista espacial. El trabajo incluye una pequeña discusión sobre acciones de mejora.



ABSTRACT |

The aim of this project was the measurement and characterization of the illuminance in a classroom, and its corresponding blackboard, belonging to our high school, IES Saavedra Fajardo. The European Standard for Lightning for indoor working places, particularly on educational buildings, was taken as the reference frame for this work. This standard establishes the parameters to reach high visual hygiene, at the same time maintaining high energy efficiency.

To carry out the experimental part, the desks in the classroom were organized in a regular distribution, and the whiteboard's measurement points were chosen appropriately. Subsequently, we conducted the measurements by using a calibrated lux meter, an instrument capable of quantifying the illuminance through its sensor.

The obtained results were presented on different figures. The analysis of the results permitted us to discern whether and to what extent the illumination adhered to the European Standard. Solely with the combination of artificial and natural light, illuminance reached the levels established by the European Standard. Nevertheless, even in this case, it resulted highly heterogeneous. The work includes a discussion and suggestions to enhance the illuminance in the classroom.



1. INTRODUCCIÓN

Es importante que haya condiciones adecuadas en la iluminación en el ámbito educativo para el bienestar de las personas. No solo repercute en la calidad visual, sino también en el rendimiento académico y en el estado de ánimo de los alumnos. También tiene implicaciones desde el punto de vista de la eficiencia energética, hecho tenido en cuenta por la Unión Europea a la hora de redactar la Directiva que regula la iluminación en interiores. Por estas razones, se ha querido llevar a cabo un trabajo que permitiera saber y comprobar si la iluminación en las aulas de nuestro centro efectivamente se adapta a la norma europea que referencia este tema. El trabajo consistirá en medir la iluminancia de un aula y de una pizarra, en condiciones de luz natural y de luz artificial, con un instrumento especializado en este tipo de medición. Dependiendo de los resultados obtenidos se busca proponer mejoras a la Consejería de Educación.

2. ANTECEDENTES

2.1. LUZ

La luz es un fenómeno físico complejo, que involucra el transporte de energía a través de partículas fundamentales sin masa denominadas fotones, que desencadena la visión en el ojo humano. La luz puede explicarse mediante distintos modelos, estos son el geométrico, el ondulatorio y el cuántico. Solo una porción del espectro electromagnético, o equivalentemente fotones de cierta energía, son capaces de excitar la retina humana. El fenómeno de la visión es de naturaleza subjetiva. Por tanto, aunque la energía radiante posee propiedades bien definidas y físicamente medibles, la visión sólo puede medirse mediante técnicas subjetivas, ya que involucra una etapa perceptual (Hetch, 2000). Para que la luz desencadene la visión, esta debe estar comprendida en la porción del espectro electromagnético entre los 400 y los 750 nm de longitud de onda (Hart, 1994).

2.2. RADIOMETRÍA Y FOTOMETRÍA

Existen dos formas de detectar y medir la luz. Estas son la radiometría, que emplea técnicas físicas de medición; y la fotometría, que emplea métodos psicofísicos, detecta y compara las sensaciones visuales producidas por la luz en los seres humanos. Se puede enunciar de manera alternativa como que la medición radiométrica se ocupa de la detección física y de la cuantificación de la radiación electromagnética, mientras que la medición fotométrica se ocupa de cuantificar cómo se percibe la luz en términos de su brillo aparente, tal y como es advertido por el ojo humano (Hart, 1994).



2.2.1. UNIDADES RADIOMÉTRICAS Y FOTOMÉTRICAS

La iluminancia es el flujo luminoso total que incide sobre una superficie, por unidad de área. Es una medida que indica cómo de iluminada está la superficie respecto a la luz incidente, ponderada en longitud de onda por la función de luminosidad, para relacionarla con la percepción humana del brillo (Hart, 1994).

El lux es la unidad del SI que mide la iluminancia, que equivale a un lumen partido por metro cuadrado (Hart, 1994). Esta es precisamente la unidad en la que se realizan las medidas experimentales del trabajo, y su posterior análisis.

Tabla 1

Unidades fotométricas y radiométricas. Elaboración propia.

UNIDADES			
RADIOMÉTRICAS		FOTOMÉTRICAS	
Término radiométrico	Unidades	Término fotométrico	Unidades
Flujo radiante	Wattios	Flujo luminoso	Lúmen
Intensidad radiante	Wattios/estereorradián	Intensidad luminosa	Candela (lúmen/estereorradián)
Irradiancia	Wattios/m ²	Iluminancia	Lux (lúmen/m ²)

2.3. NORMATIVA EUROPEA

Según la norma europea sobre la iluminación para interiores:

Las instalaciones de iluminación de las distintas dependencias que componen un centro educativo deben estar dotadas de sistemas que proporcionen un entorno visual confortable y suficiente [...].

Una buena iluminación proporciona a los estudiantes y profesores, un ambiente agradable y estimulante, un confort visual que les permite seguir su actividad sin demandar de ellos un sobreesfuerzo visual, reduciendo el cansancio provocado por una iluminación inadecuada.

En una instalación de alumbrado de un local destinado a un centro educativo, podemos encontrar una problemática específica, tal como:

- Luminarias que producen deslumbramientos directos o indirectos.
- Lámparas de temperatura de color y potencia inadecuada a la instalación, que tanto por defecto como por exceso, pueden hacer indescifrable la escritura realizada sobre un cuaderno escolar. El color de la luz emitida por las lámparas tiene también una gran importancia en el comportamiento de los alumnos y en su aprovechamiento escolar [...].

Estas y otras causas dan lugar a una mala iluminación, que no favorece a los alumnos, [...] lo que puede provocar fracaso escolar (Comité Europeo de Normalización, 2002, p.5).



Por su interés en el trabajo a continuación, se reproduce un extracto de la tabla de la Directiva de la que se obtendrán los valores referencia para compararlos con los experimentales.

EDIFICIOS EDUCATIVOS		
TIPO DE INTERIOR	LUX	OBSERVACIONES
Aulas, aulas de tutoría	300	La iluminación debería ser controlable
Pizarra	500	Deben evitarse las reflexiones especulares, el presentador/ profesor debe iluminarse con la iluminancia vertical adecuada

Tabla 2

Norma europea sobre iluminación para interiores. Elaboración propia.

3. HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Como ya se ha puesto de manifiesto, es absolutamente necesaria una correcta iluminación en cualquier ámbito, pero especialmente en el educativo. Una mala iluminación puede provocar mala calidad visual, problemas refractivos, y un incorrecto rendimiento académico.

Por estas razones, el objetivo de este trabajo es comprobar mediante medidas experimentales si un aula de un centro educativo público, IES Saavedra Fajardo de Murcia, efectivamente cumple con la norma europea sobre la iluminación para interiores.

La hipótesis de trabajo que se propone es que la iluminación dentro del aula es correcta y se cumplen las directivas europeas de iluminación en espacios cerrados, incluso en condiciones de ausencia de luz natural.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. LUXÓMETRO

Un luxómetro es un instrumento de medición que permite medir la iluminancia de un ambiente. La unidad de medida es el lux. Contiene una célula fotoeléctrica que capta la luz y la convierte en impulsos eléctricos, los cuales son interpretados y representados en una pantalla digital o aguja con la correspondiente escala de lux (Wikipedia, 2021).

4.2. PROTOCOLO DE MEDIDA

Se realizaron las medidas en dos condiciones bien definidas. Por un lado, medidas con luz artificial, que corresponde a las persianas del aula completamente bajadas y la iluminación se debe únicamente a las fuentes artificiales. La segunda condición corresponde a luz natural, y es la que describe el caso de luz proveniente de la radiación solar. Para llevar a cabo las mediciones, una persona,



siempre la misma, se sentó en la silla correspondiente a la mesa objeto de la medida, apoyando el luxómetro en el centro de la mesa.

El propósito inicial era discernir si con la medida sobre tres mesas escogidas al azar se podían obtener resultados concluyentes desde el punto de vista estadístico. Un sencillo análisis estadístico basado en el tanto por ciento de la dispersión de las medidas mostró la imposibilidad de medir únicamente tres mesas para obtener un valor representativo de la iluminancia del aula. El porcentaje de dispersión obtenido superó el 15% de error, mostrando la necesidad de aumentar la muestra para poder caracterizar correctamente la iluminación del aula. Se procedió a medir la totalidad de las mesas.

Para la medición de la pizarra se siguieron los mismos pasos, aunque esta vez se dividió la pizarra en 15 porciones equi-espaciadas (Imagen 2). La persona que medía tenía que sujetar el luxómetro en el punto de medición determinado de forma que no se hacía sombra al detector. Se procedió a la medida de todos los puntos seleccionados. Se llevó a cabo en dos casos distintos, una con la luz de la pizarra apagada, pero con luz del aula encendida y otra añadiendo la luz de la pizarra. Las dos mediciones se realizaron sin luz natural. En la primera se quería comprobar si era posible mantener la luz de la pizarra apagada para ahorrar en consumo de luz.

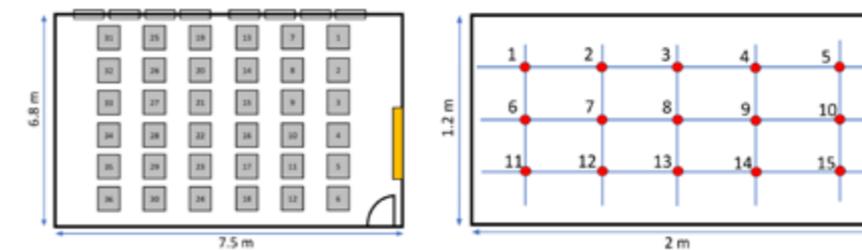
A continuación, se muestran unos esquemas de realización propia del aula, con la disposición de las mesas (divididas en 6 columnas y 6 filas), y la pizarra, con los puntos de medida (puntos rojos). El rectángulo amarillo dispuesto en la Imagen 1, corresponde a la disposición en el aula de la pizarra de la Imagen 2. Las ventanas se encuentran representadas como ocho rectángulos en la parte superior del croquis.

Imagen 1

(izq) Esquema del aula con mesas.

Imagen 2

(dcha) Esquema de la pizarra con puntos de medición.



5. RESULTADOS

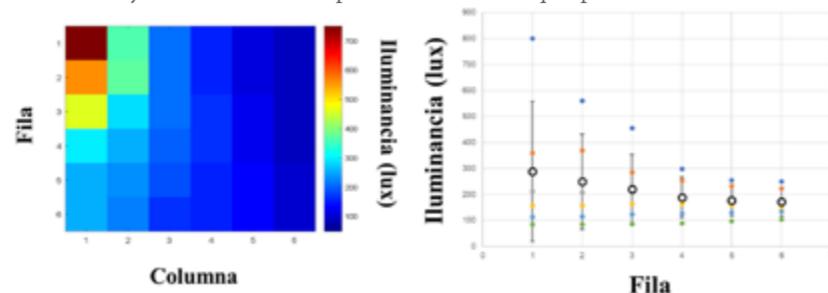
5.1. RESULTADOS OBTENIDOS EN AULA

5.1.1. LUZ NATURAL

La Imagen 3 muestra una distribución espacial de iluminancia en el aula respecto a la colocación de las mesas en filas y columnas, en el lado izquierdo de



la figura se encuentran las ventanas, apreciándose de esta forma un incremento de iluminación en esa zona. A simple vista se ve que la iluminación es muy heterogénea e insatisfactoria, dejando partes de la estancia prácticamente a oscuras. La mayoría de mesas no pasan los 300 lux que pide la Directiva.



En la Gráfica 1 el punto blanco indica la media de iluminancia correspondiente a la fila de mesas indicada. La barra de error muestra la desviación estándar también en cada fila. Los puntos de colores restantes representan las diferentes columnas de mesas. El azul oscuro corresponde a la primera columna, el naranja a la segunda, el gris a la tercera, el amarillo a la cuarta, el azul claro a la quinta y el verde a la sexta.

En este caso se puede observar que la cercanía a las ventanas es el principal factor de una buena iluminación, siendo la columna 1 la más cercana a las ventanas y la mejor iluminada, seguida por el resto de columnas según su número. Ninguna media de la iluminación por filas llega a los 300 lux.

5.1.2. LUZ ARTIFICIAL

La Imagen 4 muestra que, en esta medición, la posición de las ventanas (lado izquierdo) no afecta porque las persianas estaban bajadas y no entraba luz natural. La iluminación sigue siendo demasiado heterogénea, llegando a las esquinas apenas 100 lux, pero con alrededor de 450 lux en el centro de la clase. Además, se aprecia que en el centro del aula, el lado izquierdo está un poco más iluminado debido a elementos que están colgados del techo y dificultan la llegada de la luz a las mesas, como los ventiladores y las vigas. Muchas mesas siguen sin alcanzar los 300 lux que pide la Directiva.

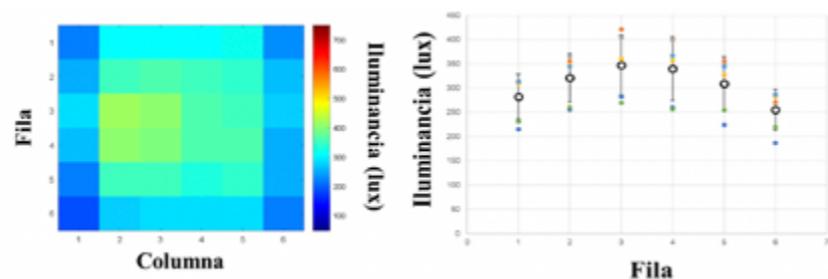


Imagen 3

(izq.) Distribución espacial de las mesas correspondiente al caso de luz natural.

Gráfica 1

(dcha.) Iluminancia por filas de mesas en aula correspondiente al caso de luz natural.

Imagen 4

(izq.) Distribución de las mesas correspondiente al caso de luz artificial.

Gráfica 2

(dcha.) Iluminancia por filas de mesas en aula correspondiente al caso de luz natural.

Imagen 5

(izq.) Distribución de las mesas correspondiente al caso de ambas luces.

Gráfica 3

(dcha.) Iluminancia por filas de mesas en aula correspondiente al caso de ambas luces.

En la Gráfica 2 se puede observar que la iluminación de las mesas ya no está condicionada por su orden ni por su cercanía a las ventanas. Vemos que los puntos azul claro, naranja y amarillo son los que están mejor iluminados en general, siendo las columnas 5, 2 y 4, respectivamente. Las medias de la iluminación de las filas llegan todas a los 300 lux, excepto las de las filas 1 y 6, las más alejadas de las fuentes de luz.

5.1.3. AMBAS LUCES

La Imagen 5 muestra una distribución de la luz asimétrica y heterogénea, como resultado de juntar los patrones de ambas luces. La columna 6 sigue el patrón de la luz artificial, ya que no se ve muy afectada por la luz natural que entra por las ventanas, que se encuentran justo en el lado contrario de la clase. El resto de filas están muy condicionadas por la luz natural, la cual podemos observar que incide en la clase de forma diagonal. En esta imagen también queda reflejado la diferencia entre algunos de los valores, la cual se hace más visual gracias a la escala de colores.

En la Gráfica 3 se observa que todas las mediciones superan el mínimo. Las mesas de la columna 6 superan los 300 lux por muy poco. En este caso, las mesas más iluminadas son las de la primera columna en las primeras tres filas porque son las que más luz reciben del exterior. A partir de la fila 4, las columnas más iluminadas son la segunda y la tercera, porque reciben algo de luz natural y la luz artificial incide en ellas directamente. Se observa como las medias van descendiendo a medida que nos alejamos de las ventanas.

5.2. RESULTADOS OBTENIDOS EN PIZARRA

5.2.1. LUZ AULA

En la Imagen 6 se muestra el caso de la medición de iluminancia de pizarra con las luces estándar del aula encendidas y las persianas bajadas. No se dio uso de las luces de pizarra. Se llevó a cabo de esta manera para comprobar si se puede ahorrar energía y tener suficiente iluminación sin necesidad de encender la iluminación extra de pizarra. Como se puede observar no se ha alcanzado el mínimo pedido en la normativa, que en este caso es 500 lux.

5.2.2. AMBAS LUCES

La Imagen 7 muestra el caso de la medición de iluminancia de pizarra haciendo uso de las luces de pizarra. Además, se mantuvieron las luces estándar del aula encendidas y las persianas bajadas. Analizando esta imagen observamos que la primera fila de puntos de medición cumple la normativa e incluso rebasa el mínimo de lux requeridos, en este caso 500. A su vez, la última fila junto con la fila céntrica no cumple la normativa. Encontramos que $\frac{2}{3}$ de la pizarra



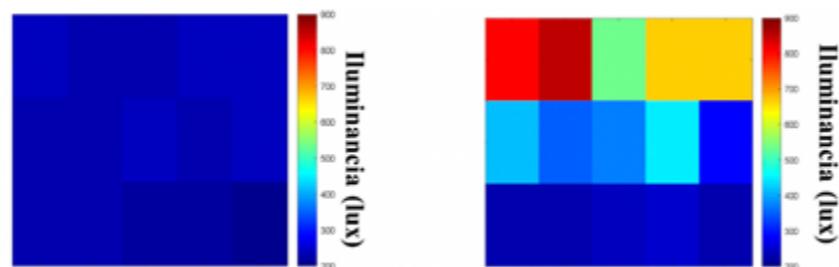
incluso con el máximo de luces artificiales poseídas encendidas, no cumplen la Directiva Europea.

Imagen 6

(izq.) Iluminación en pizarra con luz estándar.

Imagen 7

(dcha.) Iluminación en pizarra con ambas luces.



6. CONCLUSIONES

Tras analizar los resultados obtenidos se descarta la hipótesis inicial, que declaraba que las aulas estaban iluminadas correctamente. Se llega a la conclusión de que la iluminación, incluso con luz artificial, de las aulas de nuestro centro es insatisfactoria, ya que en la mayoría de los casos no se cumple la Directiva Europea.

El caso que sí cumple la normativa corresponde a iluminación simultánea natural y artificial en mesas de trabajo. Incluso en este supuesto, la iluminación es muy heterogénea, presentando un amplio rango de valores que va desde los 300 lux hasta los más de 800 lux, lo cual aleja la distribución de luz del caso ideal. Respecto a la iluminación en pizarras, se concluye que es deficiente. Ninguno de los casos consigue superar los valores mínimos requeridos según la Directiva (500 lux). Si se encendieran todas las luces que se poseen sigue sin ser suficiente para conseguir una iluminación satisfactoria.

Como propuestas de mejora de la iluminación se sugiere que en las clases se use siempre la luz artificial en combinación con la natural, ya que únicamente así se superan los valores mínimos exigidos. Para hacer más homogénea la iluminación y aumentar su eficiencia energética, se propone el cambio de distribución espacial de las fuentes de luz, así como la posibilidad de encendido selectivo. De esta manera se cumplirían los estándares de la Directiva Europea, incluyendo la reducción de la energía necesaria.

7. AGRADECIMIENTOS

Primeramente, queríamos agradecer a nuestros padres que nos apoyaron desde el primer momento en la decisión de entrar en la modalidad de investigación para nuestro bachillerato. Seguidamente, dar las gracias a nuestros tutores, Josua Fernández, María Dolores Gálvez y Virginia Verdú, tanto de la universidad como del instituto. Agradecer también al Proyecto IDIES por darnos la increíble oportunidad de llevar a cabo este proyecto.



BIBLIOGRAFÍA

- Comité Europeo de Normalización (2002), UNE 12464.1 Norma europea sobre la iluminación para interiores.
- Hart Jr., W. M. (1994), "Capítulo 13". Adler: Fisiología del ojo. Editado por William M. Hart, Jr. Mosby.
- Hecht, E. (2000), Óptica. Addison Wesley Iberoamericana.
- Flujo radiante (2019). En: Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Flujo_radiante&oldid=118921568. [Consultado: 05-04-2022].
- Flujo luminoso (2020). En: Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Flujo_luminoso&oldid=130071073. [Consultado: 05-04-2022].
- Luxómetro (2021). En: Wikipedia, la enciclopedia libre. <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=Lux%C3%B3metro&oldid=140349015> [Consultado: 01-04-2022]



¡Un pH-metro para mi cole!

/ ACCÉSIT

AUTORES | LARA CARRILLO VÁZQUEZ, IVÁN MARTÍNEZ HERNÁNDEZ
Y RAQUEL PÉREZ RUIZ

COORDINADORA | JOSEFA RUBIO CASCALES

CENTRO | IES ALCÁNTARA

CIUDAD | ALCANTARILLA-MURCIA

RESUMEN |

En el presente trabajo se pretende diseñar y construir un pHmetro para el laboratorio de Química, a bajo coste, utilizando la tecnología Arduino y comparar su eficacia frente a otros aparatos comerciales y, su complementación con los indicadores ácido-base en prácticas experimentales con estudiantes de Enseñanza Secundaria. Se plantean cuatro líneas de actuación: programación y ensamblado de los elementos necesarios de Arduino, diseño de la carcasa del aparato utilizando el programa TinkerCad y su impresión en 3D, validación y comparación de la medida de pH de 15 disoluciones realizada con nuestro pHmetro, con uno comercial de bolsillo y otro comercial de precisión y la combinación de la medida de pH con el pHmetro y los colores de los indicadores ácido-base caseros. Los resultados muestran que los estudiantes de Bachillerato son capaces de diseñar y construir un pHmetro capaz de medir con gran precisión y eficacia, comparativamente con los instrumentos que se venden en el mercado y, con un coste seis veces menor. Consideramos que este trabajo de investigación ha enriquecido el proceso de enseñanza-aprendizaje mediante la experimentación con Arduino teniendo la oportunidad de construir un prototipo que actúa como vector para fomentar la creatividad y desarrollar las habilidades y capacidades del estudiante. Este tipo de proyecto brinda la oportunidad de aportar soluciones tecnológicas para el laboratorio de enseñanza Secundaria.

Palabras clave: construir pH-metro, tecnología Arduino, Química, Bachillerato



ABSTRACT |

With the present work it is intended to design and create a low cost pHmeter for the chemistry laboratory using Arduino technology. Another objective is to compare its efficacy with other commercial devices and its complementation with acid-base indicators in experimental practices with Secondary School students. For lines of action are proposed: programming and assembly of the necessary elements of Arduino; design of the device housing using the TinkerCad software and its 3D printing; validation and comparison of the pH measurement of 15 solutions made with our pH meter, with a commercial pocket pH meter and a commercial precision pH meter; and combination of pH measurement with the pHmeter and the color that presents homemade acid-base indicators. The results show that high school students are capable of designing and constructing a pH meter that measures with high accuracy and efficiency, compared to the instruments sold on the market, and with a cost six times lower. We consider that this research work has enriched the teaching-learning process by means of experimentation with Arduino having the opportunity to build a prototype that acts as a vector to foster creativity and develop the student's creativity and skills. This type of project provides the opportunity to provide technological solutions for the secondary education laboratory.

Keywords: to build pH-meter, Arduino technology, Chemistry, Secondary Education



1. INTRODUCCIÓN

Los laboratorios de Centros de Enseñanza Secundaria cuentan con pocos materiales y equipos muy rudimentarios. Las dotaciones de estos se realizan al inicio de su existencia, por parte de la administración educativa y su mantenimiento e inversiones posteriores corre a cargo del propio Centro sin que existan partidas específicas. En el IES Alcántara existen dos Programas de mejora del aprendizaje en bachillerato en los que los estudiantes desarrollan trabajos y proyectos de investigación y de emprendimiento en las materias de Física y Química. Esto supone profundizar en aspectos científicos en los que se necesitan materiales y equipos de elevado coste. Tras analizar las carencias de equipos que tiene nuestro laboratorio de Física y Química y las librerías consultadas en la plataforma de Arduino, se decide acometer el reto de diseñar y construir un pHmetro para nuestro Centro educativo.

2. ANTECEDENTES

Por un lado, la tecnología Arduino consiste en un sistema de computación con la integración directa de las áreas de hardware y software para el diseño e implementación de soluciones. Arduino hoy representa una compañía de código y hardware abierto para facilitar el acceso y uso conjunto de la electrónica y computación para el desarrollo de sistemas (Jones, 2017). Al igual que una computadora convencional, una placa Arduino puede realizar una multitud de funciones, y requiere de entradas y/o salidas para un mayor valor de su uso (Nussey, 2013). Se trata de una placa programable bajo diferentes entornos (Linux, Windows y Macintosh) basada en un sencillo código informático que puede interactuar con numerosos sensores y actuadores tanto de naturaleza analógica como digital (Ruiz, 2016). Su bajo coste y la naturaleza Open Source de su hardware y software han propiciado la aparición de una gran comunidad de usuarios que fomentan el intercambio de ideas y conocimiento. Esto contribuye a que los estudiantes pierdan el miedo a la experimentación, sean autodidactas y se atrevan a realizar proyectos que den respuesta a necesidades reales.

Por otro lado, los instrumentos de medida son esenciales en un laboratorio, ya que hacen posible realizar experimentos, prácticas e investigaciones, además de servir para la docencia, pues este lugar a menudo es también utilizado como aula de aprendizaje. Generalmente, las prácticas de laboratorio que plantea el docente atienden al material del que dispone en su laboratorio, siendo la mayoría de ellas de tipo cualitativo y menos de tipo cuantitativo. Durante los últimos 10 años en el IES Alcántara se han desarrollado una gran cantidad de trabajos de investigación de Ciencias experimentales en los que se hace necesario el uso de instrumental sofisticado y que, en muchos casos, no se dispone de él, y se ha tenido que solicitar a otros Organismos de investigación (Universidad, CEBAS, entre otros).



3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo trata sobre el diseño, control y construcción de un aparato, de medida de pH, para el laboratorio de Química, de bajo coste. Se pretende conseguir tres finalidades u objetivos generales:

- Que un estudiante de Bachillerato sea capaz de diseñar y construir un aparato de medida, a bajo coste, útil para el laboratorio de Química.
- Comparar el aparato construido con otros aparatos comerciales.
- Complementar las prácticas ácido-base realizadas con indicadores caseros, con el pH-metro.

Con este proyecto se pretende contribuir y desarrollar los ODS 4, 5, 9 y 10. El trabajo se desarrolla en grupo de 3 estudiantes con reparto de tareas, atendiendo a la habilidades y motivaciones que presenta cada uno.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Se realiza el reparto de tareas entre los estudiantes (tabla 1).

Tabla 1

Reparto de tareas entre los estudiantes del proyecto.

TAREA	ESTUDIANTE
Montaje de la placa Arduino, sus componentes y programación	Iván Martínez
Búsqueda bibliográfica y desarrollo de los contenidos de Química referidos a ácidos, bases y pH	Lara Carrillo y Raquel Pérez
Diseño de la parte experimental de las disoluciones patrón y extracto de la col lombarda	Lara Carrillo
Diseño e impresión en 3D	Iván Martínez y Raquel Pérez

4.1. MONTAJE DEL PHMETRO CON LA TECNOLOGÍA ARDUINO

Uno de los estudiantes del equipo, conoce la tecnología Arduino porque hace unos años le interesó este tipo de contenidos y su programación. Ha aprendido de forma autodidacta mediante videotutoriales y compartiendo lo aprendido con otros compañeros que tienen sus mismos intereses. El material necesario se muestra en la tabla 2.

Tabla 2

Material necesario correspondiente a la tecnología Arduino.

MATERIAL TECNOLOGÍA ARDUINO	
placa ARDUINO UNO	Interruptor
cable dupont macho-macho	Pila de 9 V
pantalla LCD 1602	Altavoz
placa protoboard	Conector pila 9
sensor de pH	Soldador e hilo de estaño
La programación para la placa ha sido obtenida de las librerías existentes en internet y ha sido adaptada a nuestro caso particular.	Ordenador portátil para programar la placa Arduino



4.2. DISEÑO E IMPRESIÓN 3D DE LA CARCASA DEL PHMETRO

Para el diseño de la carcasa del pHmetro se decide utilizar el software TinkerCad porque es una sencilla aplicación en línea de diseño e impresión en 3D para todos, creado por la empresa Autodesk. La interfaz de trabajo es simple y muy atractiva inicialmente, si bien una vez dominados los conceptos básicos carece de herramientas para llegar a diseños complejos. Sus ventajas son: es sencillo de usar, su aspecto es atractivo y con unas pocas horas de entrenamiento podemos adquirir mucha destreza en su uso. Como desventaja podríamos señalar que es necesario tener una cuenta de correo para darse de alta como usuario y que sólo posee una versión online, por lo que hace falta conexión a internet. Para aprender a utilizar esta aplicación existen gran variedad de videotutoriales en español.

Una vez consensuado el diseño, se procede a su impresión 3D, en una impresora que tiene nuestro Centro educativo. Para poder realizar el diseño de piezas que se desee imprimir en 3D se requiere de algún software CAD (diseño asistido por computadora), de los cuales se encuentra TinkerCad, entre otros.

La impresora a utilizar inyecta polímeros. Esta funde el plástico construyendo con él capas muy finas sobrepuestas para crear el objeto. Estos materiales admiten el pulido posterior de la pieza.

Una vez obtenida la carcasa se procede al pintado, montaje y ensamblado de todos los componentes, comprobando que todo queda perfectamente ajustado.

La carcasa se pinta con pintura acrílica en spray, de color negro y, en color, algunos detalles exteriores.

4.3. PREPARACIÓN DE DISOLUCIONES PATRÓN CON PH CONOCIDO Y MEDIDA CON PHMETRO.

Para utilizar el pHmetro construido se preparan disoluciones patrón de pH conocido teóricamente. La medida también se realiza con un pHmetro de bolsillo comercial que tenemos en el laboratorio de Química y con un pHmetro prestado por la Facultad de Química de la Universidad de Murcia. El material necesario se muestra en la tabla 3.

Tabla 3

Material necesario correspondiente al laboratorio de Química.

MATERIAL	EQUIPOS	REACTIVOS
<ul style="list-style-type: none"> Vasos de precipitados Matraz Erlenmeyer Varillas de vidrio Guantes descartables Bureta Pipetas con pipeteador Soporte con pinzas Gafas de seguridad Imán Matraz aforado 	<ul style="list-style-type: none"> Balanza analítica con sensibilidad 0,01 g. Placa con agitador magnético pHmetro Arduino construido pHmetro Crisol de la UMU pHmetro de bolsillo 	<ul style="list-style-type: none"> Ácido clorhídrico 37% (d=1,19 g/mL) NaOH (s) Fenolftaleína 0,1% Ftalato ácido de potasio Agua destilada

Se preparan 15 disoluciones, desde pH=0 hasta pH=14. Para ello se utiliza HCl concentrado para la serie ácida (pH=0-6), agua destilada (pH=7) y NaOH para la serie básica (pH=8-14). La estandarización del NaOH se realiza con ftalato ácido de potasio y como indicador de la valoración se emplea fenolftaleína. Para el HCl se utiliza Na₂CO₃ y, como indicadores de la valoración se emplean fenolftaleína y naranja de metilo.

En todas las disoluciones preparadas se mide el pH con el pHmetro construido, con el bolsillo comercial y con el prestado por la UMU. Se ponen 25 ml de cada una de las disoluciones en un vaso de precipitados de 100 ml, con agitador magnético para su homogeneización.

4.4. ASIGNACIÓN DE LA MEDIDA DEL PH CON EL COLOR DEL INDICADOR ÁCIDO-BASE CASERO

Las prácticas realizadas en nuestro Centro en algunos contenidos de ácido-base, se han llevado a cabo con un indicador casero. Su extracto se utiliza como indicador ácido-base por presentar un amplio abanico de colores según el pH de la muestra a analizar, frente a indicadores ácido-base artificiales que solo presentan dos colores y, se suelen emplear para realización de valoraciones y no para medida de pH. El material necesario se muestra en la tabla 4.

Tabla 4

Material utilizado para la preparación y utilización del extracto del indicador casero.

MATERIAL	EQUIPOS/APPS	REACTIVOS
<ul style="list-style-type: none"> Vasos de precipitados Varilla de vidrio Guantes descartables Embudo Papel de filtro Soporte con pinzas Tubos de ensayo con gradilla 	<ul style="list-style-type: none"> Balanza analítica con sensibilidad 0,01 g. Placa calefactora Color Grab para Andtoid 	<ul style="list-style-type: none"> Col lombarda Agua destilada Agua mineral (del grifo) Etanol Acetona



El procedimiento a seguir ha sido el siguiente:

1º. Obtención del extracto de la col lombarda. Para ello en 1 litro de disolvente, y sin llegar a ebullición, se calienta y se ponen 3-4 hojas de la col (80 g). Después se filtra y se utiliza la disolución acuosa. Se utilizan los disolventes siguientes: agua destilada, agua del grifo, etanol y acetona.

2º. En 15 tubos de ensayo se ponen 10 ml del extracto de col de lombarda a los que se les va adicionando 3 ml de las disoluciones patrón preparadas anteriormente, de pH conocido. El color que muestra cada disolución es registrado mediante una aplicación del teléfono móvil denominada "Color Grab" (para Android) y "Color análisis" (para IOS). Color Grab, es una aplicación Android que usa la cámara del dispositivo para analizar, a tiempo real, las imágenes captadas e identificar los colores. Permite a través de los dispositivos Android 2.2. o superior localizar el color de cualquier objeto que esté siendo enfocado por la cámara. Para ello debemos abrir la aplicación, enfocar el objeto deseado y obtendremos el color del objeto y su definición RGB.

5. RESULTADOS

5.1. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PHMETRO CON LA TECNOLOGÍA ARDUINO

Los estudiantes han diseñado y construido un aparato que mide el pH de forma satisfactoria. En la figura 1 se muestra el proceso seguido.



Para el diseño de la carcasa se toma medida de todas las piezas. Se tiene especial cuidado con la escala utilizada en TinkerCad. Una vez diseñada la carcasa se pasa a la impresora 3D y se imprime. Después se procede a pintar las piezas (Figura 2 y 3).



Imagen 6

Esquema del proceso seguido para la construcción del pHmetro.

Figura 2

Diseño de la carcasa con TinkerCad y su impresión en 3D.

Figura 3

Ensamblado de todas las piezas y aparato final construido.



El coste total del pHmetro construido es de 100 € y tiene características semejantes al pHmetro comercial de coste 667 € aproximadamente.

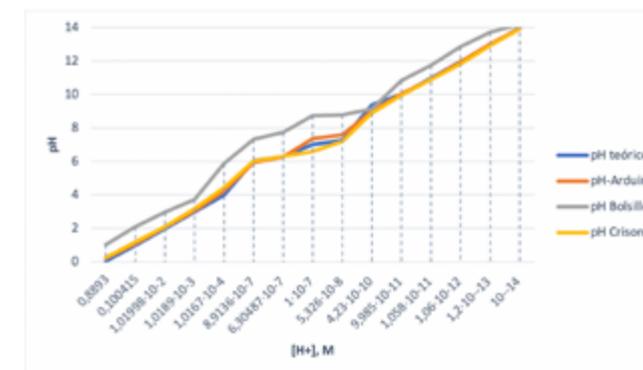
5.2. MEDIDA DEL PH

Para la toma de datos se realiza la medida y lectura del pH de las 15 disoluciones patrón preparadas y estandarizadas a diferente concentración utilizando el pHmetro construido, el de bolsillo y el de la UMU.

Se enciende el pHmetro y funciona correctamente. Los resultados obtenidos se muestran en el gráfico 1.

Gráfico 1

Comparativa en la medida de pH, de las diferentes disoluciones patrón elaboradas entre distintos pHmetros



Se puede observar que las medidas realizadas con el pHmetro fabricado se aproximan más a los valores teóricos y, los medidos con el pHmetro comercial de precisión crison, que con el pHmetro de bolsillo.

5.3. PH Y COLOR DEL INDICADOR ÁCIDO-BASE CASERO

La adición del extracto de lombarda a cada una de las 15 disoluciones preparadas, de pH conocido, nos da una gama de colores. Se registra el color de cada



una de ellas con la aplicación del teléfono móvil “Color Grab”. El extracto obtenido en agua destilada presenta un color morado (RGB 115,62,130) y, en agua del grifo presenta un color azul (RGB 49,92,132). El análisis de los colores obtenidos mediante la aplicación “Color Grab” de muestra en la tabla 5.

Tabla 5

Relación entre la medida de pH y el color del indicador casero, col lombarda, utilizando color grab.

pH teórico	AGUA DESTILADA			AGUA DEL GRIFO			Color visible	Color visible
	R	G	B	R	G	B		
0,05	165	3	3	165	1	4	0	0
0,998	196	11	11	211	10	30	1	1
1,9914	168	6	44	150	84	135	2	2
2,9918	147	60	133	90	105	153	3	3
3,9928	109	52	119	56	95	140	4	4
6,0499	111	58	127	56	98	140	5	5
6,30487	121	68	135	57	97	137	6	6
7	115	62	130	49	92	132	7	7
7,273599	104	46	119	53	94	130	8,5	8,5
9,374	105	51	117	44	97	140	9,4	9,4
10,00065	110	67	130	37	97	140	10,3	10,3
10,9755	21	65	94	75	145	143	11,2	11,2
11,9747	11	48	17	23	130	50	12,1	12,1
12,91777	147	112	5	148	150	16	13	13
14	183	113	1	196	169	37	14	14

Se puede observar que a simple vista solo se aprecian las diferencias en la coloración a pH muy ácido (entre 0 y 3) y muy básico (entre 10 y 14). La zona intermedia (entre 3 y 10) resulta complicado diferenciar la coloración del extracto de la col lombarda. Con la aplicación “Color Grab” sí se podría hacer esta diferenciación, aunque existe un problema, habría que obtener los colores patrón cada vez que se hagan medidas y el extracto de la col es perecedero.

6. CONCLUSIONES

A continuación, se presentan las conclusiones, tras el análisis de los resultados, divididas en los tres aspectos (objetivos generales) sobre los que versa este trabajo de investigación.

6.1. DISEÑO, CONSTRUCCIÓN, PROGRAMACIÓN Y CONTROL DEL PHMETRO

En este proyecto se ha partido de un prototipo de pHmetro y se ha afrontado la tarea de diseñar e implementar un sistema de control capaz de medir el pH de una disolución, de forma óptima, por parte de estudiantes de bachillerato y, de forma autodidacta. Se ha llegado a un sistema electrónico de motorización



y lógica de control que cumple con los requisitos funcionales adaptados a la estructura del prototipo. Se ha comprobado que el uso de Arduino está al alcance de estudiantes de bachillerato y el pHmetro tiene un coste bajo.

6.2. COMPARAR LAS MEDIDAS TOMADAS EN LOS DIFERENTES PHMETROS

Los resultados obtenidos avalan que el pHmetro construido con Arduino es capaz de medir con gran precisión y eficacia comparativamente con los instrumentos que se venden en el mercado, con un coste superior a más de seis veces el que nosotros hemos invertido. El pHmetro de bolsillo es de menor coste, pero su precisión no es muy buena. Suelen utilizarse para medidas que oscilen entre rangos de pH y no necesiten ser muy precisas.

6.3. COMPLEMENTAR LAS PRÁCTICAS ÁCIDO-BASE REALIZADAS CON INDICADORES CASEROS.

El uso de indicadores caseros para medir el pH de diferentes muestras siempre se había realizado de forma aproximada en nuestro Centro. A partir de ahora se puede complementar midiendo el pH de disoluciones patrón utilizadas.

6.4. REPARTO DE TAREAS Y TRABAJO EN EQUIPO

Las tareas han sido variadas ya que por un lado ha habido que conocer y saber programación en Arduino, montaje eléctrico y electrónico, funcionamiento de un electrodo de pH, qué son sustancias ácidas y básicas y cómo se distinguen por la medida de su pH, diferentes formas de medir el pH según la técnica y el instrumento empleado.

Ha habido un reparto equitativo entre los miembros de grupo y cada uno ha cumplido con las tareas asignadas de tal forma que se ha obtenido el producto final en tiempo y forma.

6.5. CONTRIBUCIÓN A LOS ODS

Con este proyecto consideramos que hemos desarrollado los ODS 4, 5, 9 y 10.

ODS 4. La tecnología Arduino y el software TinkerCad están a disposición de cualquier persona, existiendo multitud de librerías y personas que comparten la programación. También disminuye la brecha digital.

ODS 5. Promover que las mujeres y las niñas lideren y participen en la planificación y la toma de decisiones. Nuestro grupo está formado por 3 personas; un chico y dos chicas en las que se ha establecido un reparto de tareas basado en los intereses, motivaciones y habilidades de cada uno, independientemente de su género. Cada estudiante ha liderado en su parte y ha habido reuniones periódicas para consensuar cualquier decisión. Esto se logra promoviendo un



ambiente de respeto y aceptación, en el que todos los miembros se sientan cómodos expresando su opinión.

ODS 9. Se contribuye al proporcionar los suministros adecuados para que los estudiantes puedan realizar sus experimentos con seguridad y eficiencia. Al permitir a los estudiantes explorar nuevas formas de diseño y tecnología se les prepara para convertirse en profesionales de la industria con las habilidades necesarias para construir infraestructuras duraderas y sostenibles. Además, proporcionar los recursos adecuados para el laboratorio de la escuela también servirá como una inversión a largo plazo en el futuro de la industria, ya que los estudiantes tendrán la oportunidad de aplicar los conocimientos adquiridos en el laboratorio en proyectos de infraestructura a gran escala.

ODS 10. La contribución al ODS de reducción de desigualdades mediante la construcción de aparatos para el laboratorio de la escuela es una forma efectiva de abordar la desigualdad educativa. Muchos estudiantes en todo el mundo carecen de los recursos necesarios para participar en clases especializadas, como las de laboratorio. La construcción de aparatos para el laboratorio de la escuela es una forma de proporcionar a estos estudiantes los recursos necesarios para aprender, mejorar sus habilidades y obtener un mejor futuro.

Este tipo de proyecto brinda la oportunidad de aportar soluciones tecnológicas para el laboratorio de enseñanza Secundaria.

La combinación de medida de pH con el pHmetro y utilizando indicadores ácido-base pone de manifiesto dos situaciones reales: medir con precisión o medir de forma aproximada.



BIBLIOGRAFÍA

- Arduino Chile, Plataforma Open Source para el desarrollo de prototipos electrónicos, (en línea), <https://www.arduino.cl>. Acceso: 19 de junio (2022)
- Caamaño, A. (2005). *Trabajos prácticos investigativos en química en relación con el modelo atómico-molecular de la materia, planificados mediante un diálogo estructurado entre profesor y estudiantes*. Educación química, 16(1), 10-19.
- Casas M., Castillo Daza, J.A., Noy Hilarión, H.J, Palomares Parada, J.M., Rodríguez Valbuena, A.N. y Rubi L., (2009). *Elaboración de papel indicador a base de extractos naturales: una alternativa fundamentada en experiencias de laboratorio para el aprendizaje del concepto de pH*. Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias. E-ISSN: 1697-011X. revista@apac-eureka.org url=<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92012978009>
- Gómez Moreno, C.A.; Castillo Solís, A. y Gómez Meoño, A. (2015). "Arduino como una herramienta para mejorar el proceso de enseñanza -aprendizaje de las ciencias, tecnologías e ingenierías en la universidad politécnica de Tapachula". Institución Universitaria Salazar y Herrera. Quid nº 24, pp. 13-20, Medellín-Colombia. ISSN: 1692-343X
- Insausti, M.J y Merino, M. (2000). *Una propuesta para el aprendizaje de contenidos procedimentales en el laboratorio de física y química*. Investigações em Ensino de Ciências, 5(2), pp. 93-119.
- Jones, D. (2017). "Arduino: Simple and Effective Strategies to Learn Arduino Programming". Create Space Independent Publishing Platform, (Volume 3), 3ª edición, ISBN: 197577762X
- Madushan, R., Vidanarachchi, J.K., Prasanna P.H.P, Werellagama, S., Priyahantha, H., (2021). *Use of natural plant extracts as a novel microbiological quality indicator in raw milk: An alternative for resazurin dye reduction method*. LWT - Food Science and Technology 144 (2021) 11122. www.elsevier.com/locate/lwt
- Nussey, J. (2013). "Arduino For Dummies". ISBN: 1118446372
- Ruiz Corres, D. (2016). "Estudio sobre la implantación de la herramienta Arduino en Centro de Formación Profesional". Trabajo fin de máster.
- Vidal-Silva, C.; Lineros, M.I.; Uribe, G.E. y Olmos, C. J. (2019). "Electrónica para Todos con el Uso de Arduino: Experiencias Positivas en la Implementación de Soluciones Hardware-Software". Revista Información tecnológica Vol. 30(6), 377-386 (2019) <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642019000600377>



POMPAS... MÁS QUE UN ENTRETENIMIENTO

/ ACCÉSIT

AUTORA | PAULA GÓMEZ RAMÍREZ

COORDINADOR | ANICET BERNABÉ COSIALLS MANONELLES

CENTRO | INSTITUT GUINDÀVOLS

CIUDAD | LLEIDA

RESUMEN |

En este trabajo se profundiza en el mundo de las burbujas desde la perspectiva científica. Tratando disciplinas como la química, la física, las matemáticas, la biología, la tecnología.

El trabajo se divide en dos partes: una teórica y otra práctica. En la parte teórica, se explica científicamente una gran diversidad de fenómenos que intervienen en la formación de burbujas, por ejemplo, la tensión superficial o la teoría de las interferencias. Dentro del marco de esta parte, se realizó también un breve estudio de género sobre Agnes Pockels, una científica que fue pionera en el estudio de la tensión superficial en las aguas contaminadas. Sus estudios sirvieron, entre otras cosas, para entender la existencia de las pompas de jabón.

Por otra parte, encontramos la parte práctica del trabajo donde se experimenta con todos aquellos aspectos teóricos tratados en la primera. Se llevan a cabo desde demostraciones, experimentaciones que nos permiten relacionar diferentes fenómenos presentes en las burbujas. Se estudian las características de las pompas y se realizan observaciones propias, así como se profundiza en cuestiones que habían surgido a lo largo del trabajo teórico. Además, extrapolamos la ciencia de las burbujas de jabón a otros ámbitos como la nanotecnología o la arquitectura.



ABSTRACT |

This work delves into the world of bubbles from a scientific perspective. Treating disciplines such as chemistry, physics, mathematics, biology, technology.

The essay is divided into two parts: theoretical and practical. In the theoretical part, a great diversity of phenomena that intervene in the formation of bubbles is scientifically explained, for example, surface tension or the theory of interferences. Within the framework of this part, a brief gender study was also carried out on Agnes Pockels, a scientist who was a pioneer in the study of surface tension in polluted waters. His studies served, among other things, to understand the existence of soap bubbles.

On the other hand, we find the practical part of the work where all those theoretical aspects treated in the first one are experimented with. They are carried out from demonstrations, and experiments that allow us to relate different phenomena present in the bubbles. The characteristics of the bubbles are studied; observations are made as well as questions that have arisen throughout the theoretical work are deepened. Also, we extrapolated the science of soap bubbles to other fields such as nanotechnology or architecture.



1. ANTECEDENTES

El estudio de la tensión superficial en aguas contaminadas fue iniciado por Agnes Pockels en el 1884. Con tan solo 18 años de edad. Agnes describió y midió la disminución de la tensión superficial del agua en la presencia de detergentes o lípidos. Podemos ver los resultados obtenidos por Agnes Pockels en el artículo de la revista *Nature* vol. 43, pp. 437-439 (1891) publicado a través de Lord Rayleigh (Pockels, 1891). Campo en el que más profundizaron científicos como Irving Langmuir. El trabajo de Joseph A. F. Plateau que desarrolló a lo largo de toda su vida. El trabajo de Plateau pretendía establecer las leyes que rigen las figuras geométricas en la espuma jabonosa, así como la forma en la que intersecan las películas jabonosas (Plateau, 1873). Destacar también el trabajo de Richard Courant y Herbert Robbins sobre la geometría de las pompas de jabón, a la cual dedican casi un capítulo entero de su famoso libro *¿Qué es la Matemática?* (1941) (Courant & Robbins, 1979). Finalmente, el extenso trabajo llevado a cabo por C. V. Boys en *Pompas de jabón: sus colores y las fuerzas que las moldean* (Boys, 1911).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Este es un trabajo de investigación teórica y experimental, de segundo curso de bachillerato realizado entre junio de 2022 y enero de 2023 con un enfoque teórico y experimental.

A lo largo del trabajo se usaron el programa Tracker (Douglas Brown, s.f.) para medir distancias a través de fotografías y una báscula de precisión $\pm 0,01$ g.

Para los distintos cálculos de la tensión superficial, se usaron tubos capilares y un dispositivo en forma de U (para medir la tensión superficial en función del trabajo realizado) (Figura 1). También se observó la relación entre el radio de un capilar y la altura a la que llega el líquido en él. Se demostró además la relación entre la tensión superficial y la temperatura.

La fabricación de jabón casero implicó la mezcla de 400 g sosa cáustica, 1 L de agua y 1 L de aceite reciclado. Se comparó su tensión superficial con la del detergente usando el método capilar.

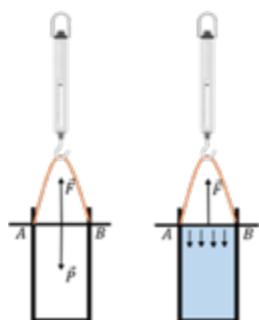


Figura 1

Dispositivo en forma de U para medir la tensión superficial



Se estudió cualitativamente la importancia del surfactante pulmonar se dispusieron en una masa diez guantes situados al azar, cinco de los cuales contenían agua con detergente y cinco que sólo contenían agua. Se trataron de inflar los guantes con el mismo número de insuflaciones y se en dos grupos según si la fuerza realizada era mayor o menor.

La diferencia de presión en pompas de jabón se midió mediante un sensor BME280 conectado a una placa Arduino y un manómetro, comparando los resultados con la fórmula de Laplace ($\Delta P = \frac{4\sigma}{r}$).

Se usaron también las pompas de jabón para solucionar los problemas de Steiner en 2D y 3D. Para ello se construyeron dispositivos consistentes en dos láminas de metacrilato separadas por tornillos. Se introducía el dispositivo en solución jabonosa y se sacaba para obtener el recorrido mínimo entre los puntos del plano (tornillos). Se construyeron también marcos en 3D con cable reciclado y se repitió el proceso. Se fabricó también un dispositivo de metacrilato donde las láminas estaban a una distancia menor de 1 cm. Se introdujo un borde en la solución jabonosa y con una pajita se sopló para teselar el espacio con pompas. Finalmente, se produjeron pares de aros de diferentes radios. Con estos se realizaron dos observaciones: la formación y colapso de los catenoides y como la tensión superficial minimiza el área una superficie jabonosa.

Para encapsular hidrogeno en las burbujas, se realizó la electrolisis del agua. Se conectó al recipiente una manguera para poder bombear el hidrogeno y oxígeno obtenidos a una bandeja con solución jabonosa, con la finalidad de crear pompas que encapsulasen estos gases.

Se crearon también antiburbujas. Se prepararon dos disoluciones jabonosas con la misma concentración de detergente (1 gota por cada 10 mL), a la segunda, se le añadió colorante alimentario. Con la ayuda de una pajita, se pipeteo una gota de la disolución colorada y se dejó caer sobre la no clorada.

En todo el trabajo de investigación se ha usado la misma disolución jabonosa, compuesta por un 50% agua, 40% de detergente y 10% de glicerina. Se excluirán todos aquellos valores que presenten un error relativo de más del 10%.

3. RESULTADOS

3.1. DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DEL ESPESOR

Determinamos el espesor de una pompa de jabón a través de la siguiente ecuación:

$$\rho = \frac{m}{v} \rightarrow \rho = \frac{m}{\frac{4\pi r^2}{2} \times \text{espesor}} \rightarrow \text{espesor} = \frac{m}{\frac{4\pi r^2}{2} \times \rho}$$



Determinamos la densidad de la disolución (ρ), la masa de la pompa (m) y el radio (r), obteniendo $\rho = \frac{m}{v} = \frac{21,15}{20,00} = 1,06 \frac{g}{ml}$

Calculamos el espesor:

MEDIDAS	MASA (G)	ÁREA (MM ²)	ESPESOR (MM)
1	0,06	28532	$2,0 \times 10^{-3}$
2	0,06	24367	$2,3 \times 10^{-3}$
3	0,07	28760	$2,3 \times 10^{-3}$
4	0,06	27676	$2,0 \times 10^{-3}$
5	0,07	30351	$2,2 \times 10^{-3}$
6	0,06	26423	$2,1 \times 10^{-3}$
		$m \pm ds$	$(2,2 \pm 0,1) \times 10^{-3}$

Tabla 1

Calculo del espesor.

3.2. DETERMINACIÓN DE LA TENSIÓN SUPERFICIAL

3.2.1. POR ACCIÓN CAPILAR

Usando la ecuación $\sigma = \frac{hgr}{2 \cos \theta} \approx \frac{hgr}{2}$ donde σ es la tensión superficial, h la altura del líquido en el capilar, g la gravedad y θ el ángulo del menisco, que podemos aproximar a 0. Se obtuvieron los siguientes resultados:

RADIO DEL CAPILAR (CM)	ALTURA (CM) M ± DS	TENSIÓN SUPERFICIAL (DIN/CM) M ± DS
0,0265	$5,45 \pm 0,43$	$70,8 \pm 5,5$
0,0290	$4,88 \pm 0,23$	$69,3 \pm 3,2$
0,0505	$2,75 \pm 0,21$	$68,1 \pm 5,2$
0,0600	$2,26 \pm 0,09$	$66,3 \pm 2,8$
		$68,6 \pm 14,5$

Tabla 2

Calculo de la tensión superficial del agua con capilares de diferente radio a 29°.

La tensión superficial del agua jabonosa se calculó utilizando un solo tubo capilar:

RADIO (M)	MEDIDA	ALTURA (M)	σ (DINA/CM)
0,0600	1	1,1	32,7
	2	1,15	33,9
	3	1,02	30,0
	4	1,05	31,0
	5	1,12	32,9
	6	1,10	32,5
	7	1,00	29,3
$m \pm sd$		$1,08 \pm 0,0574$	$31,8 \pm 1,69$

Tabla 2

Calculo de la tensión superficial del agua jabonosa a 29°.



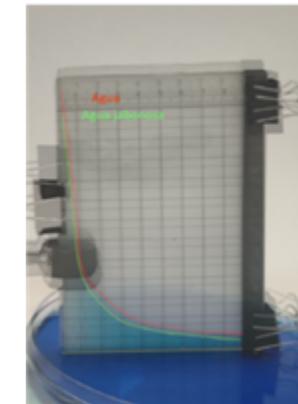
En el análisis de la presencia de tensioactivo en la disolución, se observó que reduce la tensión superficial del agua a más de la mitad. Sin embargo, se señala que el cálculo de la tensión superficial del agua puede tener un error elevado debido a posibles errores de medición o a la variación de las fuerzas de adhesión en función del radio del capilar.

En el análisis de la presencia de tensioactivo en la disolución, se observó que reduce la tensión superficial del agua a más de la mitad. Sin embargo, se señala que el cálculo de la tensión superficial del agua puede tener un error elevado debido a posibles errores de medición o a la variación de las fuerzas de adhesión en función del radio del capilar.

La tabla 3 muestra que la altura alcanzada por un líquido en un capilar varía con el radio. Para una mejor visualización de este fenómeno, se utilizó una cuña capilar y se confirmó que la relación altura-radio seguía un patrón de decrecimiento hiperbólico (Figura 2).

Figura 2

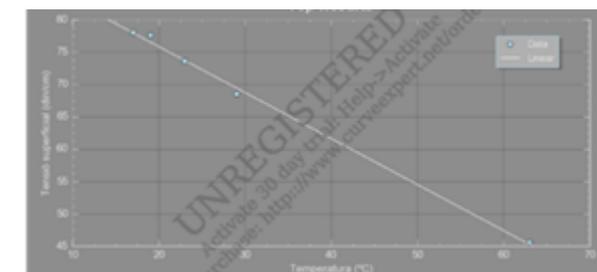
Decrecimiento hiperbólico de la altura de un líquido en un capilar



Además, se llevó a cabo un experimento para examinar la variación de la tensión superficial en relación con la temperatura del agua, concluyendo que ambas son inversamente proporcionales (Figura 3).

Figura 2

Decrecimiento hiperbólico de la altura de un líquido en un capilar





3.2.2. UTILIZANDO EL TRABAJO REALIZADO

Mediante la ecuación $W=\sigma A$ se pudo establecer una relación entre el trabajo realizado y la tensión superficial. Midiendo la fuerza la diferencia de fuerza necesaria para desplazar la barra móvil del dispositivo en forma de U con y sin lamina jabonosa obtenemos:

$$W=\sigma A \rightarrow Fx=\sigma xy \rightarrow \sigma = \frac{f}{y} = \frac{F_{\text{test}}-P}{y} = \frac{0,058-0,054}{9,0 \times 10^{-2}} = 0,044 \frac{N}{m^2} = 44 \frac{\text{din}}{\text{cm}}$$

donde y es la longitud de la barra móvil.

Las fuerzas con las que trabajamos son muy pequeñas y, por lo tanto, se pueden haber realizado errores fácilmente. No obstante, vemos que la tensión para el agua jabonosa sigue siendo menor que la del agua ($68,6 \pm 14,5$) din/cm.

3.3. A EFICACIA DEL JABÓN CASERO COMO TENSIOACTIVO

En primer lugar, se elaboró jabón casero utilizando aceite reciclado de cocina, un importante contaminante que puede afectar tanto a las aguas superficiales como subterráneas. La mala gestión de este aceite conlleva la absorción de sustancias neurodegenerativas y cancerígenas por parte de plantas y animales, incluyendo a los seres humanos. La fabricación de jabón a partir de este aceite reciclado contribuye a minimizar su impacto ambiental.

La tensión superficial del jabón casero se calculó utilizando el método capilar, con 1 g de jabón en 25 mL de agua, resultando en un valor de $(35,1 \pm 0,3)$ din/cm. Este valor es notablemente similar al obtenido con el detergente comercial ($31,8 \pm 1,69$) din/cm. Se destaca que la tensión superficial del jabón casero es aproximadamente diez veces más efectiva que la del detergente pulmonar, aunque para una comparación rigurosa sería necesario conocer la concentración de tensioactivo en el detergente.

3.4. IMPORTANCIA DEL SURFACTANTE PULMONAR

Se llevó a cabo un experimento cualitativo en el que se clasificaron las muestras en dos grupos según la fuerza necesaria para inflar los guantes. El 100% de los guantes sin detergente fueron catalogados como más difíciles de inflar, mientras que el 100% de aquellos con detergente se clasificaron en el grupo de más fáciles de inflar. Desde un enfoque cualitativo, se puede confirmar que un recién nacido sin la capacidad de producir surfactante pulmonar (tensioactivo) experimentará dificultades adicionales para inflar sus pulmones por primera vez. Esto se debe a que la tensión superficial actúa como un agente adherente entre las paredes de los alvéolos.



3.5. DIFERENCIA DE PRESIÓN EN UNA POMPA

3.5.1. UTILIZANDO UN SENSOR AMBIENTAL

Se recogieron las medias de la presión interior (P_{int}) y atmosférica (P_{atm}). Obteniendo una diferencia entre ellas de 10,69 Pa. Sabiendo la tensión superficial del agua jabonosa y el radio de la pompa podemos calcular la diferencia de presión teórica mediante la ecuación de Laplace:

$$\Delta P = \frac{4\sigma}{r} = \frac{4 \times 0,0318}{0,090} = 2,8 Pa$$

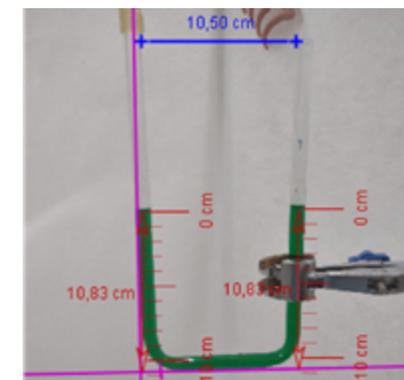
Observamos que experimentalmente obtuvimos un valor casi un 300% más grande. Teniendo en cuenta que la presión atmosférica es aproximadamente 100000 Pa, una variación de 2,8 Pa difícilmente medible.

3.5.2. UTILIZANDO UN MANÓMETRO

Calculamos la diferencia de presión con la siguiente ecuación de los manómetros: $P_{int} - P_{atm} = \rho \frac{\rho = 1000 \frac{kg}{m^3}}{w} \rightarrow \Delta P = 9800h = 0 Pa$, donde h es la diferencia de altura del líquidos entre las dos columnas, como vemos esta es cero y consecuentemente, $\Delta P = 0 Pa$ (Figura 4).

Figura 4

Altura de las columnas



3.6. POBLEMAS DE OPTIMIZACIÓN

3.6.1. MINIMIZACIÓN DE SUPERFICIES CON POMPAS

Cuando hay película a ambos lados del hilo este adopta una forma libre. Al romper la lámina interior, el hilo forma un círculo perfecto ya que la tensión superficial solo ejerce fuerza sobre el lado externo. La lámina jabonosa ha reducido al máximo su superficie maximizando el área del espacio libre (Figura 5).



Figura 5

Minimización.



3.6.2. COMPROVACIÓN DE LA 3ª Y 4ª LEI DE PLATEAU

Se comprobaron que las películas de jabón en una espuma se unen formando grupos de 3 con ángulos de 120° y de 4 con ángulos de $109,47^\circ$ (Figuras 6 y 7).

Figura 6

3 láminas de jabón a 120°

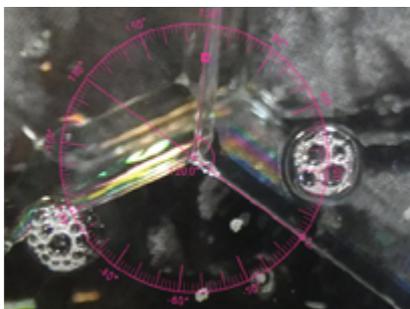
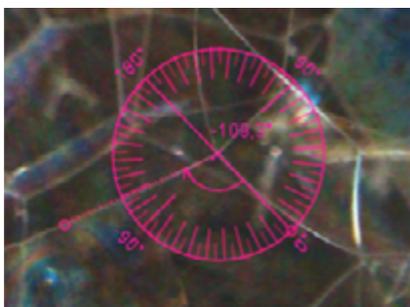


Figura 4

4 láminas de jabón a $109,3^\circ$



La espuma jabonosa, tesseleaba el espacio a la perfección con figuras geométricas como el prisma, prismatoide, tronco y escutoide (Figuras 8-10)

Figura 8

Prisma

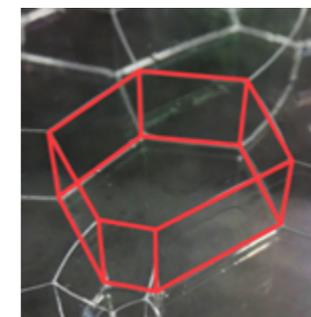


Figura 9

Prismatoide

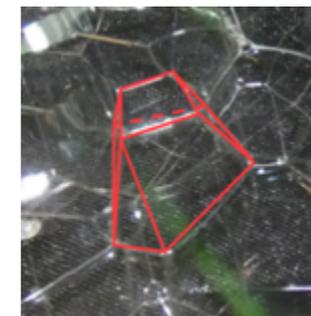
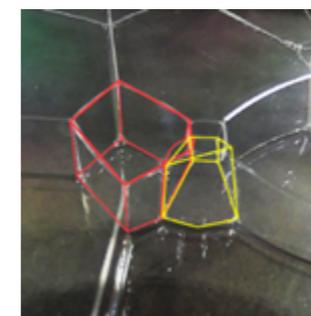


Figura 10

Escutoide y tronco





3.6.3. SOLUCIÓN A LOS PROBLEMAS DE STEINER EN 2D

Figura 11

Dos puntos, una línea.

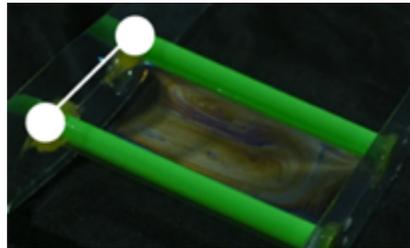


Figura 12

Triángulo con ángulo obtuso, los lados de menor longitud del perímetro.

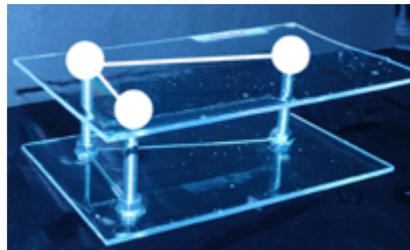


Figura 13

Triángulo con ángulos agudos, las láminas intersectan en el punto de Fermat

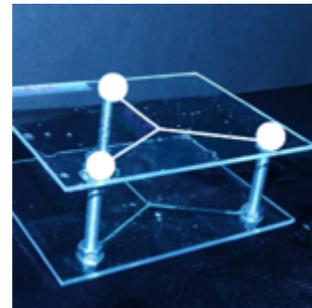


Figura 14

Cuadrado

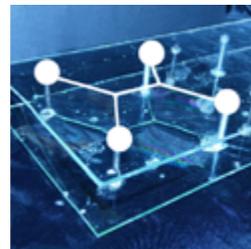


Figura 15

Rectángulo grande



Figura 16

Rectángulo pequeño

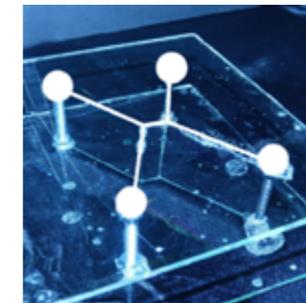
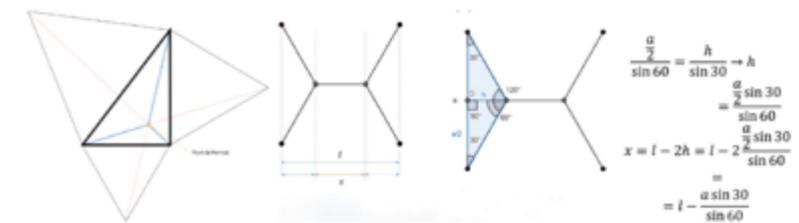


Figura 17

Determinación geométrica del punto de Fermat, ecuación de la lámina central en distribuciones rectangulares



Se determinó también el punto de Fermat en las distribuciones triangulares de forma geométrica i se encontró una razón que relacionaba la longitud de la lámina central en las construcciones rectangulares con la longitud de sus lados.

Se aplicó la propiedad de trazar caminos mínimos a la vida real, probando de unir cuatro puntos de mi ciudad, Lleida:



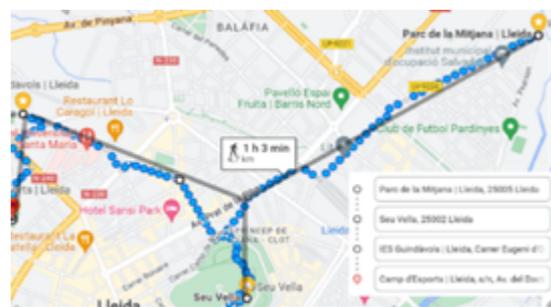
Figura 18

Cuatro puntos de la ciudad de Lleida y la ruta que proponen las pompas para unirlos



Figura 19

Ruta propuesta por Google Maps para unirlos



3.6.4. SOLUCIÓN DE LOS PROBLEMAS DE OPTIMIZACIÓN EN 3D

Algunas de soluciones para los problemas de optimización en 3D fueron las:

Figura 20

Triángulo

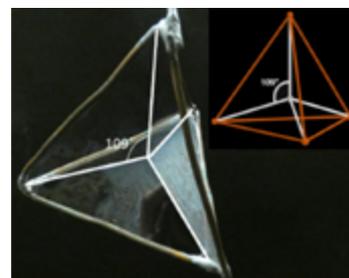


Figura 21

Bipirámide



Figura 22

Helicoide

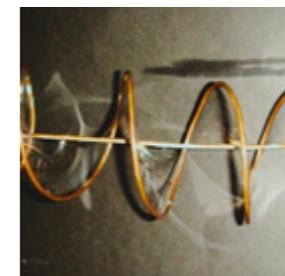


Figura 23

Cubo



Figura 24

Lámina creada en el interior



Figura 25

Angulo de 109°, no 90°





Vemos que tanto las soluciones para los problemas de optimización en el 2D como en el 3D cumple las leyes de Plateau.

La capacidad de las burbujas tiene aplicaciones tanto en arquitectura, para crear estructuras con superficies mínimas donde se contrarrestan las fuerzas; en nanotecnología, para construir dispositivos que ocupen el mínimo espacio pasible para un determinado nombre de conexione o en ingeniería.

3.7. BURBUJAS QUE ESTALLAN: ENCAPSULANDO HIDROGENO

Tal y como se explica en el apartado de material y métodos, se quería encapsular hidrogeno y oxígeno en el interior de una pompa. Se obtuvieron los resultados que se muestran en el video de YouTube *Bombolles* que explosionen en el anexo.

3.8. ANTIBURBUJAS: ENCAPSULANDO LÍQUIDOS CON AIRE

Tal y como se explica en el apartado de material y métodos, se quería encapsular una solución jabonosa con colorante en otra disolución jabonosa. Se obtuvieron los resultados mostrados en el video de YouTube *Anti-bombolla* enlazado en el anexo 3.

La capacidad de encapsular sustancias usando el aire como membrana, tiene increíbles aplicaciones. Una de esas es la encapsulación de ARNm en nanopartículas lipídicas para las vacunas, como por ejemplo la del COVID-19.

4. CONCLUSIONES

En este proyecto, se llevaron a cabo investigaciones tanto prácticas como teóricas para alcanzar los objetivos planteados. Se lograron resultados significativos, como el cálculo preciso del espesor de una pompa de jabón, la determinación de la tensión superficial mediante métodos capilares, y la realización exitosa de jabón casero utilizando aceite reciclado. También se exploraron fenómenos como la relación entre la altura y el radio en un capilar, la necesidad de surfactante pulmonar en recién nacidos, y las propiedades de las burbujas. Aunque algunos experimentos de medición de diferencia de presión no arrojaron resultados concluyentes, se evidenció cualitativamente la existencia de esta diferencia. Se estableció una conexión entre soluciones matemáticas y su aplicabilidad en arquitectura. Además, se crearon burbujas encapsulando sustancias para entender el mecanismo de las vacunas ARNm. A pesar de la falta de observaciones específicas con luz monocromática, se realizó un estudio de género de Agnes Pockels. El proyecto concluye con una reflexión sobre la fascinación por el mundo de las pompas de jabón y se proponen futuras líneas de investigación.



5. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradecer a mi tutor Anicet Cosialls Manonelles por guiarme a lo largo de este proceso, por su curiosidad y su voluntad a siempre seguir investigando y descubriendo. Agradecerle también por la idea del trabajo. Por animarme a adentrarme en el mundo de las burbujas a pesar de mi reticencia inicial.

Agradecer también a mi familia y amigos por apoyarme en todo momento, por escuchar mi interminable charla sobre pompas de jabón y por motivarme a seguir cuando los experimentos no salían. Agradecer especialmente a mis padres por ayudarme siempre que lo necesitaba y estar allí por mí en todo momento.

6. REFERENCIAS

- Boys, C. V., 1911. Soap-bubbles, their colours and the forces which mould them. s.l.:s.n.
- Courant, R. & Robbins, H., 1979. *¿Qué es la matemática?*. Madrid: s.n.
- Douglas Brown, W. C. R. M. H., s.f. Tracker. [En línea] Available at: <https://physlets.org/tracker/> [Último acceso: 15 octubre 2022].
- Hyams Development, s.f. *Curve expert download*. [En línea] Available at: <https://www.curveexpert.net/download/> [Último acceso: 08 05 2022].
- Plateau, J. A. F., 1873. *Statique expérimentale et théorique des liquides soumis aux seules forces moléculaires*. París: Gauthier-Villars.
- Pockels, A., 1891. *Nature, March 12 1891*. [En línea] Available at: http://cwp.library.ucla.edu/lists/accDB_ti.html#tS [Último acceso: 5 septembre 2022].
- University, 2. I. o. P. o. R. A., s.f. Phyphox. [En línea] Available at: <https://phyphox.org/> [Último acceso: 2023].

7. ANEXO

Catenoide https://youtu.be/28uvxG_MGYs





Bombolles que explosionen <https://youtu.be/rSa9tEtUjLY>



Agnes Pockels <https://youtu.be/R58wb2eCuCE>



Anti-bombolla <https://youtu.be/pcYLxnu38Yo>



Lliscador <https://youtu.be/dCqm4qbSXnA>



ACTAS DEL 34^o CONGRESO DE JÓVENES INVESTIGADORES



Promueve y organiza:



Colaboran:

