30 Trabajos presentados al concurso Jerónimo de Ayanz (por orden de llegada)

Tutor/a	Alumos/as	Proyecto
Almudena Peñalver López almudena.penalver@murciaeduca.es IES Ruiz de Alda (San Javier) 01	Javier Jiménez Bellot 2º Bachillerato	Población de cotorra argentina en San Javier
Jesús Hernández Fernández jesus.hernandez6@murciaeduca.es Almudena Peñalver López IES Ruiz de Alda (San Javier) 02	Miquel Murillo Sanmartín 1º Bachillerato	Evaluación sobre la movilidad de la pared torácica y capacidad respiratoria en jóvenes en relación a la actividad física
Alberto Martínez Lozano alberto.martinez2@murciaeduca.es IES Ruiz de Alda (San Javier) 03	Álvaro Gea García Abdelkhalek Zerouali Abdellaoui 1º Bachillerato	Estudio estadístico de la influencia del ajedrez en el cálculo matemático básico
Juan Luis Cánovas juanluis.canovas@murciaeduca.es IES Ruiz de Alda (San Javier) 04	Alba López Carrillo 2º Bachillerato	Revolución Líquida. El aceite como motor de sostenibilidad
Lara Sidrach de Cardona Paniagua lara.sidrachdecardona@murciaeduca.es IES Floridablanca 05	María García Gallego 2º Bachillerato	Aceites esenciales. Marca olfativa del IES Floridablanca
Lara Sidrach de Cardona Paniagua lara.sidrachdecardona@murciaeduca.es IES Floridablanca 06	Sara López Mateo 2º Bachillerato	Obtención y caracterización de biodiésel a partir de aceites de origen vegetal reciclados
Julián Alcántara Lapaz julian.alcantara@murciaeduca.es IES Floridablanca 07	Marco Serna Morcillo 2º Bachillerato	ECO-SUBER: Desarrollo de un mortero sostenible para nidos artificiales de aves
Mª Teresa Fernández Jambrina mariateresa.fernandez@murciaeduca.es 654 523 513 Antonio Garrigós Escudero IES Ruiz de Alda 08	Lucía Albaladejo Cano Daniela Méndez Hernández 2º Bachillerato	Modelización y simulación de estructuras funiculares: arcos y cubiertas
Mª Teresa Fernández Jambrina mariateresa.fernandez@murciaeduca.es 654 523 513 Juan Luis Cánovas Pérez IES Ruiz de Alda 09	Marcos Herrero Ruiz 2º Bachillerato	Análisis teórico y matemático de los agujeros negros
Pedro Ginés Melgarejo pedrogines.melgarejo@murciaeduca.es IES Sanje (Alcantarilla) 10	Alba Caravaca Moya Sofía Mª Ruíz Sáez Raúl Serrano Manzano 2º Bachillerato	β-caroteno: de las salinas al plato
Mª Teresa Fernández Jambrina mariateresa.fernandez@murciaeduca.es 654 523 513 IES Ruiz de Alda 11	Ariadna García Huertas Albert Murillo Sanmartín 1º Bachillerato	Flexión de vigas. Modelos Matemáticos y simulación
Jesús Carrillo González jesus.carrillo@murciaeduca.es IES Floridablanca 12	Jesús Meseguer Belmonte 2º Bachillerato	Pérdida de las capacidades cognitivas. ¿Cómo nos afectan las nuevas tecnologías?
Jesús Carrillo González jesus.carrillo@murciaeduca.es IES Floridablanca 13	Irene Moreno Alonso 2º Bachillerato	Los beneficios del *Fidgeting*
Jesús Carrillo González jesus.carrillo@murciaeduca.es IES Floridablanca 14	Alexandra Mishanova Vakula 2º Bachillerato	Variación del comportamiento de gansos según su interacción con humanos en el entorno

María de Lourdes Barnés Romero mlourdes.barnes@murciaeduca.es Juana Elvira García IES Francisco Ros Giner 15	Carlota Gil García 2º Bachillerato	ADIRO® Y P-SELECTINA: Un Marcador de Activación Plaquetaria en Prevención Secundaria
Ana María Machuca Reche anamaria.machuca@murciaeduca.es IES Floridablanca 16	Antonio González Carrión Moisés Birruezo Gutiérrez 1º Bachillerato	Percepciones del alumnado de secundaria sobre la conservación ambiental y el bienestar.
Ana María Machuca Reche anamaria.machuca@murciaeduca.es IES Floridablanca 17	Carmen Hurtado Teruel Silvia Romera Gómez Laura Osete Rodríguez 1º Bachillerato	Uso del móvil para medir la capacidad antioxidante de las frutas
Miguel García Carrasco miguel.garcia19@murciaeduca.es IES Infante D. Juan Manuel 18	Marta Pagán Cascales 2º Bachillerato	¿Pueden los champiñones sustituir al Sol? Síntesis de vitamina D en *Agaricus bisporus*, mediante radiación UVB
María Dolores Martínez García mariadolores.martinez25@murciaeduca.es IES Floridablanca 19	Arturo Sánchez Rodríguez 2º Bachillerato	Enfermedades de transmisión sexual en la Región de Murcia
María Dolores Martínez García mariadolores.martinez25@murciaeduca.es IES Floridablanca 20	María Nieves Alarcón Rodríguez 2º Bachillerato	Relación entre el nivel de actividad física y el estado de ánimo en adolescentes
Mª Carmen Meseguer mariacarm.meseguer@murciaeduca.es Mª Carmen Vidal Martínez IES Miguel Espinosa (Murcia) 21	Irene Menchón García 2º Bachillerato	XEROJARDINERÍA EN EL JARDÍN “MANOS UNIDAS”
Mª Carmen Meseguer mariacarm.meseguer@murciaeduca.es Ana Belén Megías Martín IES Miguel Espinosa (Murcia) 22	Lucía López Yabeta 2º Bachillerato	La paradoja del ahorro en la cesta de la compra: análisis matemático de las estrategias promocionales de las grandes superficies
Bruno Martiz Liza bruno.martiz@murciaeduca.es IES Ramón y Cajal 23	Gloria Domínguez Muñoz 2º Bachillerato	Cazadores de lo invisible. Detección de partículas fundamentales mediante la construcción de una cámara de niebla
Bruno Martiz Liza bruno.martiz@murciaeduca.es Francisco Gómez García IES Ramón y Cajal 24	Yuzhao Zhou Ye 2º Bachillerato	¡Que suene la ciencia!: Estudio físico-matemático de la música a través de la síntesis de notas musicales
Mª Gloria Hellín Rodríguez mgloria.hellin@murciaeduca.es Francisco Gómez García IES Ramón y Cajal 25	Vega Romero Herrera 2º Bachillerato	El Complejo Equilibrio entre Salud y Rendimiento Académico en Adolescentes
María Dolores Martínez García mariadolores.martinez25@murciaeduca.es IES Floridablanca 26	Candela García Baños 2º de Bachillerato	Influencia de la actividad física en el aprendizaje de las matemáticas
María Dolores Martínez García mariadolores.martinez25@murciaeduca.es IES Ruiz de Alda 27	Carmen Hernández Cler y Candela López Sánchez 2º de Bachillerato	Análisis genético de la resistencia vegetal: ejemplo aplicado al estudio de resistencia a Meloidogyne incógnita en relación a la transferencia científica
Mª Victoria Molina López mariavictoria.molina2@murciaeduca.es Alberto Martínez Yúfera IES Prado Mayor de Totana 28	Daniel Cánovas García Leonor Martínez González 2º de Bachillerato	SALUD VISUAL Y ERA DIGITAL: IMPACTO DEL USO DE PANTALLAS EN LA ENFERMEDAD DEL OJO SECO EN LA POBLACIÓN ESCOLAR DE TOTANA
Juan Luis Cánovas Pérez juanluis.canovas@murciaeduca.es IES Ruiz de Alda 29	Antonio Brocal Gabaldón 1º de Bachillerato	El revolucionario jabón del futuro

David López Sánchez david.lopez12@murciaeduca.es IES Ruiz de Alda 30	Nicolás pareja Merino 2º Bachillerato	Análisis y desarrollo de estrategias favorables a la mitigación del aumento de temperatura

Población de cotorra argentina en San Javier

Autor: Javier Jiménez Bellot

IES Ruiz de Alda

Ciencias de la Tierra y de la Vida

Tutora: Almudena Peñalver López

Coordinadora: Almudena Peñalver López

Curso académico: 2025/2026

Índice

1. Introducción....1
2. Antecedentes y Marco Teórico....1
    2.1. Descripción de la especie....1
    2.2. Ingenio de la especie....2
    2.3. Una especie invasora....2
    2.4. Marco Legislativo....3
3. Hipótesis y Objetivos....3
4. Materiales y Métodos....3
    4.1. Área de estudio....4
    4.2. Procedimiento de muestreo....4
5. Resultados y Discusión....4
    5.1. Comparación con el censo de SEO/BirdLife de 2015....4
    5.2. Discusión: Evolución 2015-2025....5
    5.3. Limitaciones....5
6. Impactos Identificados....5
7. Propuesta de Soluciones y Gestión....6
    7.1. Medidas de control poblacional empleadas en comunidades afectadas....6
    7.2. Medidas de control poblacional propuestas para la localidad de San Javier....6
8. Conclusiones....7
9. Agradecimientos....8
10. Bibliografía....8
11. Figuras....10
    11.1.Relación de figuras....16

Resumen

En este trabajo de investigación partimos de aspectos etológicos de la cotorra argentina, *Myiopsitta Monachus*, especie declarada en 2013 como especie exótica invasora (EEI) en España, para explicar la problemática que genera y por supuesto encontrar soluciones en el municipio de San Javier, ampliables a la comunidad autónoma de la Región de Murcia. El marco práctico se enfocará a estimar la población de cotorras del municipio mediante el proceso de conteo y observación de sus nidos, mientras que el marco teórico irá dedicado a la etología de la especie, seguido de su impacto. Desarrollaremos aspectos legislativos, ecológicos, económicos y sanitarios. Lo que propone este trabajo es buscar soluciones alternativas evitando llegar al exterminio para reducir el impacto de esta especie invasora en el municipio de San Javier. Para poder conseguir esto, en el marco práctico se preguntará a diversos cuerpos del ayuntamiento las diferentes medidas que se han tomado estos años y de contrastarlas con las que se proponen en el trabajo.

Palabras clave: cotorras argentinas, población, San Javier, especie invasora, *Myiopsitta monachus*, etología, impacto, legislación, censo, problemática.

Abstract

In this research work, various aspects can be reflected about the Argentine parrot, Myiopsitta Monachus, in the municipality of San Javier in the autonomous community of Murcia. The practical framework will focus on estimating the population of parrots in the municipality through the process of counting and observing their nests while the theoretical framework will be dedicated to the ethology of the species followed by the impact that the species generates in legislative, ecological, economic and health. What this work proposes is to find an alternative solution to extermination to reduce the impact of this invasive species in the municipality of San Javier.

Keywords: Monk parakeets, population, San Javier, invasive species, Myiopsitta monachus, ethology, impact, legislation, census, problematic.

1. Introducción

La cotorra argentina (*Myiopsitta monachus*) es un psitácido neotropical que ha demostrado una extraordinaria plasticidad ecológica, lo que ha facilitado su establecimiento en entornos urbanos y agrícolas a nivel global. En el municipio de San Javier, la introducción de esta especie posee un origen antrópico documentado por la tradición oral local: se vincula a una pareja de ejemplares liberada por un oficial argentino tras finalizar su comisión de servicio en la Academia General del Aire en Santiago de la Ribera.

La presencia de esta especie ha pasado de ser una anécdota biológica a una problemática multifactorial de carácter urgente. Su marcada adaptación a ambientes transformados por el hombre le ha permitido colonizar áreas habitadas.

Su presencia en el país y en la zona semiurbana de San Javier ha generado preocupación por un impacto negativo en el ecosistema, la convivencia y la agricultura.

En cuanto a los problemas que esta especie genera en el ecosistema, según Zarazua (2023), "se encuentran principalmente relacionados con el nido, debido a que su peso puede llegar a provocar la rotura de grandes ramas e incluso de su árbol hospedador" (p.16). Otros factores que afectan a la biodiversidad son su alta capacidad de reproducción, según Murillo (2020), "en noviembre comienza la etapa reproductiva que consiste en la puesta de huevos. En cada nidada ponen de 5 a 12 huevos" (p.13). Otro factor es su agresiva competencia por la obtención de recursos.

En relación a la convivencia, según Murillo (2020), "la presencia de la cotorra es molesta para las personas que conviven con ellas, principalmente porque se alimentan de su huerto y por los ruidos que hacen durante todo el día" (p.21).

En lo que se refiere al ámbito de la agricultura, la cotorra argentina supone un impacto considerable, al alimentarse de cultivos locales y amenazar la sostenibilidad económica de cultivos, ya que, según Murillo (2020), "su dieta es omnívora, aunque especialmente se alimentan de granos, tanto silvestres como agrícolas" (p.15). A su vez, estos cultivos se ven amenazados por otros factores como las condiciones medioambientales.

Además de detectar los problemas visualmente evidentes, se requiere una mayor comprensión de los patrones de expansión y comportamiento de la cotorra argentina en la localidad de San Javier para poder diseñar técnicas eficientes para reducir y controlar la población de esta especie.

El presente trabajo pretende justificar la necesidad de una intervención técnica basada en datos censales actualizados tomados en la Ciudad del Aire (barrio de la pedanía de Santiago de la Ribera) y en las medidas tomadas en otras ciudades de España, para concienciar sobre la urgencia en el diseño de políticas de control que prioricen el bienestar animal y la seguridad ciudadana.

2. Antecedentes y Marco Teórico

2.1. Descripción de la especie

Este apartado se centra principalmente en describir las características morfológicas y etológicas de la especie. *Myiopsitta monachus*, conocida comúnmente como cotorra argentina, pertenece a la familia *Psittacidae,* originaria de América del Sur. Un importante rasgo que caracteriza a esta especie es su llamativo plumaje, el cuál se compone principalmente tonos verdes un tanto brillantes con un característico tono gris en la frente, mejillas y pecho, donde las plumas poseen bordes oscuros que otorgan un aspecto festoneado (figura 1). Morfológicamente, destacan sus rectrices (plumas caudales) largas y puntiagudas, y un pico robusto en forma de gancho adaptado para la manipulación de material leñoso. Esta ave mide entre 28 y 31 cm aproximadamente de longitud total, presenta una envergadura de 53 cm y una masa de entre 90 y 120 g en promedio. (Sanhueza, 2021).

Esta especie no presenta un dimorfismo sexual evidente entre machos y hembras, es decir, que no tienen diferencias notorias físicas como el color o el tamaño para poder reconocer ejemplares hembra de machos, por lo que es bastante complicado diferenciarlas a simple vista. Sin embargo, Esteban (2016) explica que un posible rasgo morfológico diferencial es que la mandíbula superior del macho es ligeramente más ancha, así como la cabeza algo más grande y, además el colorido en época de celo resulta algo más intenso en el caso de los machos. Pero aun así, para poder estar seguros de si el ejemplar es hembra o macho se necesita la ayuda de un profesional, un análisis de ADN o una exploración endoscópica para lograr determinar el sexo del animal.

En lo que respecta a su etología, según Esteban (2016):

“ Estamos ante un ave diurna de comportamiento altamente gregario, que vive su vida en un corto radio de acción del lugar donde nace, colonizando espacios cercanos y desplazándose en grupo para alimentarse. En ocasiones recorren distancias considerables, favorecidas por su morfología que las hace buenas voladoras (cuerpo estilizado, alas y cola largas)”. En cautiverio y con óptimas condiciones pueden llegar a vivir entre 20 a 25 años, o incluso 30 años, mientras que en estado salvaje en promedio sólo suelen llegar a vivir hasta los 10 años.

2.2. Ingenio de la especie

El ingenio de esta especie se manifiesta de manera sobresaliente en su compleja organización social y arquitectónica. La cotorra argentina construye nidos de estructura globular que pueden alcanzar los 200 kg (figura 2), cada nido alberga múltiples cámaras de cría. Un detalle técnico relevante es el diseño de la cámara: posee un singular cuello de cesta en forma de embudo que protege a la prole de depredadores y factores climáticos. La especie practica el cleptoparasitismo de material, sustrayendo ramas de nidos ajenos para fortalecer la estructura propia, lo que refleja una compleja dinámica social de cooperación y conflicto (Senar, 2024). Esta inteligencia se extiende a la selección estratégica de su hábitat; eligen meticulosamente árboles altos y robustos que ofrezcan protección contra perturbaciones naturales, o bien aprovechan infraestructuras eléctricas y de comunicación en entornos urbanos donde encuentran abundantes fuentes de alimento antropogénico (Sanhueza, 2021; Rodríguez-Pastor et al., 2012).

Recientes investigaciones han elevado la comprensión de su capacidad cognitiva. Smeele et al. (2023) defienden que estas aves poseen una huella vocal individual estabilizada en el tiempo. A diferencia de otras aves que modulan sonidos mediante la siringe, las cotorras utilizan la lengua y la boca para modular vocalizaciones, una mecánica análoga a la humana que les permite ser reconocidas individualmente en bandadas ruidosas.

2.3. Una especie invasora

La cotorra argentina (*Myiopsitta monachus*) es considerada un animal excepcional en términos de invasión biológica debido a su notable inteligencia y a una plasticidad ecológica que le permite colonizar entornos tanto salvajes como transformados por la actividad humana. Su expansión global ha tenido como motor principal el comercio internacional para el mercado de mascotas, lo que provocó la exportación de millones de ejemplares desde su hábitat nativo en Sudamérica hacia cuatro continentes: América del Norte, Asia, África y Europa Occidental. Según Briceño (como se citó en Sanhueza, 2021), el éxito de su establecimiento en al menos 19 nuevos países se debe a la conducta reincidente del ser humano de introducir especies fuera de su rango natural.

Una de las claves de su éxito es la sinantropía, es decir, su capacidad para vivir en estrecha asociación con el ser humano. Di Febbraro y Mori (como se citó en Sanhueza, 2021) señalan que, una vez liberadas (ya sea por escapes accidentales o por liberaciones intencionadas debido a sus ruidos molestos), estas aves establecen poblaciones naturalizadas gracias a su amplia plasticidad ecológica. En entornos urbanos, se benefician directamente de la actividad humana mediante el aprovisionamiento de alimentos en parques y jardines, lo que facilita su supervivencia incluso en nichos ecológicos fragmentados.

Desde una perspectiva biológica, existen factores determinantes que consolidan su carácter invasor, entre los que destacan:

- **Resiliencia Climática y Reproductiva:** Aunque prefieren climas templados, muestran una alta tolerancia a diferentes condiciones ambientales. MacGregors-Fors (como se citó en Sanhueza, 2021) destaca que sus altas tasas reproductivas les permiten estabilizar poblaciones en períodos cortos de tiempo, lo que, sumado a su gran capacidad de dispersión, facilita la ocupación de hábitats transformados por la acción antrópica.
- **Estrategia de Nidificación Única:** Dentro de la familia *Psittacidae*, es la única especie capaz de construir grandes estructuras comunales utilizando materiales vegetales. Estos nidos, que albergan a múltiples parejas, funcionan como centros de operaciones permanentes. Además, poseen una alta persistencia: cualquier intento de eliminación de una colonia suele ser respondido con la reconstrucción inmediata del nido, lo que asegura su permanencia en el territorio.
- **Flexibilidad Alimentaria:** Su dieta generalista es un pilar fundamental para su expansión. Principalmente granívora, la especie adapta su alimentación a los recursos disponibles, consumiendo semillas, frutos, flores, brotes e incluso insectos. Esta versatilidad le permite explotar con éxito tanto campos agrícolas como ecosistemas urbanos.

En conclusión, para que una especie sea catalogada como invasiva, debe poseer una alta capacidad de colonización, ser generalista en su alimentación y presentar plasticidad fenotípica. La cotorra argentina cumple

estrictamente con estos criterios propuestos por Orozco-Segovia y Vázquez-Yanes (como se citó en Torres, 2016), consolidándose como una de las especies de aves más invasoras a nivel mundial.

2.4. Marco Legislativo

La cotorra argentina está introducida en el catálogo español de especies exóticas invasoras, y por lo tanto, es considerada una de estas. Está especie colonizó la península en 1970 y en toda su área metropolitana. La gestión de esta especie, por tanto, se fundamenta en la siguiente jerarquía normativa:

A nivel europeo, la directiva europea 2009/147/CE establece un marco para la conservación de aves silvestres, instando a los Estados miembros a prevenir perjuicios a la biodiversidad local por especies introducidas.

A nivel estatal, el Real decreto 630 del 2 de agosto de 2013 por el que se regula el Catálogo español de especies exóticas invasoras, establece que:
"Las especies exóticas invasoras", (EEI) constituyen una de las principales causas de pérdida de biodiversidad en el mundo, circunstancia que se agrava en hábitats y ecosistemas especialmente vulnerables, como son las islas y las aguas continentales. La introducción de estas especies invasoras también puede ocasionar graves perjuicios a la economía, especialmente a la producción agrícola, ganadera y forestal, e incluso a la salud pública.

A nivel regional, el BORM nº130 publicado el 7 de junio de 2014, recoge en su Artículo 8 de la Ordenanza Reguladora de Uso de las Playas que "El ayuntamiento velará por evitar la introducción y proliferación en el dominio público marítimo terrestre de cualquier tipo de especie animal y/o vegetal distinto a las autóctonas." Además, en su segunda parte del artículo describe lo siguiente, "el Ayuntamiento adoptará todas aquellas medidas que sean necesarias para garantizar la conservación de las especies animales y/o vegetales que viven en estado silvestre, con especial atención a las especies autóctonas, de acuerdo con la legislación vigente."

Finalmente, a nivel local, la ordenanza Municipal Reguladora del Uso y Aprovechamiento de las Playas de San Javier (2014), compromete al Ayuntamiento a velar por la fauna autóctona y prevenir la proliferación de especies no nativas en el dominio público.

3. Hipótesis y Objetivos

Hipótesis: La población de cotorra argentina en San Javier ha experimentado un crecimiento demográfico crítico desde 2015 (año en el que se realizó el último muestreo), alcanzando niveles de masificación en la Ciudad del Aire que exigen un plan de gestión integral basado en criterios técnicos y éticos.

Objetivos Específicos

Los objetivos específicos de este trabajo son:

1. Conocer aproximadamente el número de ejemplares de Cotorras Argentinas en la Ciudad del Aire, un barrio de la pedanía de Santiago de la Ribera para conocer y analizar su evolución desde el último censo.

2. Proponer posibles soluciones éticas y eficientes para su control poblacional.

3. Realizar una selección de posibles soluciones aplicables al municipio de San Javier, sobre la base de una recopilación de datos procedentes de distintas ciudades como Zaragoza, Madrid y Málaga, en las que se han llevado a cabo medidas para controlar el crecimiento poblacional de cotorra argentina.

4. Materiales y Métodos

Al inicio de este trabajo, se intentó contactar con diversos cuerpos del ayuntamiento, para que nos ofrecieran una visión, en un contexto administrativo, donde las distintas instituciones deben actuar y no dejar de lado este gran problema, el 2 de abril de 2025, se mandó un correo electrónico y mensaje telefónico a doña María José Bernal Bernal tercera teniente de Alcalde, delegada de educación, salud y sensibilización medioambiental y a don Antonio Martínez Torrecillas, cuarto teniente de Alcalde, delegado de urbanismo, medio ambiente, patrimonio, régimen interior y parque móvil, miembros de la actual corporación municipal de San Javier con una serie de preguntas que nos hubieran ayudado a contrastar la información desde una postura puramente administrativa.

Las preguntas que se plantearon son las siguientes:

-¿Conocen la existencia de las cotorras argentinas en el área de San Javier?

-¿Son conscientes de que la especie está introducida en el catálogo español de especies invasoras?

-¿Se ha tomado alguna medida para el control poblacional de la especie? En el caso afirmativo, descríbala.

-¿Se han talado árboles para controlar a la especie? En el caso afirmativo, indique su número.

-¿Hay infraestructuras afectadas por la especie? En el caso afirmativo, descríbalas.

-¿Tienen quejas formales de habitantes molestos por el ruido u otro motivo que pueda ocasionar la especie?

-¿Tienen planes de control y gestión a futuro sobre este problema? En el caso afirmativo, describa el protocolo.

-¿Consideran que la actividad de organizaciones sin ánimo de lucro, como SEO pueda ser sostenida y útil, en este sentido?

Sin embargo, a día 28 de mayo de 2026, no se ha recibido aún respuesta alguna, esto deja claro la importancia del asunto para la institución.

Por otro lado, aclarar que, para la realización del muestreo, se ha tratado de seguir el mismo procedimiento que utilizó SEO, (Sociedad Española de Ornitología), durante el censo que llevaron a cabo en la Región de Murcia en 2015 para la “Detección y seguimiento de cotorras en entornos urbanos”.

4.1. Área de estudio

En primer lugar, se delimitó el área que se iba a estudiar. Se seleccionó el barrio de la Ciudad del Aire, focalizando el muestreo en la Calle Cuatro Vientos y el Paseo del Atalayón. Se eligió esta zona por presentar una alta densidad arbórea ornamental y baja densidad de tráfico, facilitando el registro técnico.

4.2. Procedimiento de muestreo

El muestreo fue organizado en tres jornadas de campo que se distribuyeron entre los días 23 de octubre y 22 y 24 de noviembre de 2025, en la primera salida se censaron un total de 9 árboles, aunque el objetivo principal fue el de encontrar la forma de conteo más eficiente para las siguientes salidas. Durante la segunda incursión, fueron censados un total de 10 árboles dando por finalizado el conteo de la calle Cuatro Vientos. Por último, el censado del paseo del Atalayón resultó más sencillo debido a que los nidos se encontraban en palmeras (figura 3) y eran más fáciles de localizar. Cabe destacar que en el segundo tramo de este paseo, no se encuentra presencia de nidos debido a la inexistencia de pinos y palmeras en el mismo.

Una vez delimitada el área de estudio se procedió a contar el número de nidos en cada árbol y se intentó identificar el número de cámaras en cada nido. Esto es de suma importancia, ya que con el paso de los años estos nidos van creciendo debido a la creación de nuevas cámaras construidas por la población ya existente o por nuevas parejas, mientras que algunas cámaras van siendo abandonadas y a veces desaparecen, por tanto, es normal que haya cámaras (nidos individuales dentro del nido comunal) ocupadas y desocupadas (Molina et al, 2016).

Continuando con el análisis, se realizó una observación exhaustiva de cada árbol durante varios minutos y en ese tiempo se hizo un conteo del número máximo de ejemplares que entraban y salían de cada nido. Todo esto lo especifico en la "Figura 4", en la que se han recopilado todos los datos de las salidas de campo.

Con esta información, y con la ayuda de la aplicación móvil de la Sociedad Española de Ornitología (SEO), se ha tratado de esquematizar la información de manera adecuada para la correcta comprensión de la misma. La aplicación de SEO, se utilizó debido a que garantiza una mayor concreción y ampliación de la información obtenida, además de un registro del conteo en la propia aplicación.

El uso de esta aplicación permitió recoger información relevante como la localización de cada nido, observaciones, los nidos ocupados, los vacíos, los nidos de ocupación desconocida, el número de ejemplares vistos y por último, si existía alguna incubación en cualquiera de los nidos, acompañado del número de pollos. Es decir, si se podían visualizar los individuos más jóvenes.

5. Resultados y Discusión

5.1. Comparación con el censo de SEO/BirdLife de 2015.

Durante el desarrollo de este punto se pretende realizar una comparación de los resultados obtenidos en el censo realizado por SEO en 2015 acerca de la presencia de cotorra argentina en la Región de Murcia y el muestreo llevado a cabo en este trabajo durante los meses de octubre y noviembre de 2025. Antes de comenzar con la comparación, es de vital importancia aclarar un par de observaciones:

El censo realizado por SEO/Birdlife en 2015 a escala regional (Figura 5) abarca la distribución de los núcleos de nidificación de la cotorra argentina en la Región de Murcia. En este mapa, podemos observar las

distintas zonas donde la especie estaba presente en ese momento, aunque sin un detalle preciso a un nivel local. Además, cabe destacar que en la Figura 5 se observa que en el municipio de San Javier ya existía presencia de cotorra argentina, por lo que, al ser un censo del año 2015, implica que la especie, como mínimo, desde esa fecha lleva establecida en el territorio. Sin embargo, estos datos pueden dar lugar a confusión debido a que se trató de un estudio de la población a rasgos generales y no permite conocer datos de gran valor como el número exacto de nidos, número de árboles nidificados y la localización exacta del ave por la zona.

Por otro lado, el muestreo realizado en 2025 (Figura 6) se ha centrado exclusivamente en dos calles concretas del municipio de San Javier: la calle Cuatro Vientos y el Paseo del Atalayón. En este caso, cada punto del mapa representa la presencia de un árbol nidificado.

A partir de la figura elaborada por Molina, B., Postigo, J. L., Muñoz, A. R. y Del Moral, J. C. (Eds.), 2016 (Figura 5). Y la imagen generada por la aplicación de SEO (figura 6) tras el conteo de nidos de cotorra argentina realizado en este trabajo, se pretende utilizar estos datos como base para intentar contrastar la evolución y el incremento de esta especie invasora. Cabe destacar que la comparación realizada es entre el número de ejemplares de cotorra argentina presentes en la Región de Murcia durante el año 2015 y el número de árboles que contienen nidos en el barrio de la Ciudad del Aire del municipio de San Javier en 2025. Este segundo muestreo es más preciso pero el área censada es mucho menor, por lo que solo se puede llevar a cabo una comparación cualitativa de la población, no cuantitativa.

5.2. Discusión: Evolución 2015-2025

El hecho de que en 2025 se haya detectado una elevada concentración de nidos en tan solo dos calles del municipio implica que la cotorra argentina no sólo se ha establecido en el territorio, sino que ha incrementado su grado de ocupación del entorno urbano, al menos, desde el año 2015.

Concluyendo con el punto, la comparación cualitativa entre las figuras 5 y 6 indica una marcada evolución a lo largo de los años: mientras que el censo regional de SEO/BirdLife en 2015 mostraba una dispersión general en el municipio, los datos de 2025 revelan una masificación localizada y una consolidación de núcleos de cría estables. El incremento en la densidad de cámaras (77 en solo dos calles) valida la hipótesis de una expansión exponencial favorecida por la ausencia de depredadores naturales. Estos resultados concuerdan con el carácter invasor que se suele avistar de la cotorra argentina junto con su capacidad para adaptarse y expandirse en ambientes urbanos.

5.3. Limitaciones

Este bloque trata de enumerar las distintas limitaciones que han ido surgiendo a lo largo del desarrollo de este trabajo, destacando en este punto que este trabajo de investigación ha sido realizado por un alumno de segundo de Bachillerato, sin presupuesto municipal ni con la disposición de un equipo profesional.

En primer lugar, a diferencia de los censos profesionales realizados, este fue creado en un número reducido de días, mientras que los anteriores requieren de un protocolo y un proceso de varias fases en distintas épocas del año. Asimismo, cabe destacar que no se ha contado con un ornitólogo experto por lo que puede haber cierto margen de error en los resultados de los nidos activos e inactivos. Por otro lado, se presentaron problemas de accesibilidad a la hora de visualizar ciertos nidos presentes en la zona delimitada ya que en algunos casos existían grandes ramas que, impedían determinar exactamente la ocupación de esos nidos, por lo que se hizo un cálculo estimado de la actividad de los mismos.

La limitación más destacable es la del territorio, ya que por la falta de personal, se ha reducido el censado de todo el municipio de San Javier al censado de uno de sus barrios, la Ciudad del Aire. Por último, el hecho de no realizar muestreos múltiples sobre la misma zona hace que los datos reflejen una situación puntual del momento, asimismo, no se dispone de los datos específicos de la población del área delimitada de años atrás, por lo que la comparación que se ha podido hacer es cualitativa.

6. Impactos Identificados

En cuanto a los impactos producidos por esta especie cabe destacar tres niveles:

A nivel **ecológico** esta especie presenta competencia agresiva por nichos ecológicos y recursos alimenticios con especies nativas. Por otro lado, se ha podido observar la degradación del arbolado ornamental por la defoliación necesaria para la construcción de nidos, así como el riesgo crítico de colapso en ciertos árboles de la Calle Cuatro Vientos: el peso acumulado de las cámaras está provocando la torsión y posible fractura de ramas principales, lo que supone un peligro para la seguridad vial y peatonal (figura 7 y figura 8).

En lo que respecta a los impactos **económicos,** se ha recabado información de diferentes estudios. Según Newman et al. (como se citaron en Sanhueza 2021). “Los nidos de cotorra pueden causar efectos significativos a las instalaciones eléctricas, incluyendo la disminución de la confiabilidad eléctrica, daños al equipo y pérdida de ingresos por apagones causados por aves y nidos, aumento en los costos de operación y mantenimiento asociados con la eliminación de nidos y reparación de estructuras dañadas”. (p.11). Por otro lado, según Booy, (como se citó en Sanhueza 2021). “En el sur de la Florida en E.E.U.U., un análisis económico estimó los costos de remoción de nidos de US$ 415–1500 por nido y, durante un período de 5 años, se valoró que la remoción de nidos solo costó entre US$ 1.3–4.7 millones”. (p.11). Demostrando el gran impacto que supone estos nidos a nivel estatal.

Finalmente, en relación a los impactos **sanitarios** el estudio de Larraechea et al. (2023) señala el riesgo de zoonosis por la bacteria ***Chlamydophila psittaci*** (**psitacosis**). Esta bacteria infecta inicialmente a las células epiteliales del tracto respiratorio, pero puede expandirse infectando a macrófagos y diversos tejidos en todo el cuerpo. Esta enfermedad se considera una zoonosis ya que puede ser transmitida desde las aves hacia los humanos, provocando la psitacosis humana. Esta afección puede tener diversos escenarios clínicos que pueden ir desde una enfermedad leve similar a la gripe, hasta un cuadro letal con fallo multiorgánico. La psitacosis raramente es fatal si se recibe el tratamiento apropiado, pero es posible que las infecciones que provoquen enfermedades más leves no sean reconocidas ni informadas a las autoridades de salud pública. Por lo tanto, esta enfermedad puede estar siendo subdiagnosticada. Se han reconocido al menos seis genotipos de esta bacteria, nombrados desde la A a la F. Las aves psitácidas son el hospedero natural del genotipo A, el más común de todos los genotipos y responsable de la mayoría de los casos zoonóticos. La alta densidad poblacional en la Ciudad del Aire aumenta el potencial de transmisión a humanos por vía aérea (heces secas), lo que puede suponer un riesgo sanitario para los vecinos que viven en la zona.

7. Propuesta de Soluciones y Gestión

7.1. Medidas de control poblacional empleadas en comunidades afectadas.

Para la elaboración de este punto se han empleado datos procedentes de artículos científicos enfocados en las áreas de Madrid, Málaga y Zaragoza. Partiendo del estudio de Blanco-González et al. (2025) debemos de saber que distingue entre tres métodos de control poblacional que fueron aplicados de manera combinada: métodos de disparo, métodos terrestres y métodos aéreos.

Entre los distintos métodos empleados se incluyen disparos selectivos realizados por personal especializado en áreas concretas y con acceso restringido, así como sistemas de captura terrestre mediante redes colocadas a ras de suelo. Asimismo, se llevaron a cabo diversos métodos aéreos en relación con el control reproductivo, como la retirada de nidos y la reducción de huevos o polluelos, con el objetivo de aminorar el éxito reproductor de la especie y evitar que la población siga en ascenso.

Continuando, también se emplearon medidas cautelares como la gestión del arbolado para futuras plantaciones de árboles a nivel municipal, para así poder evitar una plantación excesiva de las especies preferidas de las cotorras y conseguir crear un entorno “menos atractivo” para estas, previniendo así la anidación masiva, en cuanto a los árboles ya existentes, se debería priorizar la vigilancia de esos tipos para poder llevar a cabo un control de nidos.

En cuanto a las medidas empleadas en Zaragoza, tras realizarse una gran variedad de pruebas, concluyeron que una de las medidas más eficaces era la del pinchazo del embrión con una aguja cuando su puesta estuviese completada y la incubación se encontrara en la semana de antes de la eclosión del huevo. Este método se pudo llevar a cabo a través de un camión con cesta elevadora donde ascienden dos personas a realizar la acción (Esteban, 2016).

Otro método propuesto por SEO, pero que nunca se ha llevado a la práctica, consiste en la retirada manual de los nidos mediante un sistema de cuerdas o una plataforma elevadora, ya que esta es una manera rápida y segura para proceder a la retirada de ese nido sin necesidad de generar ningún tipo de daño al árbol. Asimismo, se propone fomentar la introducción de poblaciones de aves rapaces locales (halcones y búhos) como depredadores naturales, aunque esta medida requiere estabilidad ecológica previa y una planificación a largo plazo.

7.2. Medidas de control poblacional propuestas para la localidad de San Javier

Para reducir la población en San Javier, se ha considerado que la medida más efectiva es reducir directamente el número de polluelos o huevos. Para ello se debería de aplicar una combinación entre las distintas medidas llevadas a cabo en las diferentes comunidades autónomas. El proceso consistiría en aproximarse a las zonas más afectadas del municipio, como la calle Cuatro Vientos o el paseo del Atalayón censados durante el trabajo, con el material empleado en Zaragoza, a través de camiones con cesta elevadora. En esta cesta deberían de

ir dos especialistas, uno encargado de realizar la acción de la retirada directa del huevo o el polluelo, y otro que se encargue de supervisar todo el proceso. Siguiendo este método de forma rigurosa, y realizándose a su vez en un horario de no mucha concurrencia por la zona, se estima que se conseguiría reducir la población de esta especie de forma satisfactoria y sin grandes gastos económicos. Además, se podría anexar muy bien con el plan del sistema de cuerdas propuesto por SEO y desarrollado anteriormente, aumentando a su vez el rendimiento de las expediciones.

Por otro lado, se considera que una de las grandes aportaciones de este trabajo, es proponer una solución alternativa a lo que estamos acostumbrados a ver en referencia a los métodos empleados para reducir la población de cotorra argentina. Por lo que, como solución, se sugiere un método dialéctico, con el que se busca concienciar a los habitantes para que dejen de alimentar a esta especie tanto en áreas urbanas como rurales, independientemente del atractivo visual de la misma.

Algunas ideas que se pueden llevar a cabo para la difusión de este mensaje son la programación de campañas informativas de radio, a través de la televisión local, de redes sociales de gran impacto como pueden ser Instagram, paneles informativos alrededor de las zonas afectadas y sobre todo de alertas en el caso de detectar la presencia de nidos que puedan suponer un riesgo para los vecinos y un perjuicio para los árboles en los que se encuentran, de manera que la administración local tendrá que encargarse de la retirada de dichos nidos.

En cuanto al área educativa se pretende informar a la población sobre lo que debe y no debe de hacer a la hora de interactuar con esta especie, este plan en su máxima expansión consistiría en contratar a profesionales que informen mediante charlas a la población acerca, ya no solo de la problemática de la cotorra argentina, sino de las especies exóticas invasoras a un nivel general. Lo ideal sería establecer una serie de programas alrededor de las ciudades más afectadas y que estos especialistas ayuden tanto en el control de la especie, como en ser fuentes fiables para informar a la población. Por otro lado, sería conveniente que, desde la materia de biología y geología de los distintos centros educativos de San Javier, se dé a conocer el ejemplo de la cotorra argentina como especie invasora para concienciar al alumnado acerca del problema de la liberación de animales exóticos en el medio y las consecuencias que esto puede tener para la fauna local. Una vez estudiado todos los distintos conflictos que generan estas especies, los alumnos podrían difundir y comentar estos temas con sus familias, aumentando así la ratio de llegada de este mensaje. Mediante esta solución, conseguimos que esta especie no tenga el apoyo humano permitiendo un mayor control de su población y así forzándolas a emplear otros métodos para adaptarse al medio y que tengan dificultades para ello.

8. Conclusiones

Tras la realización de este estudio, se confirma que los objetivos planteados al inicio de la investigación han sido cumplidos satisfactoriamente. Los resultados obtenidos permiten concluir que la cotorra argentina (*Myiopsitta monachus*) ha logrado un establecimiento exitoso y una expansión densificada en el municipio de San Javier, consolidándose como un desafío ecológico y de seguridad ciudadana que requiere atención inmediata.

En primer lugar, el censo realizado en la Ciudad del Aire corrobora nuestra hipótesis sobre el crecimiento demográfico. La detección de **35 nidos comunales con 77 cámaras y el avistamiento de 67 ejemplares** en tan solo dos calles (Cuatro Vientos y Paseo del Atalayón) demuestra que la especie no solo reside de forma puntual, sino que ha masificado su presencia. Al contrastar estos datos con el censo regional de 2015, se observa una clara evolución cualitativa: la cotorra ha pasado de una presencia general en el municipio a una ocupación intensa y localizada en entornos urbanos, aprovechando la disponibilidad de alimento y la ausencia de depredadores naturales.

En segundo lugar, se ha evidenciado un riesgo civil y estructural inminente. La construcción de nidos masivos, que pueden alcanzar cientos de kilogramos, está provocando el colapso de ramas en árboles como el pino carrasco (*Pinus halepensis*), lo que supone un peligro real para los transeúntes y el mobiliario urbano. A este impacto se suma la problemática sanitaria, ya que la especie actúa como reservorio de la bacteria *Chlamydophila psittaci*, causante de la psitacosis humana, una zoonosis que puede derivar en cuadros clínicos graves y que a menudo es subdiagnosticada.

Un hallazgo fundamental de este trabajo es que la actividad humana es el origen y el motor del problema. El desconocimiento general de la población, que alimenta a estas aves por su atractivo visual, facilita su éxito reproductivo y su asentamiento en áreas urbanas. Por ello, concluimos que cualquier plan de gestión debe incluir necesariamente un método dialéctico y educativo. Es imperativo concienciar a la ciudadanía de que la alimentación antropogénica y la liberación de mascotas exóticas son acciones que dañan gravemente el equilibrio de nuestra fauna local.

En cuanto a la gestión administrativa, se detecta una falta de coordinación institucional que agrava la situación. La segregación del territorio entre el Ayuntamiento de San Javier y el Ministerio de Defensa (INVIED) en la Ciudad del Aire genera un vacío operativo que permite la proliferación incontrolada de la especie. Es urgente que las administraciones adopten una visión holística y formen equipos pluridisciplinares que pongan en marcha sistemas de prevención y alerta temprana, entendiendo que la prevención es siempre más económica y sostenible que la erradicación paliativa.

Finalmente, proponemos una gestión ética basada en criterios científicos. Frente a la caza indiscriminada o la tala de árboles (métodos ineficientes que desplazan el problema sin resolverlo), abogamos por un plan híbrido que combine el control biológico, la retirada de nidos y la limitación de la eclosión de huevos mediante el pinchazo manual en nidos. La ciencia debe guiar estas actuaciones para disminuir el impacto ecológico, económico y social de la cotorra argentina sin comprometer el bienestar animal ni la integridad de nuestro ecosistema urbano

9. Agradecimientos

En primer lugar, agradecer a mi tutora actual del trabajo Almudena Peñalver López por todas las horas invertidas y dudas aclaradas, a Celestina Morales Heredia, por sugerirme el tema para realizarlo, a Jesús Hernández Fernández por transmitir hacia mí su conocimiento acerca de aves y a Antonio Garrigós Escudero por ser un pilar fundamental mediante la supervisión y consejos acerca de los aspectos formales.

10. Bibliografía

Blanco-González, L., Pérez-García, J. M., Arrondo, E., y Sánchez-Zapata, J. A. (2025). Developing best management practices for the invasive monk parakeet (*Myiopsitta monachus*) in urban environments. *NeoBiota*, 98. https://doi.org/10.3897/neobiota.98.132982

Boletín Oficial de la Región de Murcia. (2014). *Aprobación definitiva de la nueva ordenanza de seguridad en el uso del litoral de San Javier*. https://www.lineaverdesanjavier.es/documentacion/ordenanzas/1403591777_Ordenanza%20de%20seguridad%20uso%20disfrute%20aprovechamiento%20litoral%20San%20Javier.pdf

Boletín Oficial del Estado. (2013). *Real Decreto 630/2013, de 2 de agosto, por el que se regula el Catálogo español de especies exóticas invasoras*. https://www.boe.es/buscar/pdf/2013/BOE-A-2013-8565-consolidado.pdf

Diario Oficial de la Unión Europea. (2009). *Directiva 2009/147/CE relativa a la conservación de las aves silvestres*. https://www.boe.es/doue/2010/020/L00007-00025.pdf

Esteban, A. (2016). *Control de la especie cotorra argentina (Myiopsitta monachus) en Zaragoza*. https://drive.google.com/file/d/1I-QrmUkUwmW7WzbCCcKZJelP95cZ7E3A/view?usp=drive_web

Larraechea, M., et al. (2023). Seropositividad a *Chlamydophila psittaci* en cotorras argentinas (*Myiopsitta monachus*) invasoras. *Revista Chilena de Infectología*, 40(1). https://www.scielo.cl/pdf/rci/v40n1/0716-1018-rci-40-01-0035.pdf

Molina, B., Postigo, J. L., Muñoz, A. R., y Del Moral, J. C. (Eds.). (2016). *La cotorra argentina en España, población reproductora en 2015 y método de censo*. SEO/BirdLife. https://www.researchgate.net/publication/296678078_La_cotorra_argentina_en_Espana_Poblacion_reproductora_en_2015_y_metodo_de_censo

Murillo, N. (2020). *Cotorretea: Dispositivo para permitir a las personas realizar actividades sin la presencia de Cotorras Argentinas*. Universidad de Chile. https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/176166

Rodríguez-Pastor, R., Senar, J. C., Ortega, A., Faus, J., Uribe, F., y Montalvo, T. (2012). Distribution patterns of invasive Monk parakeets (*Myiopsitta monachus*) in an urban habitat. *Animal Biodiversity and Conservation*, 35(1), 107-117. https://drive.google.com/file/d/1xvgrJgfL5AVXRPrDZKQXU5BRLjyHoMHD/view?usp=classroom_web&authuser=0

Sanhueza, P.A.(2021). *Contribución al manejo de la cotorra argentina invasora, a través de la detección de árboles con nidos en la Comuna de la Reina*. Universidad de Chile.

Senar, J. C., Dawson Pell, F. S. E., Ortega-Segalerva, A., y Hatchwell, B. J. (2024). Cooperation and conflict in the building and maintenance of the compound nests of Monk parakeets *Myiopsitta monachus*. *Animal Biodiversity and Conservation*, 47(1), 9-17. https://doi.org/10.32800/abc.2024.47.0009

Smeele, S. Q., Senar, J. C., Aplin, L. M., y McElreath, M. B. (2023). Evidence for vocal signatures and voice-prints in a wild parrot. *Royal Society Open Science*, 10(10). https://royalsocietypublishing.org/doi/reader/10.1098/rsos.230835

Torres, A, V. (2016). Estrategias de manejo para el control y erradicación de la especie exótica invasora cotorra argentina (Myiopsitta Monachus) para la Reserva de la Biosfera El Vizcaíno, Guerrero Negro, Bja California Sur [Maestría en manejo de Ecosistemas de Zonas Áridas, Universidad Autónoma de Baja California]. ENS085639

https://repositorioinstitucional.uabc.mx/bitstream/20.500.12930/1075/1/ENS085639.pdf

Zarazua, S. (2023). *Aspectos jurídicos de las especies exóticas invasoras*. Universidad de Alicante.

https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/135113/1/ASPECTOS_JURIDICOS_DE_LaS_ESPECIES_EXOTICAS_INVASORAS_Zarazua_Minana_Sandra.pdf

11. Figuras

Figura 1. *Atractivo visual de la especie.*

Elaboración propia.

Figura 2. *Nido de cotorras argentinas.*

Elaboración propia

Figura 3. *Presencia de nidos en Chamaerops humilis*

Elaboración propia

Figura 4. *Resultados obtenidos durante el muestreo.*

RESULTADOS DEL CENSO									
Término Municipal	**Tipo de Zona**	**Fecha**	**Hora inicio**	**Hora fin**	**Nº de árbol**	**Nº max. ejemplares vistos**	**Nº de nidos**	**Nº total de cámaras**	**Tipo de árbol**
San Javier	Urbana	23/10/2025	18:30	19:15	1	3	3	6	Pino
San Javier	Urbana	23/10/2025	18:30	19:15	2	2	1	1	Pino
San Javier	Urbana	23/10/2025	18:30	19:15	3	2	1	1	Pino
San Javier	Urbana	23/10/2025	18:30	19:15	4	0	1	1	Pino
San Javier	Urbana	23/10/2025	18:30	19:15	5	2	1	2	Pino
San Javier	Urbana	23/10/2025	18:30	19:15	6	3	1	2	Pino
San Javier	Urbana	23/10/2025	18:30	19:15	7	1	1	1	Pino
San Javier	Urbana	23/10/2025	18:30	19:15	8	1	1	3	Pino
San Javier	Urbana	22/11/2025	18:30	19:15	9	6	4	7	Pino
San Javier	Urbana	22/11/2025	16:00	17:00	10	2	1	1	Pino
San Javier	Urbana	22/11/2025	16:00	17:00	11	3	1	4	Palmera
San Javier	Urbana	22/11/2025	16:00	17:00	12	2	1	1	Pino
San Javier	Urbana	22/11/2025	16:00	17:00	13	6	4	7	Pino
San Javier	Urbana	22/11/2025	16:00	17:00	14	7	3	8	Pino

San Javier	Urbana	22/11/2025	16:00	17:00	15	3	1	6	Pino
San Javier	Urbana	22/11/2025	16:00	17:00	16	1	1	2	Pino
San Javier	Urbana	22/11/2025	16:00	17:00	17	3	1	6	Pino
San Javier	Urbana	22/11/2025	16:00	17:00	18	0	1	3	Pino
San Javier	Urbana	22/11/2025	16:00	17:00	19	1	1	2	Pino
San Javier	Urbana	24/11/2025	16:30	17:15	20	2	1	1	Palmera
San Javier	Urbana	24/11/2025	16:30	17:15	21	1	1	2	Palmera
San Javier	Urbana	24/11/2025	16:30	17:15	22	1	1	1	Palmera
San Javier	Urbana	24/11/2025	16:30	17:15	23	4	1	1	Palmera
San Javier	Urbana	24/11/2025	16:30	17:15	24	5	1	3	Palmera
San Javier	Urbana	24/11/2025	16:30	17:15	25	6	1	3	Palmera

Figura 5 . *Núcleos de nidificación de cotorra argentina en Murcia en 2015. Se representan puntos por colonia de nidificación o nidos o ejemplares aislados. Según Molina, B., Postigo, J. L., Muñoz, A. R. y Del Moral, J. C. (Eds.), 2016.*

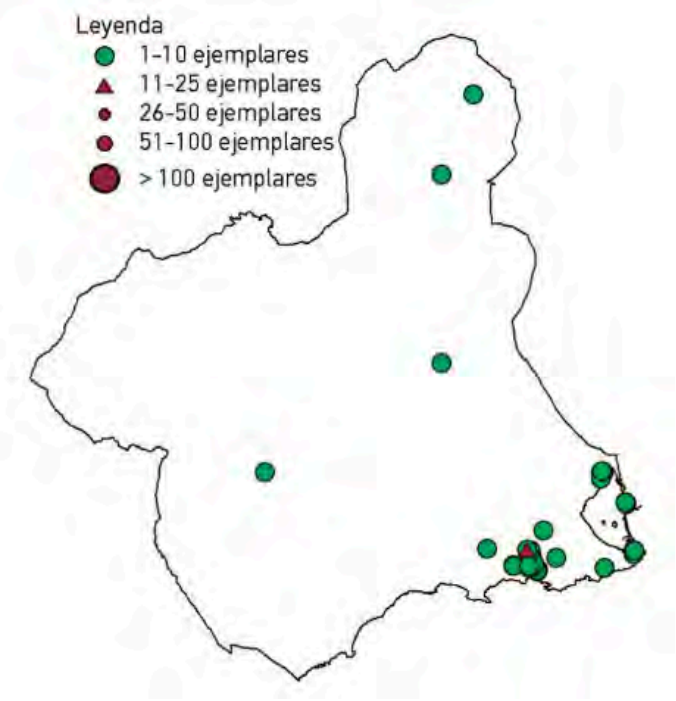


Figura 6. *Figura generada por la aplicación de SEO del conteo de nidos de cotorra argentina por árbol de la calle Cuatro vientos y el paseo del Atalayón.*

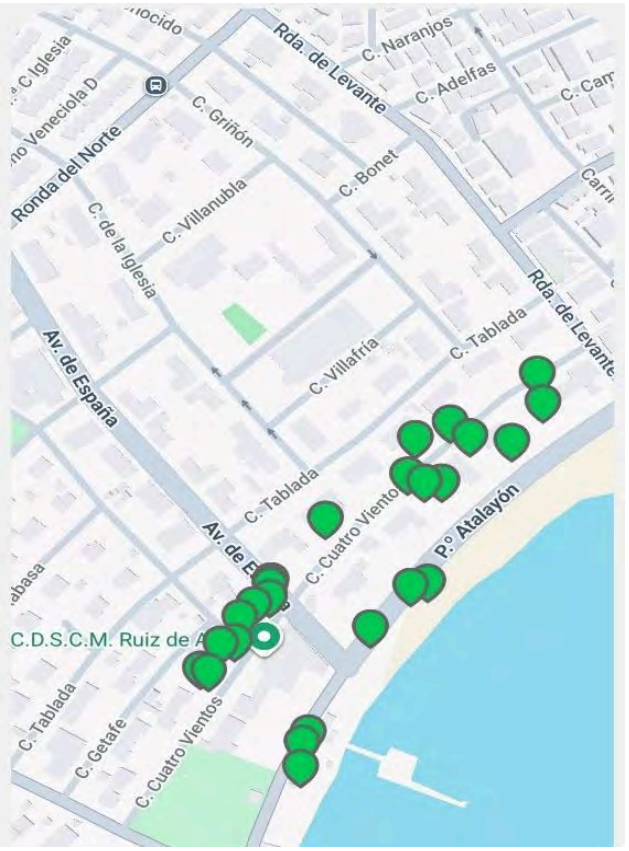


Figura 7. *Presencia de nidos de gran tamaño que provocan un riesgo por caída de ramas de algunos de los árboles de la calle Cuatro Vientos.*

Elaboración propia

Figura 8. *Presencia de nidos de gran tamaño que provocan un riesgo por caída de ramas de algunos de los árboles de la calle Cuatro Vientos.*

11.1.Relación de figuras

Figura 1. *Atractivo visual de la especie. Realización propia.*	**https://photos.app.goo.gl/bBje2m7ufhW7KX3QA**
Figura 2. *Nido de cotorra argentina. Realización propia.*	**https://photos.app.goo.gl/3dYLwhQFne8TkqRV7**
Figura 3. *Presencia de nidos en Chamaerops humilis, (palmera mediterránea)*	**https://photos.app.goo.gl/P4MBU24LYNpogEdM8**
Figura 4. *Resultados obtenidos durante el muestreo.*	**RESULTADOS DEL CENSO - Hojas de cálculo de Google**
Figura 5. *Núcleos de nidificación de cotorra argentina en Murcia en 2015. Se representan puntos por colonia de nidificación o nidos o ejemplares aislados. Según Molina, B., Postigo, J. L., Muñoz, A. R. y Del Moral, J. C. (Eds.), 2016.*	**https://www.researchgate.net/publication/296678078_La_cotorra_argentina_en_Espana_Poblacion_reproductora_en_2015_y_metodo_de_censo**
Figura 6. *Figura generada por la aplicación de SEO del conteo de nidos de cotorra argentina por árbol de la calle Cuatro vientos y el paseo del Atalayón:*	**https://photos.app.goo.gl/rcj7rwLhK2Zi8C569**
Figura 7. *Presencia de nidos de gran tamaño que provocan un riesgo por caída de ramas de algunos de los árboles de la calle Cuatro Vientos.*	**https://photos.app.goo.gl/N45MAf1F2sK1Y9A89**
Figura 8. *Presencia de nidos de gran tamaño que provocan un riesgo por caída de ramas de algunos de los árboles de la calle Cuatro Vientos.*	**https://photos.app.goo.gl/t9Hk9xxjcW39NRCYA**

Evaluación sobre la movilidad de la pared torácica y capacidad respiratoria en jóvenes en relación a la actividad física.

Autor: Miquel Murillo Sanmartín

1º de Bachillerato

Coordinador: Dr. Jesús Hernández Fernández

Tutores: Dr. Jesús Hernández Fernández y Dª. Almudena Peñalver López

IES Ruiz de Alda

2025/2026

Índice

Resumen..... 3
Abstract..... 3
1. Introducción..... 4
2. Antecedentes..... 5
3. Hipótesis y Objetivos..... 5
4. Materiales y métodos..... 5
5. Resultados..... 5
6. Conclusiones..... 7
7. Agradecimientos..... 8
8. Bibliografía..... 8
9. Ilustraciones..... 9

Resumen

Se ha evaluado la movilidad torácica en jóvenes de bachillerato, junto con otras variables antropométricas. Esta evaluación ha sido realizada mediante la cirtometría, usar una cinta métrica y posicionarla alrededor de la pared torácica, mientras se realizan respiraciones forzadas. El objetivo principal fue evaluar la movilidad de los jóvenes, y ver si existen diferencias significativas entre los alumnos que realizan actividad física y los que no principalmente, también el hecho de aportar las medidas para una posible estandarización. Resultados, excursión en cm: Axilar 6.84±2.33, Xifoideo 6.39±1.87, Subcostal 6.08±1.72, estas son las excursiones en centímetros de la muestra total, Axilar mujeres 5.73±1.92, hombres 7.72±2.31. Xifoideo mujeres 5.39±1.81, hombres 7.18±1.56. Subcostal mujeres 5.16±1.35, hombres 6.80±1.66. Conclusiones: Aporte de los datos obtenidos en este estudio, puede contribuir a una posible estandarización en el futuro.

El sexo inflluye claramente en la excursión, incluso a edades tempranas, en las que los jóvenes aún se están desarrollando.

Los individuos que realizan deporte han alcanzado una mayor movilidad como se predecía, aunque al existir una diferencia tan grande entre el número de individuos que realizan actividad física 84% y los que no 16%. La asimetría muestral limita la potencia estadística para contrastar las diferencias encontradas entre el grupo que hace deporte y el que no; no obstante, los datos ofrecen indicios preliminares que merecen ser explorados con una muestra más equilibrada.

Palabras clave: respiración, movilidad torácica, cirtometría, actividad física, jóvenes.

Abstract

Thoracic mobility was assessed in high school students, along with other anthropometric variables. This assessment was performed using thoracic excursion, which involved placing a measuring tape around the chest wall while the students performed forced breathing. The main objective was to evaluate the mobility of the young people and to determine if there were significant differences between students who engaged in physical activity and those who did not. Additionally, the goal was to provide measurements for possible standardization. Results excursion in cm: Axillary 6.84±2.33, Xiphoid 6.39±1.87, Subcostal 6.08±1.72. These are the excursions in centimeters for the total sample. Axillary: women 5.73±1.92, men 7.72±2.31. Xiphoid: women 5.39±1.81, men 7.18±1.56. Subcostal measurements: women 5.16 ± 1.35, men 6.80 ± 1.66. Conclusions: The data obtained in this study may contribute to possible standardization in the future.

Sex clearly influences excursion, even at early ages when young people are still developing.

Individuals who participate in sports have achieved greater mobility, as predicted. However, the large difference between the number of individuals who engage in physical activity (84%) and those who do not (16%) limits the statistical power to compare the differences found between the group that participates in sports and the group that does not. Nevertheless, the data offer preliminary indications that deserve to be explored with a more balanced sample.

Keywords: respiration, thoracic mobility, cyrtometry, physical activity, young people.

1. Introducción

La principal función del sistema respiratorio consiste en el intercambio gaseoso mediante la respiración. En este proceso fisiológico interviene esencialmente el diafragma que es el principal músculo de la respiración, junto con los músculos intercostales. El diafragma, ubicado en la cavidad torácica, en la inspiración se contrae y desciende, por lo cual la cavidad torácica se amplía y el aire entra en los pulmones. En la espiración o exhalación, el diafragma se relaja y asciende, la cavidad torácica disminuye provocando la salida del aire de los pulmones hacia el exterior.

En el presente estudio se ha trabajado sobre la movilidad torácica que consiste en la capacidad de expansión y movimiento de la pared torácica durante la respiración. Para estudiarla se ha recurrido a la cirtometría una técnica en la cual mediante el uso de una cinta métrica se valora la movilidad torácica, ubicándola alrededor de la circunferencia torácica, midiendo la inspiración y la espiración, obteniendo así la excursión de la caja torácica, esta cinta se coloca alrededor de distintas regiones o puntos, a la vez que el sujeto sobre el que se realizan las mediciones respira, reteniendo todo el aire que pueda y soltándolo seguidamente, la diferencia de esta medida mínima y máxima permite valorar y analizar la magnitud del movimiento, valorando la propia movilidad y la respiración. En general una mayor movilidad torácica equivale a una mayor capacidad respiratoria, por lo que es un buen indicador y parámetro a tener en cuenta en el trato de pacientes. Las regiones que se han evaluado han sido tres: la región axilar, utilizando como punto de referencia el 4º espacio intercostal y el pliegue axilar, la región xifoidea, utilizando como punto de referencia anatómico la apófisis xifoidea, y el subcostal, midiendo entre la 7.ª y la 10.ª costilla. (Ver figura 1, 2 y 3). Para la recogida de datos se ha completado un documento (ver figura 4). Cabe recalcar que la hoja de recogida de información incluye la región abdominal, la cual no fue medida finalmente, porque requería expresamente un trato del torso desnudo. Además los datos fueron tomados de forma anónima por lo que se utilizó un código para identificar a cada voluntario.

Durante la fase experimental se ha tratado con un conjunto de 25 individuos, formado por 14 alumnos y 11 alumnas procedentes del Instituto de Educación Secundaria Ruiz de Alda, en concreto estudiantes de 1.º y 2.º de bachillerato, con una edad comprendida entre los 16 y 18 años. Los alumnos han sido a su vez sometidos a una cuestión sobre su estilo de vida, en relación a la actividad física, preguntando al sujeto si realiza algún deporte habitual o actividad física, y si es así qué tipo de actividad y con qué frecuencia semanal, simultáneamente se ha preguntado si tiene algún hábito destacable, como podría ser tocar un instrumento musical de viento, o cualquier hábito que se quiera destacar.

Todas las pruebas se ejecutaron en el mismo espacio, un aula del IES Ruiz de Alda, bajo la supervisión de un profesor, y con la utilización exacta de los mismos instrumentos, para asegurarse de que no existiesen variaciones por esta causa. Por supuesto antes de realizar todo tipo de pruebas y mediciones se recurrió a una autorización de consentimiento informado.

En términos generales las pruebas consistieron en la recogida de datos de los participantes, los cuales decidieron participar voluntariamente. Estos se enfrentaron a una serie de cuestiones sobre su estilo de vida, indicando también datos básicos como la edad y el sexo, sucesivamente se anotaron ciertas variables antropométricas y finalmente se realizaron las mediciones con cirtometría.

Cabe recalcar que se tardaron aproximadamente unos 10 minutos por persona en realizar las pruebas.

Las motivaciones por las que se ha efectuado este estudio se deben a la importancia de la función respiratoria, las enfermedades respiratorias son frecuentes, por lo que el fisioterapeuta respiratorio debe optimizar y mejorar la función respiratoria de los pacientes, especialmente en pacientes crónicos donde la función respiratoria está disminuida, así que conocer el estado de los jóvenes contribuye a la predicción de su evolución, además conocer y analizar cómo repercute la práctica deportiva en el sistema respiratorio puede ser un gran punto de apoyo, esto beneficia enormemente a todo el mundo, en especial a aquellos que son propensos a padecer enfermedades respiratorias. La necesidad de ampliar los estudios del ámbito respiratorio para facilitar en el futuro el desarrollo de nuevas investigaciones es fundamental. También para reforzar el hecho de que la actividad física es imprescindible, para mantener un estado óptimo del cuerpo. A nivel personal, junto con la colaboración de mis tutores he optado por realizar este proyecto, porque me gustaría cursar el grado de fisioterapia, para posteriormente estar al servicio, de aquellos que necesitan a un fisioterapeuta, ya sea deportivo, respiratorio, cardiovascular, neurológico, pediátrico, ortopédico o cualquier otra especialidad, considero de vital importancia y me motiva especialmente, el poder ayudar en un futuro a todas esas pacientes en procesos de recuperación compleja o simplemente a los que necesitan la ayuda y el apoyo de un profesional. Pero los fisioterapeutas no son simples

rehabilitadores de lesiones, sino que son profesionales sanitarios, que están en la primera línea de trabajo de la recuperación funcional de personas que padecen o han padecido graves enfermedades.

2. Antecedentes

En lo referido al estado de la cuestión, se puede afirmar que el campo fisiorespiratorio está en constante estudio, a lo largo de la historia, se ha reflejado la relevancia del sistema respiratorio con el avance de la ciencia, y ante el auge de patologías respiratorias y enfermedades en la actualidad, como sucedió recientemente con el COVID-19 , es vital proseguir su investigación.

3. Hipótesis y Objetivos

Se ha querido corroborar la siguiente hipótesis: los individuos que realizan deporte deben poseer una capacidad de expansión torácica y toracoabdominal mayor respecto de los que no lo practican. A raíz de esta, el objetivo es averiguar en el caso de que esta brecha exista, si es significativa la diferencia en cuanto la movilidad de quien habitúa su cuerpo al deporte y quien no, o esta es ínfima. Además de hallar otros posibles parámetros que puedan influir en esta, tanto positiva como negativamente.

- Objetivo principal: evaluar la movilidad torácica en jóvenes mediante la cirtometría.

Respecto a los objetivos específicos se han planteado los siguientes: valorar si la actividad física supone una diferencia significativa en la movilidad torácica y por tanto en la capacidad respiratoria. A raíz del análisis estadístico, aportar datos por si algún futuro investigador tratase de establecer valores de referencia sobre la movilidad en los jóvenes españoles o murcianos

.

- Objetivo específico: valorar si existen diferencias significativas entre jóvenes con y sin actividad física.

- Objetivo específico: aportar valores para una posible estandarización.

4. Materiales y métodos

La cirtometría por su bajo requerimiento económico y gran precisión, con una formación sencilla y asequible, se ha empleado en el pasado y se sigue utilizando con frecuencia, resulta la base práctica del proyecto permitiendo realizar esta evaluación y estudio.

Este proyecto parte de una recesión bibliográfica combinada con observación y pruebas físicas. Se divide en dos capítulos enfocados respectivamente al marco teórico y marco práctico, en el primero se relatan principalmente todo tipo de aclaraciones y descripciones anatómicas además de sus funciones, junto con las principales patologías respiratorias, también se ha trabajado y estudiado a través de artículos que sirven como base al trato de los datos y conclusiones, a su vez sirven como comparación y referencia.

El segundo capítulo bien podría denominarse marco práctico, detalla la ejecución de las pruebas, técnica, condiciones, método, análisis de resultados, factores a tener en cuenta a la hora de realizar este tipo de prácticas, limitaciones, factores a mejorar, exposición de los datos y finalmente conclusiones.

Para futuros estudios considero interesante realizar un estudio ampliando la recogida de datos, y efectuando otras pruebas como el test de la marcha de los 6 minutos, también se podría investigar ejercicios y pruebas que contribuyen a la optimización y mejora de la capacidad respiratoria, y evaluar la progresión, los beneficios y los inconvenientes producidos.

5. Resultados

La muestra estuvo compuesta por un total de 25 voluntarios, 11 mujeres y 14 hombres, todos alumnos cursando el bachillerato del centro IES Ruiz de Alda, (Murcia, España) con una edad comprendida entre 16 y 18 años, aparentemente sanos. Principalmente nos centramos en la excursión torácica, de las tres regiones sobre las

que se ha trabajado. Según Parwata et al, (2021) existe una fuerte correlación entre la movilidad de la parte superior e inferior de la caja torácica y la capacidad vital pulmonar por lo que a mayor movilidad presentada por los individuos, una mejor capacidad pulmonar presentan. Hay que considerar también la importancia del sexo y de las características antropométricas, en la función respiratoria de sujetos jóvenes sin patología diagnosticada. El sexo y su relevancia antropométrica, constituyen un importante modulador de la fuerza muscular y por tanto de la movilidad torácica, lo que repercute en los volúmenes y capacidades respiratorias, y debe ser tenido en cuenta en fisioterapia respiratoria frente a patologías en las que la movilidad toraco-abdominal se ve afectada (Valenza et al, 2011).

Se ha elaborado el análisis estadístico de los datos, a partir del programa RStudio, en su versión 4.6.0 para windows.

Obtener los valores de excursión torácica media precisa de las siguientes operaciones de cálculo, efectuar la resta de la inspiración máxima 1 menos la espiración máxima 1, sumando el resultado de restar inspiración máxima 2 menos la espiración máxima 2, y finalmente se divide entre dos obteniendo la media de cada individuo en una región específica, este proceso es repetido en el resto de regiones. Se han obtenido las medias generales de todo el conjunto de medias individuales.

Para comprender, representar y comparar estas mediciones, se han producido una serie de gráficos, tales como los diagramas de cajas y bigotes, gráficos basados en los cuartiles que permiten detectar valores atípicos. La caja representa el 50% central de los datos, con una línea que indica la mediana, y los bigotes muestran la variabilidad fuera de la caja.

(Ver: figura. 5 *Comparación excursiones en distintas zonas*).

Las cajas concentran los datos de los individuos distinguiendo en las tres regiones valoradas mediante la citometría, con su indicación de los valores de excursión en centímetros posicionados en el eje vertical. Se puede apreciar que los valores de excursión en la región axilar están más dispersos respecto de las otras regiones con individuos que alcanzan una excursión superior a 10cm, la región xifoidea es la más estable y en cuanto al subcostal se registran valores menores en comparación a las otras regiones.

En la siguiente tabla aparece la media de las excursiones de cada región junto con su desviación típica distinguiendo por sexo. Además de la frecuencia respiratoria y cardiaca.

(Ver: figura. 6 *Tabla. Comparación de movilidad según la región por sexo*).

Las medidas de las regiones están en centímetros, la frecuencia respiratoria hace referencia al número de respiraciones por minuto, y la frecuencia cardiaca a las pulsaciones por minuto. Se considera normal la frecuencia respiratoria entre 12 y 20 respiraciones por minuto en adultos y jóvenes, en cuanto a las pulsaciones los valores normales en reposo están entre las 60 y las 100 pulsaciones por minuto en jóvenes y adultos.

Sg.1: significatividad basado en el test t de comparación de medias.

Sg.2 contraste basado en el test no paramétrico contraste de Mann-Whitney donde lo que se comparan son las medianas.

No hay diferencia significativa para la frecuencia respiratoria y cardiaca (valores superiores a 0.1), pero si en el resto de variables

Si observamos la Figura. 6, se puede detectar que los hombres poseen una mayor movilidad torácica en general. Se aprecia también que las mujeres presentan una movilidad más homogénea, por lo que su respiración parece mixta en general, ya que participan en igual medida los músculos intercostales y el diafragma, percibidos por el movimiento producido en las distintas regiones. En cambio los hombres tienden a poseer una mayor movilidad en la región axilar respecto de las otras regiones, los datos apuntan a que estos realizan una respiración más costal donde predominan los músculos intercostales sobre el diafragma.

(Ver: figura. 7 *Tabla. Comparación de movilidad según práctica deportiva*).

Se mantiene el mismo formato que en la figura anterior, pero está vez comparando si hay práctica deportiva o no sin tener en consideración el sexo. Se ilustra un rango de excursión superior en todas las regiones cuando se practica deporte en comparación a cuando no, aún así no se puede afirmar que la práctica de deporte es totalmente

concluyente porque se precisa de más datos de personas que no practiquen deporte para confirmar que existe realmente una diferencia significativa. A su vez, por los datos obtenidos la respiración cuando se practica deporte parece tender a ser más costal (es decir principalmente trabajan los músculos intercostales) reflejada en los valores de la región axilar y xifoidea, en especial la axilar. Sin embargo, el conjunto sin actividad física tiene una mayor movilidad xifoidea entre sí, y unas movilidades axilares y subcostales similares, parece que se produce una mecánica de respiración mixta (trabajan tanto diafragma como musculatura intercostal por igual).

A continuación se muestran distintos histogramas comparando las regiones de manera individual considerando deporte, no deporte, y sexo. Reflejando el eje vertical el número de casos y el eje horizontal los valores de excursión en centímetros.

(Ver figuras: 8,9,10,11,12 y 13)

El estudio considera variables antropométricas como la altura y el peso, la talla media fue de 1,68 metros y el peso medio de 62,9 kilogramos, el índice de masa corporal medio fue de 22 por lo que está claro que la muestra generalmente está compuesta por jóvenes saludables.

(Ver figura 14. *Diagrama de cajas y bigotes: IMC comparado por sexo*).

Las mujeres mantienen un índice de masa corporal menor y más estable respecto a los hombres, con unos valores equilibrados y sanos es decir un IMC entre 18,5 a 24,9. Hay algunos hombres que exceden los valores recomendados.

(Ver figura 15. *Diagrama de cajas y bigotes: IMC comparando deporte, no deporte*).

Se visualiza que los individuos que no practican deporte poseen un IMC más elevado, por lo que empiezan a detectarse indicios de obesidad, a pesar de esto se siguen manteniendo unos niveles prácticamente dentro de los parámetros adecuados, sin embargo se prevé que si el número de individuos registrados que no realizan actividad física hubiera sido mayor se presentaría un IMC desbalanceado en estos, sobrepasando el límite de lo saludable.

(Ver figura 16. *Frecuencia semanal de actividad física*).

Se representa en este gráfico la frecuencia semanal de los individuos en veces por semana. La mayoría de personas evaluadas poseen una frecuencia semanal deportiva de entre tres y cuatro veces por semana.

Tan solo un 16% no realiza actividad física, sin embargo el otro 84% muestra una gran variedad de actividad, prevaleciendo el gimnasio especialmente como actividad más frecuente.

Cabe destacar también que al dedicarse exclusivamente al gimnasio, estos individuos no trabajan tanto el plano aeróbico y anaeróbico, como lo hacen en deportes como el fútbol, que exigen gran resistencia pulmonar, así que si se sometieran a algún tipo de entrenamiento de este tipo, o un deporte que exige gran resistencia pulmonar, podrían presentar valores mayores. Por lo que hubiera sido interesante profundizar en este parámetro, el cual es un objetivo a futuro.

(Ver figura 17. *Diagrama de cajas y bigotes: frecuencia respiratoria: deporte, no deporte*).

En la frecuencia cardiaca se detecta un valor atípico, ligeramente elevado, en los individuos que practican deporte, y tiene su justificación en el instante de las mediciones el sujeto debía estar nervioso al no estar familiarizado con el ambiente.

Teniendo en cuenta los hábitos registrados, curiosamente hay dos individuos que tocan el saxofón y ambos presentan una excursión axilar igual o superior a 10 cm, junto con otros individuos que generalmente son personas con una frecuencia semanal media de unos 3 días.

6. Conclusiones

Según Enríquez y Vitery, (2023) algunos estudios han apuntado a establecer valores de referencia en niños y adolescentes, pero los datos no son concluyentes. Así que el aporte de los datos obtenidos en este estudio, puede contribuir a una posible estandarización en el futuro.

El sexo inflluye claramente en la excursión torácica, incluso a edades tempranas, en las que los jóvenes aún se están desarrollando.

Los individuos que realizan deporte han alcanzado una mayor movilidad como se predecía, aunque al existir una diferencia tan grande entre el número de individuos que realizan actividad física 84% y los que no 16%. La asimetría muestral limita la potencia estadística para contrastar las diferencias encontradas entre el grupo que hace deporte y el que no; no obstante, los datos ofrecen indicios preliminares que merecen ser explorados con una muestra más equilibrada.

7. Agradecimientos

Por último he de proceder con los agradecimientos que considero indispensables, especialmente a mi tutor Jesús Hernández Fernández por que más allá de realizar un simple trabajo de investigación se ha esforzado y ha tomado en consideración mis deseos de estudiar fisioterapia. Agradecer también a Almudena Peñalver López por participar como tutora y mostrarse a mi disposición. Por supuesto agradecer a Maria Pilar Escolar Reina, profesora de fisioterapia de la UMU con quien pude contactar gracias a mis tutores y me permitió entrar en contacto con Leire Nicolás, estudiante de fisioterapia e increíble persona que realizaba su TFG, que me trató con suma amabilidad y me explicó conocimientos sencillos pero útiles con los que pude reflexionar para realizar mi trabajo. Además agradecer al IES Ruiz de Alda por ofrecer el Bachillerato de investigación. Por último he de agradecer a mi familia y amigos, especialmente a todos aquellos que han sacrificado su tiempo para permitirme practicar con la cirtometría, agradecer a mi clase OB1I y a todos los voluntarios, sin los que hubiera sido imposible la realización de la parte práctica.

8. Bibliografía

Enríquez, A., Vitery, J. (2023) MEDICIÓN DE LA MOVILIDAD TORÁCICA RESPECTO A LA EDAD, EN POBLACIÓN SANA Y CON DEFICIENCIAS: REVISIÓN EXPLORATORIA. *Revista fit. 27*(122) https://doi.org/10.5281/zenodo.7896308

Parwata, I. M. Y., Nyandra, M., Yoda, I. K., Suputra, P. A., Wijaya, I. P. D., Kharismawan, P. M., Suryawan, A., & Dei, A. (2021). Correlation between the mobility of the above cage and the below thorax cage toward the elderly lung vital capacity. *Bali Medical Journal*, *10*(2), 821-823. https://doi.org/10.15562/bmj.v10i2.2480

Valenza, G., Villaverde, C., Valenza, MC., Moreno, C., Botella, M., Ocaña, FM. (2011) Movilidad torácica y abdominal en adultos jóvenes de ambos sexos sin patología conocida. *Scientia. 16*(2) https://www.ugr.es/~fmocan/images/scientia.pdf

9. Ilustraciones

Todas las ilustraciones son de elaboración propia.

Figura. 1 *Región Axilar*

Figura. 2 *Región Xifoidea*

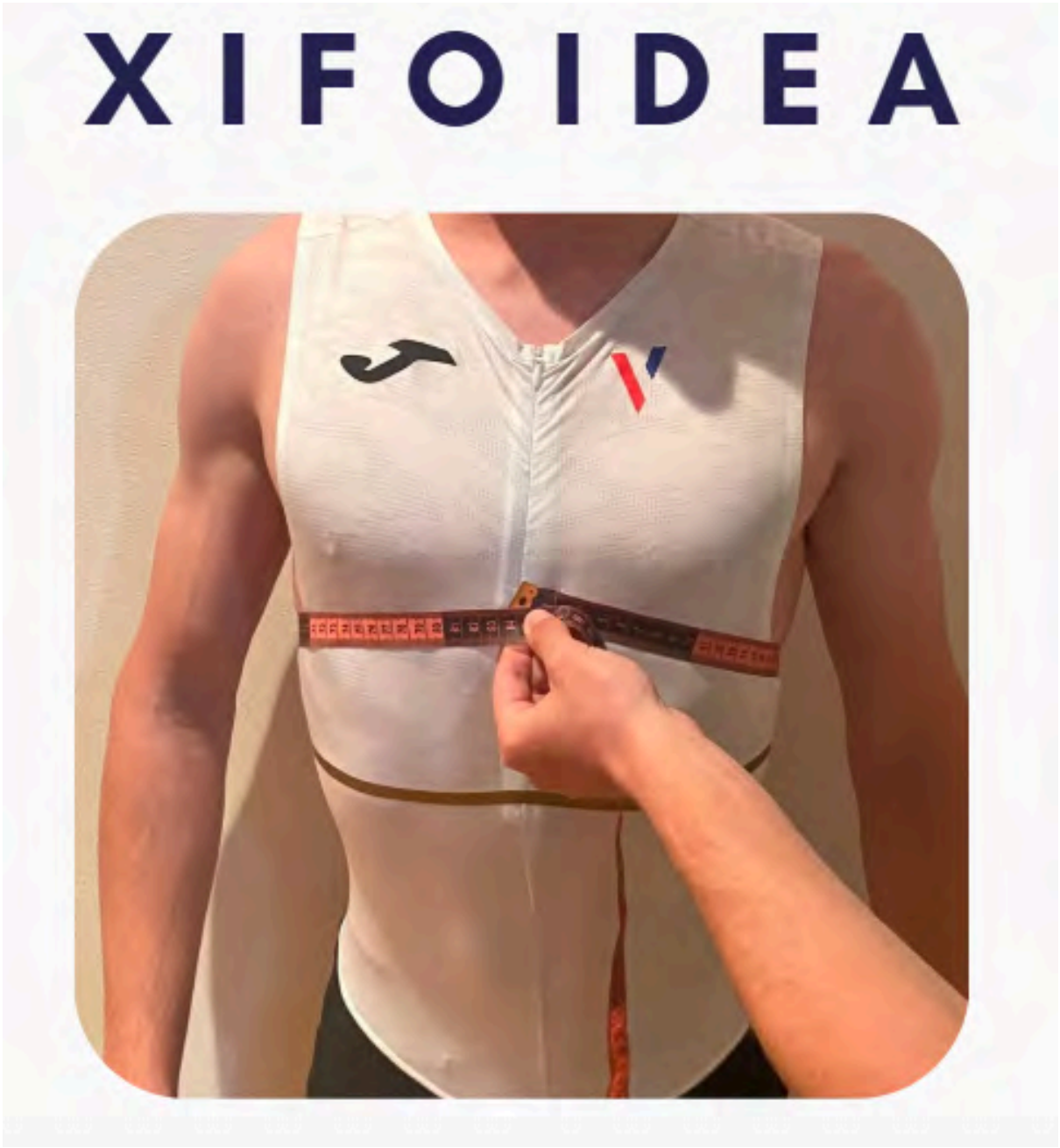


Figura. 3 *Región Subcostal*

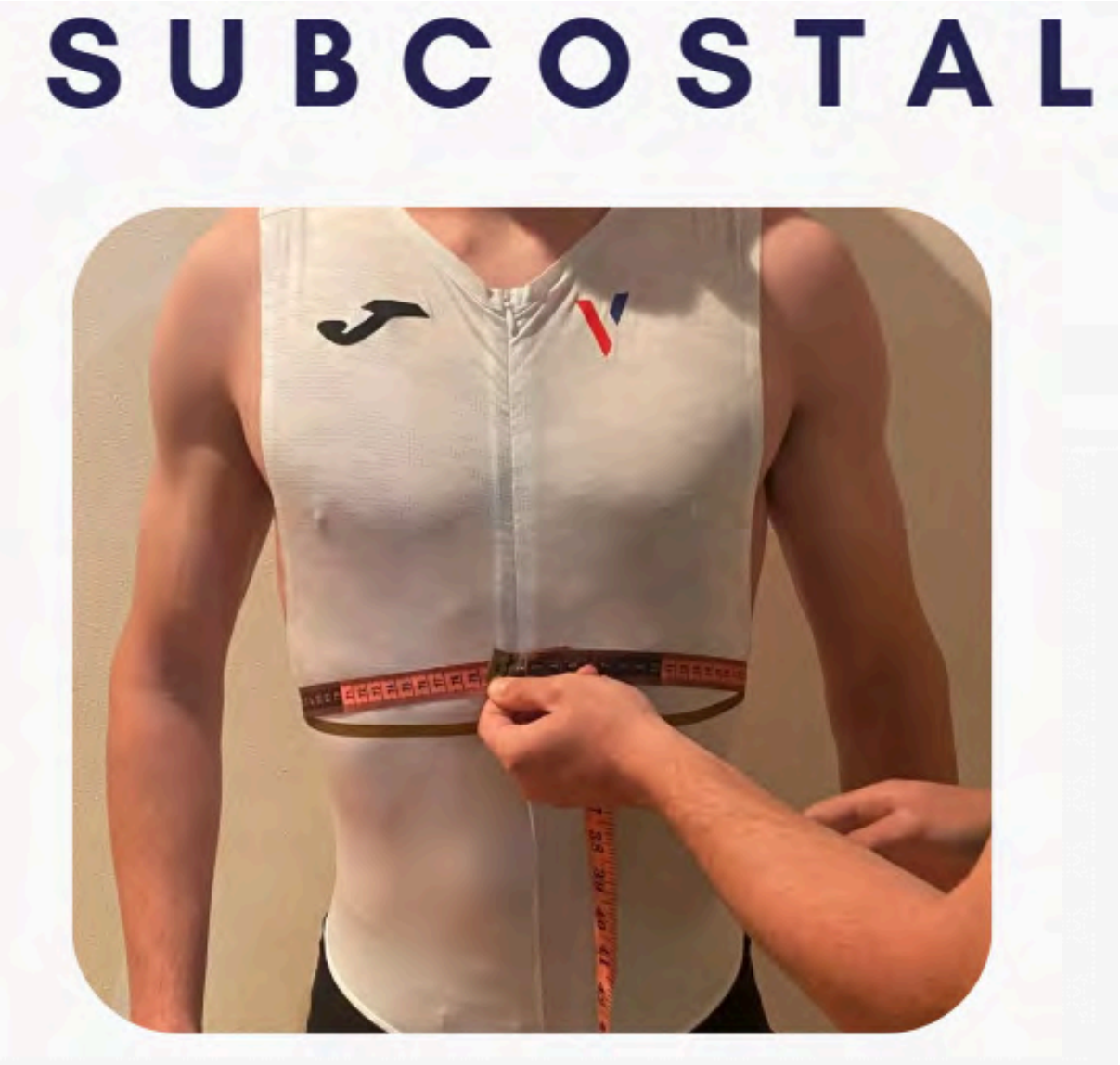


Figura. 4 *Hoja de recogida de información*

CÓDIGO: _____ FECHA: _____

I. DATOS SOCIODEMOGRÁFICOS

- **Edad: _____**
- **Sexo:** □ Hombre □ Mujer

II.

ESTILO DE VIDA

- **Deporte habitual:** □ SI □ NO
- **Tipo de actividad: _____**
- **Frecuencia semanal: _____**
- **Hábito destacable:_____**

III.

VARIABLES ANTROPOMÉTRICAS Y CLÍNICAS

- **Peso: _____ Talla: _____**
- **Frecuencia respiratoria: _____**
- **Frecuencia cardiaca: _____**
- **Saturación de oxígeno: _____**

IV.CIRTOMETRÍA EXPANSIBILIDAD TORACOABDOMINAL BIPEDESTACIÓN

REGIÓN	**MOMENTO**	**Medida 1**	**Medida 2**
AXILAR	**Inspiración máx.**		
	Espiración máx.		
XIFOIDEO	**Inspiración máx.**		
	Espiración máx.		
SUBCOSTAL	**Inspiración máx.**		
	Espiración máx.		
ABDOMINAL	**Inspiración máx.**		
	Espiración máx.		

Figura. 5 *Comparación excursiones en distintas zonas*

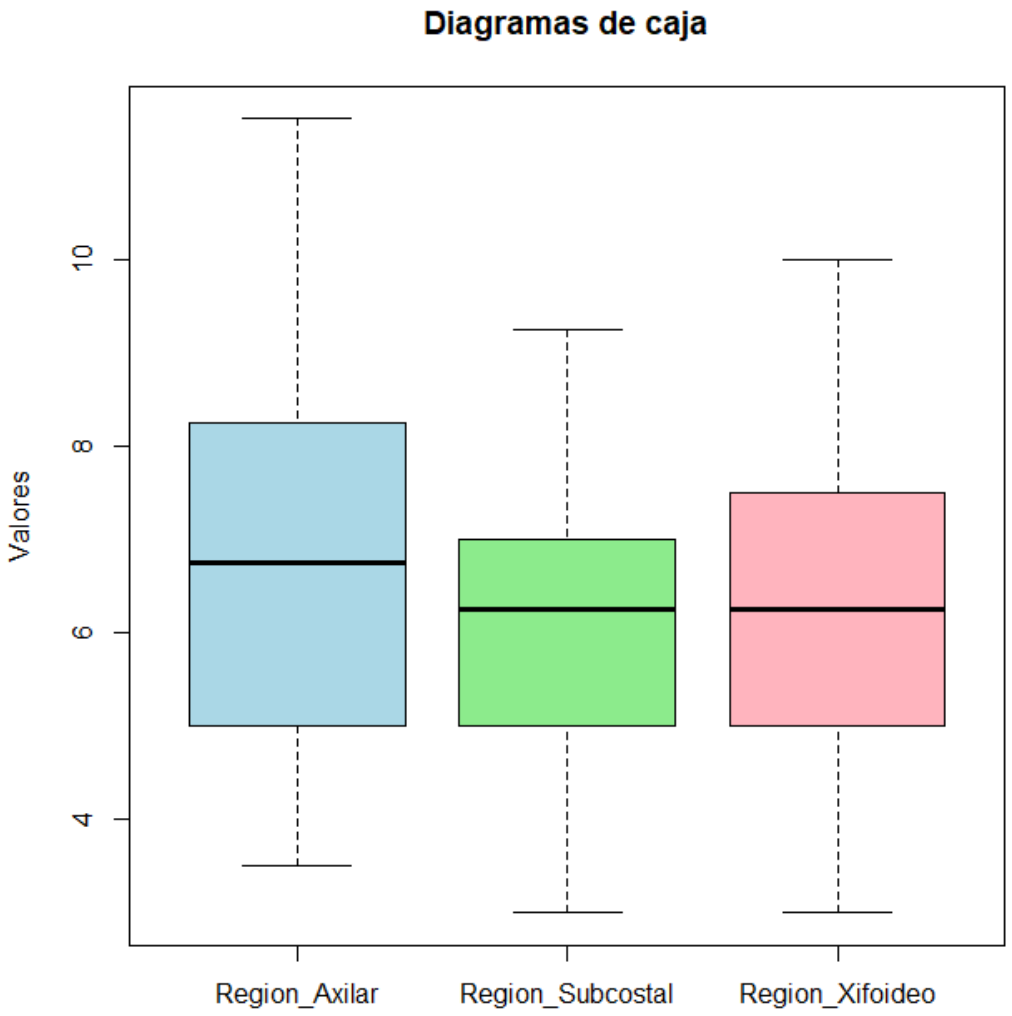


Figura. 6 *Tabla: Comparación de movilidad según la región por sexo*

VARIABLES	TOTAL	HOMBRES	MUJERES	Sg.1	Sg.2
Media±DT	N=25	N=14	N=11	(bilateral)	(bilateral)
AXILAR	6.84±2.33	7.72±2.31	5.73±1.92	0.0277	0.037
XIFOIDEA	6,39±1,87	7.18±1.56	5.39±1.81	0.0167	0.013
SUBCOSTAL	6.08±1.72	6.80±1.66	5.16±1.35	0.01176	0.01463
FRECUENCIA RESPIRATORIA	13.96±3.13	13.21±3.49	14.91±2.43	0.1665	0.2595
FRECUENCIA CARDIACA	72±8.01	71.79±8.4	72.27±7.89	0.8829	0.4582

Figura. 7 *Tabla: Comparación de movilidad según práctica deportiva*

VARIABLES	TOTAL	SI DEPORTE	NO DEPORTE	Sg.1	Sg.2
Media±DT	N=25	N=21	N=4	(bilateral)	(bilateral)
AXILAR	6.84±2.33	7.04±2.45	5.81±1.28	0.1807	0.414
XIFOIDEA	6.39±1.87	6.44±1.88	6.12±2.07	0.797	0.7949
SUBCOSTAL	6.08±1.72	6.19±1.22	5.5±1.22	0.3799	0.5036
FRECUENCIA RESPIRATORIA	13.96±3.13	13.95±3.35	14±1.83	0.9686	0.9406
FRECUENCIA CARDIACA	72±8.01	71.38±8.47	75.25±4.27	0.206 (0.06296)	0.1929 (0.07983)

Figura. 8. *Histograma Región Axilar y deporte.*

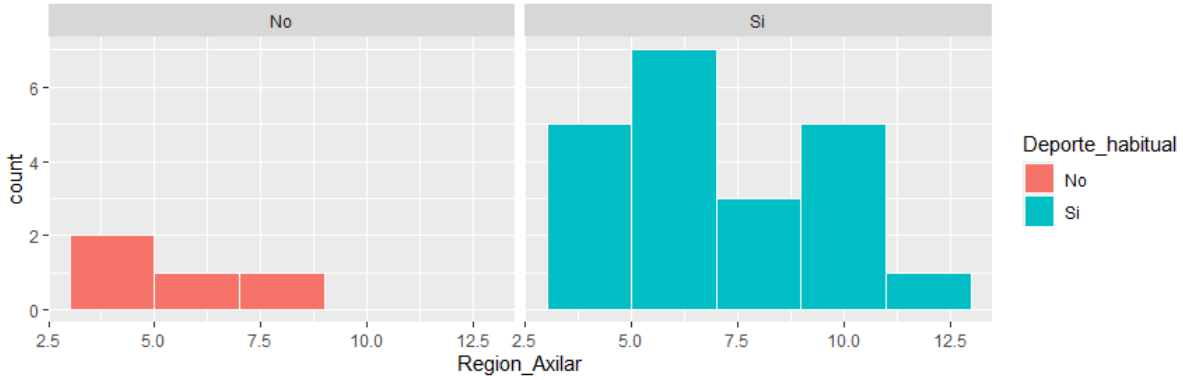


Figura. 9 *Histograma Región Axilar, deporte y sexo.*

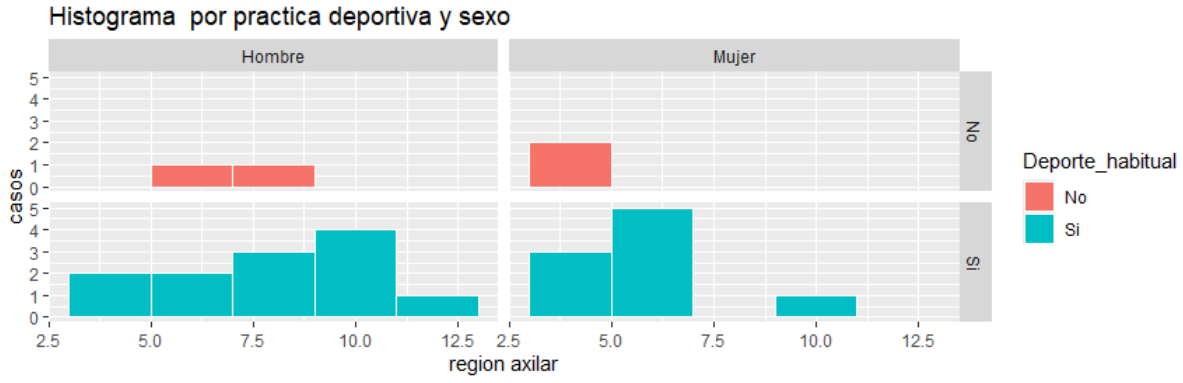


Figura. 10 *Histograma Región Xifoidea y deporte.*

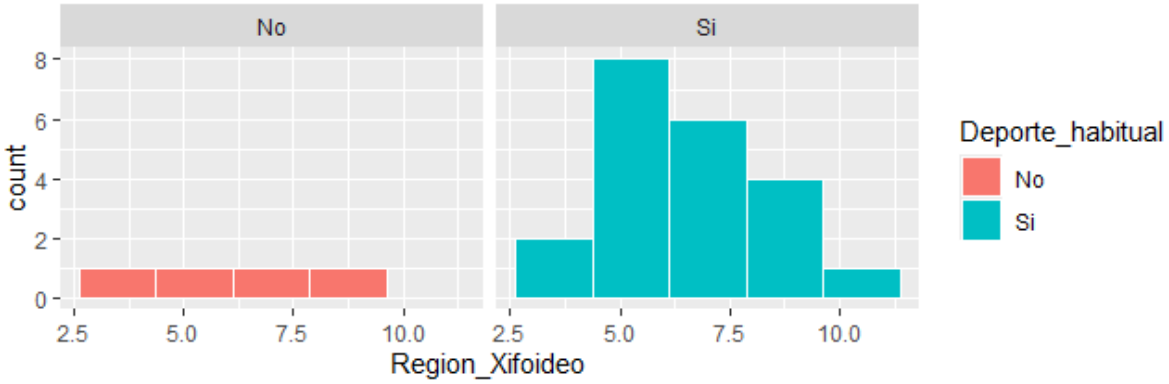


Figura. 11 *Histograma Región Xifoidea, deporte y sexo.*

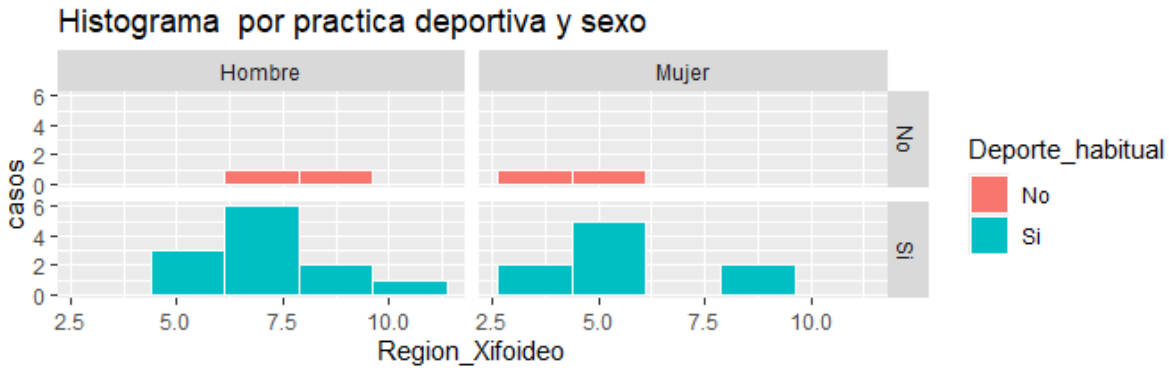


Figura. 12 *Histograma Región Subcostal y deporte.*

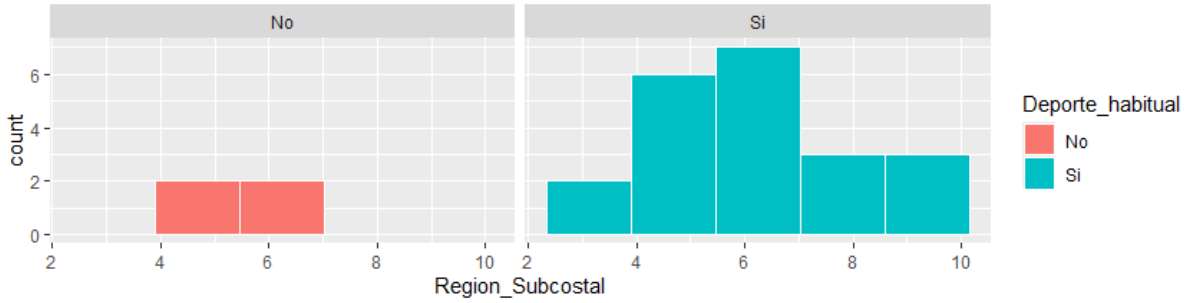


Figura. 13 *Histograma Región Subcostal, deporte y sexo.*

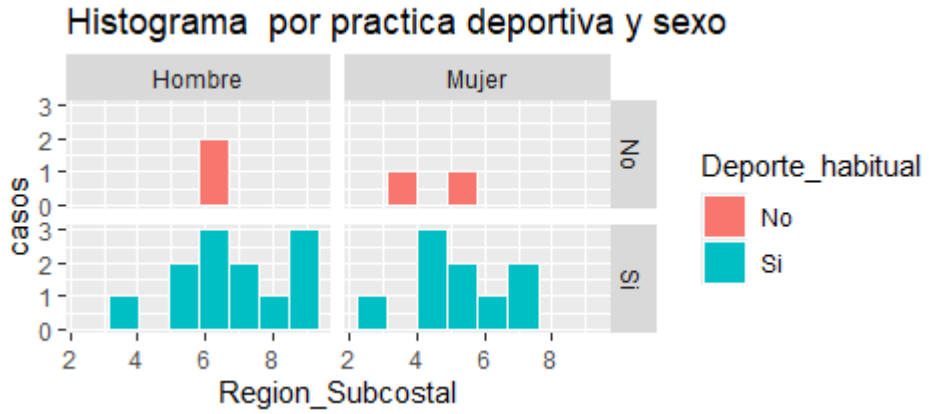


Figura. 14 *Diagrama de cajas y bigotes: IMC comparado por sexo.*

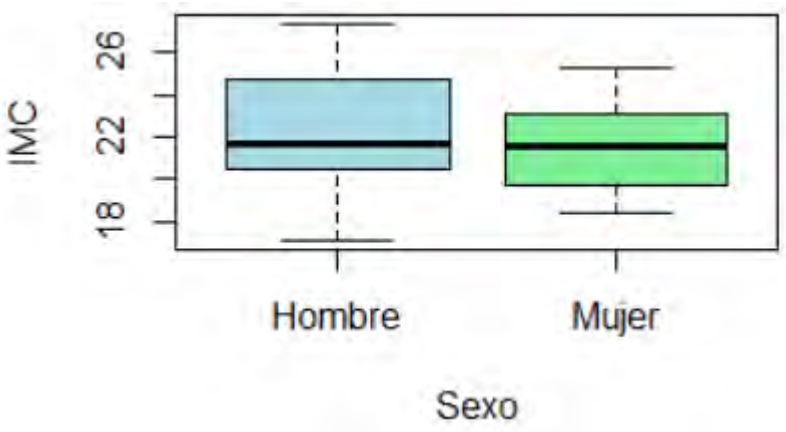


Figura 15. *Diagrama de cajas y bigotes: IMC comparando deporte, no deporte*

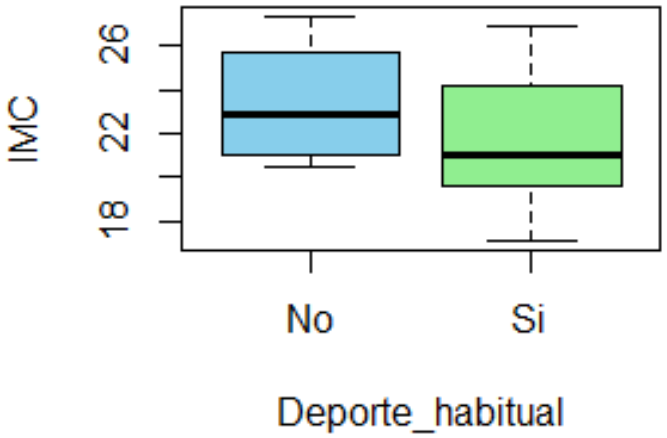


Figura.16 *Frecuencia semanal de actividad física*

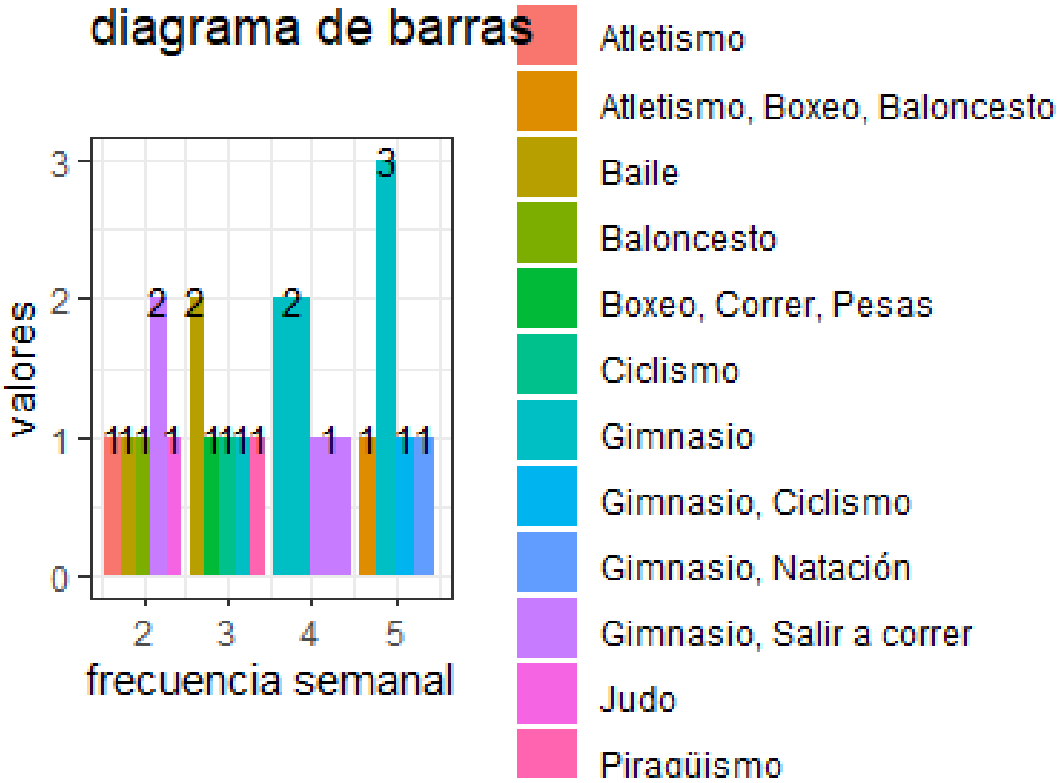
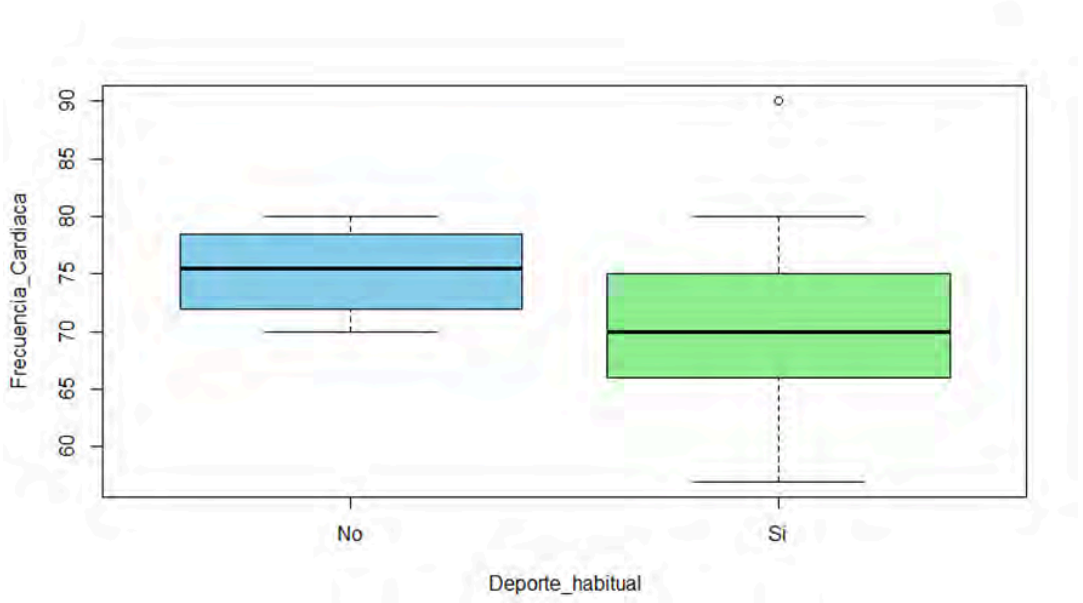


Figura 17. *Diagrama de cajas frecuencia respiratoria: deporte, no deporte.*



Estudio estadístico de la influencia del ajedrez en el cálculo matemático básico

Álvaro Gea García y Abdelkhalek Zerouali Abdellaoui

Departamento de Matemáticas, IES Ruiz de Alda

Tutor: Alberto Martínez Lozano

Curso 2025/2026

Índice

Resumen 3
1. Introducción 4
2. Antecedentes 4
3. Hipótesis de trabajo y objetivos de la investigación 5
    3.1. Contraste de hipótesis 5
    3.2. Objetivos 5
4. Materiales y métodos 5
    4.1. Revisión bibliográfica 5
    4.2. Diseño experimental 5
    4.3. Variables analizadas 5
    4.4. Análisis estadístico 5
5. Resultados 5
    5.1. Resultados obtenidos 5
    5.2. Estadísticos descriptivos 6
    5.3. Contraste de hipótesis 7
    5.4. El tamaño del efecto 8
6. Conclusión 9
7. Agradecimientos 9
8. Bibliografía y webgrafía 10
9. Anexo A. Prueba de cálculo matemático básico 11
10. Anexo B. Gráficos y tablas complementarias. 12

Resumen

En este trabajo de investigación se pretende responder a una cuestión inicial: ¿puede el ajedrez ayudar a mejorar el rendimiento en el cálculo matemático básico? Para abordarla, el estudio no se ha limitado a un marco teórico, en el cual se analizan aspectos desde la geometría en los movimientos hasta su complejidad, infinidad e incluso su papel en la evolución de módulos ajedrecísticos, sino que también se ha extendido a un análisis estadístico real. En el marco práctico, la investigación se centra en un estudio estadístico cuantitativo en el que se evalúa a dos grupos de estudiantes: unos que jugaban al ajedrez y otros que no. A partir de los datos obtenidos, se han utilizado herramientas de estadística descriptiva e inferencial como medias, varianzas y desviaciones típicas para realizar un contraste de hipótesis sólido que nos permitiera ver más allá de las simples apariencias. Asimismo, los resultados confirmaron una relación directa entre la práctica del ajedrez y la destreza en el cálculo matemático.

Abstract

This research aims to answer an initial question: can chess help improve performance in basic mathematical calculation? To address this, the study has not been confined to a theoretical framework, which analyses aspects ranging from the geometry of moves to their complexity, infinity and even their role in the evolution of chess modules, but has also extended to a real statistical analysis. In practical terms, the research focuses on a quantitative statistical study evaluating two groups of students: those who played chess and those who did not. Based on the data obtained, descriptive and inferential statistical tools such as means, variances and standard deviations have been used to carry out a hypothesis test that allow us to look beyond mere appearances. Furthermore, the results confirm a direct relationship between playing chess and proficiency in mathematical calculation.

1. Introducción

El ajedrez, más que un juego, puede entenderse como una disciplina que desafía y desarrolla nuestras capacidades cognitivas. Se podría describir como un pequeño universo condensado, una forma simple y más abstracta de lo que ocurre en el mundo real. Resumidamente, este complejo sistema, está constituido por cálculo, geometría y un número astronómico de posibilidades, lo que lleva a una estrecha relación entre el ajedrez y las matemáticas.

Entre las habilidades que intervienen en la práctica del ajedrez, destaca principalmente el cálculo. Durante una partida, un jugador analiza, anticipa y evalúa un gran número de movimientos para tomar decisiones. Este procedimiento exige operar mentalmente de forma continua; retener y procesar información en la memoria y tomar decisiones bajo presión, forjando un vínculo entre ambas destrezas (Jiménez, 2025).

La elección de este tema surge por la combinación de dos experiencias personales diferentes. Uno de los autores practica ajedrez desde los seis años de edad y ha observado en primera persona cómo su práctica favorece al cálculo, la concentración y la memoria espacial. Por otro lado, el interés del segundo autor radica en su relevancia histórica y el desconocimiento de una disciplina tan presente en nuestra vida cotidiana. Esta diferencia de perspectivas motivó la realización del presente estudio, por medio del cual buscamos evidenciar de qué manera puede influir el hecho de jugar al ajedrez con el cálculo matemático básico.

2. Antecedentes

Para comprender el impacto actual del ajedrez, es necesario analizar su evolución histórica. Desde que comenzó a jugarse en la India en el siglo VI, como explica Sánchez (2019), ha evolucionado notablemente, hasta tal punto que hoy en día ha llegado a sustentar las bases de los algoritmos que conforman la conocida “Inteligencia Artificial”. Ya en los años 50, Alan Turing, padre de la inteligencia artificial, comprendió que el ajedrez era más que una disciplina, era una herramienta ideal capaz de desarrollar programas que enseñaran a las máquinas a razonar.

En este sentido, durante la Segunda Guerra Mundial, el papel de Turing puso en jaque los mensajes codificados de la Alemania nazi. Gracias a su trabajo en el desarrollo del que sería años más tarde y según el estudio de Siven (2024) considerado el primer programa de ajedrez “Turochamp”, fue capaz de aplicar procedimientos basados en la lógica y el cálculo sistemático para resolver problemas relacionados con la criptografía.

Décadas más tarde, sus ideas terminaron teniendo aplicaciones científicas enormes. Siendo el ejemplo más célebre, el Premio Nobel de Química de 2024, que como García (2020) describe, sin el trabajo previo de Turing, estudiar el plegamiento de proteínas mediante inteligencia artificial habría sido utópico. Además, gracias a que este ilustre informático pudo introducir estos algoritmos, diseñados sobre el tablero, cada día se disponen de más medios para tratar enfermedades como el cáncer de hígado.

Paralelamente, para valorar el estado de la cuestión desde una perspectiva teórico-matemática, hemos de conocer los límites calculables del ajedrez. Según afirma Pérez (2015): “Como es bien sabido, cuando Cantor formalizó la noción del infinito, la idea de que algo no termina, el rumbo de las matemáticas cambió para siempre”. No obstante, a través de la estimación, llevada a cabo por Claude Shannon, se ha deducido que el número de partidas posibles, conocido como el “número de Shannon”, no es infinito. Este cálculo aproximado conduce a la conclusión de que existan aproximadamente $\simeq 10^{120}$ partidas posibles. Ilustrativamente, se recurre al número de átomos en el universo ($\simeq 10^{80}$) para contrastar la magnitud de este valor, dando lugar a un campo de exploración casi inabarcable (López, 2025).

Finalmente, las investigaciones previas también sugieren que el ajedrez no se limita a las ciencias exactas; tal como recoge Muñoz (s.f.) al analizar el estudio experimental de Dinamarca, establece que “Los investigadores encontraron que reemplazar una clase semanal de matemáticas tradicionales con una basada en la instrucción de ajedrez tendía a aumentar los resultados posteriores en los puntajes de las pruebas de matemáticas. Esto concuerda con la investigación reciente sobre el impacto del juego de ajedrez en las habilidades matemáticas y el razonamiento, y sugiere que la transferencia de habilidades y conocimientos entre los dos dominios es posible”. Además, otras investigaciones reconocen que se desconoce el papel cultural y político que desempeñó el ajedrez durante el siglo XX, ya que fue durante muchos años un escenario de confrontación entre soviéticos y estadounidenses que llegó a interpretarse como una representación simbólica de la rivalidad entre ambas potencias (Edmonds y Eidinow, 2004). De este modo, el ajedrez se convirtió en mucho más que un juego, adquiriendo gran relevancia social e histórica.

3. Hipótesis de trabajo y objetivos de la investigación

3.1. Contraste de hipótesis

En nuestro trabajo se ha llevado a cabo un contraste de hipótesis: un proceso de toma de decisiones que parte del planteamiento de dos hipótesis contradictorias y, basándose en los datos obtenidos en muestras, finaliza tomando una decisión estadística acerca de cuál de las dos hipótesis es más plausible. En este contexto, la hipótesis nula (H_0) es la que se somete a contrastación empírica; normalmente, afirma que no existen diferencias entre los parámetros, que no existe relación entre las variables o que no hay efecto. Por otro lado, la hipótesis alternativa (H_1) es la que niega la hipótesis nula y, por esto, sostiene que sí existen diferencias entre los parámetros, que sí hay relación entre las variables o que sí produce un efecto.

En este sentido, la H_0 (hipótesis nula) afirma que no existen diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento de cálculo entre estudiantes que practican ajedrez y estudiantes que no. Mientras que la H_1 (hipótesis alternativa) afirma que sí existen diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento de cálculo entre ambos grupos.

3.2. Objetivos

El objetivo principal de esta investigación es diseñar un estudio estadístico para demostrar la relación del ajedrez y el cálculo matemático básico. Para alcanzar este objetivo general, se plantean los siguientes objetivos secundarios:

a) Determinar si la práctica del ajedrez puede asociarse a una mejora en el cálculo.
b) Dar a conocer la relevancia histórica del ajedrez, así cómo su aplicación diaria en algoritmos y fórmulas matemáticas, como en la inteligencia artificial.

4. Materiales y métodos

4.1. Revisión bibliográfica

La metodología empleada en este trabajo se divide en un marco teórico y otro práctico. Para la parte teórica se ha seguido una búsqueda bibliográfica de fuentes relevantes como libros, artículos académicos, recursos digitales relacionados con el cálculo matemático y tesis doctorales. Las fuentes se han escogido según su importancia y fiabilidad, recogiendo aquellas que estén más relacionadas con el tema de estudio. Posteriormente, se ha realizado un análisis de la información seleccionando aquella más relevante con el objetivo de construir una base teórica que sustente la investigación.

4.2. Diseño experimental

Para la parte práctica se ha diseñado un test de cálculo numérico con operaciones realmente básicas (sumas, restas, multiplicaciones y divisiones). Este test ha sido realizado por 26 estudiantes con edades comprendidas entre 15 y 18 años de los cuales 13 de ellos son jugadores expertos y otros 13 no lo son. Previamente, antes de la realización de la prueba, se ha establecido un tiempo de dos minutos. Una vez finalizada, los datos obtenidos han sido recogidos a través de Google Forms, para su posterior análisis estadístico.

4.3. Variables analizadas

En este estudio se han tenido en cuenta las siguientes variables:

a) Variable independiente: práctica habitual del ajedrez.
b) Variable dependiente: número de aciertos obtenidos en la prueba de cálculo.
c) Variable de control: tiempo máximo de realización (2 minutos).

4.4. Análisis estadístico

Los datos obtenidos han sido analizados mediante herramientas estadísticas descriptivas como medias, varianzas y desviaciones típicas. Por otro lado, se ha utilizado la estadística inferencial para realizar un contraste de hipótesis y aplicar una prueba de distribución t de Student para determinar diferencias estadísticamente significativas.

5. Resultados

5.1. Resultados obtenidos

La siguiente tabla recoge el número de aciertos obtenidos, distinguiendo entre los que juegan y no juegan al ajedrez.

Figura 1
Resultados obtenidos

Número de aciertos	
No jugadores	**Jugadores**
12	20
15	25
18	23
17	18
13	19
17	24
18	19
20	17
21	25
13	19
15	16
16	16
21	21

Nota. Elaboración propia.

5.2. Estadísticos descriptivos

Con el fin de obtener una visión general de los datos, se calcularon las medias ($\bar{x}$), varianzas (S_x^2) y desviaciones típicas (S_x) a través de las siguientes fórmulas, teniendo en cuenta el tamaño muestral n = 13.

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} = \frac{216}{13} = 16{,}615$$

$$\bar{y} = \frac{\sum y_i}{n} = \frac{262}{13} = 20{,}154$$

$$S_x^2 = \frac{\sum {X_i}^2}{n} - \bar{X}^2 = \frac{3696}{13} - 16{,}615^2 = 8{,}2495$$

$$S_y^2 = \frac{\sum {y_i}^2}{n} - \bar{y}^2 = \frac{5404}{13} - 20{,}154^2 = 9{,}5086$$

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum {X_i}^2}{n} - \bar{X}^2} = \sqrt{8{,}2495} = 2{,}8722$$

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum {y_i}^2}{n} - \bar{y}^2} = \sqrt{9{,}5086} = 3{,}0836$$

Estos resultados muestran de forma general, que los jugadores obtuvieron mejores resultados en cálculo básico. No obstante, recurrimos a la estadística inferencial para poder plantear diferencias estadísticas.

5.3. Contraste de hipótesis

Dimos los pasos correspondientes a un test o contraste de hipótesis para dos medias independientes:

- **Formulación de la hipótesis:** formulamos la hipótesis como un contraste unilateral izquierdo donde supusimos que la media de la población de jugadores de ajedrez (llamada μ_2) es superior a la media de la población no jugadora (llamada μ_1). Esto es lo que pretendimos ver, por lo que fue nuestra hipótesis alternativa (H_1). La hipótesis nula (H_0) es la que pretendíamos rechazar. Quedando por tanto:

  H_0: $\Delta = \mu_1 - \mu_2 \geq 0$ (no hay diferencias significativas entre las medias poblacionales)

  H_1: $\Delta = \mu_1 - \mu_2 < 0$ (sí hay diferencias significativas entre las medias poblacionales)

- **Selección del estadístico de contraste:** para contrastar la hipótesis utilizamos los datos recogidos en las muestras. Aquí tuvimos que manejar una fórmula matemática que se justifica a un nivel superior al de nuestro trabajo. Estudios superiores de estadística demuestran que, en este caso, el estadístico de contraste (lo llamamos Tobs, porque el nivel que observamos utilizando la llamada distribución t de Student) se obtiene así:

$$T_{OBS} = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}{\hat{\sigma}_D}$$

$$\hat{\sigma}_D = \sqrt{\frac{\hat{s}_1^2 + \hat{s}_2^2}{n}}$$

Definiciones: en la primera expresión $\bar{y}_1$ es la media de las puntuaciones de los no jugadores; $\bar{y}_2$ referencia la media de las puntuaciones de los jugadores; la segunda expresión nos da el error típico muestral donde aparece la suma de las varianzas corregidas de las puntuaciones de jugadores y no jugadores , y la n representa el tamaño de la muestra.

Estas varianzas corregidas las utilizamos según la teoría en tamaños muestrales menores que 100 (que es nuestro caso). Para obtenerlas utilizamos la siguiente fórmula:

$$\hat{s}^2 = \frac{n}{n-1}\, s^2$$

Estas son las fórmulas que recogimos, necesitamos y aplicamos de forma concreta en el cálculo del estadístico de contraste.

- **Determinación del nivel de significación:** establecimos un n.s. $\alpha = 1\%$. Esto implica entonces que en caso de rechazar la H_0 tuvimos una probabilidad de error de tan solo un uno por ciento.

- **Definición de la región de rechazo:** esto nos permitió establecer una regla de decisión, RD, para saber finalmente si debemos aceptar o rechazar H_0 (hipótesis nula). Las matemáticas necesarias para esto también se encontraban por encima del nivel de este trabajo. Aquí solo apuntamos que debemos consultar una tabla estadística que es conocida como distribución t de Student. La teoría nos dijo que hay un valor expresado en la siguiente forma que pudimos consultar en dicha tabla y que nos permitió establecer la RD.

$$\propto {}^{t}_{2n-2}$$

En nuestro caso, la tabla nos dio el valor de la variable t de la distribución t de Student correspondiente al percentil 1% con 24 grados de libertad, que quedó expresado de la siguiente forma:

$$0{,}01\ {}^{t}_{2\cdot 13-2} = 0{,}01\ {}^{t}_{24} = -2{,}192$$

Finalmente siguiendo un razonamiento de estadística avanzada establecimos la RD en los siguientes términos: rechácese la H_0 si:

$$T_{OBS} \leq \propto {}^{t}_{2n-2} = -2{,}192$$

Posteriormente, calculamos Tobs con las fórmulas establecidas en el paso dos.

- **Obtención del estadístico de contraste:** calculamos primero las varianzas corregidas a partir de las varianzas obtenidas en las muestras:

$$\hat{s}_1^2 = \frac{n}{n-1} s_1^2 = \frac{13}{13-1} 8{,}2495 = 8{,}937$$

$$\hat{s}_2^2 = \frac{n}{n-1} s_2^2 = \frac{13}{13-1} 9{,}5086 = 10{,}301$$

Calculamos posteriormente el error típico muestral:

$$\hat{\sigma}_D = \sqrt{\frac{\hat{s}_1^2 + \hat{s}_2^2}{n}} = \sqrt{\frac{8{,}937 + 10{,}301}{13}} = 1{,}216$$

Finalmente calculamos el valor de Tobs:

$$T_{OBS} = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}{\hat{\sigma}_D} = \frac{16{,}615 - 20{,}154}{1{,}216} = -2{,}910$$

- **Adopción de una decisión estadística:** como se muestra, Tobs es igual a -2,91 por lo que se rechaza la H_0 (hipótesis nula) con una probabilidad de error del 1%, lo cual valida nuestra hipótesis de que la media de los jugadores de ajedrez está por encima de la media de los que no juegan.

$$T_{OBS} = -2{,}91 \leq -2{,}162 = \propto {}^{t}_{2n-2} = 0{,}01\,{}^{t}_{24}$$

5.4. El tamaño del efecto

Tras obtener una significación estadística en la idea de que la media de los jugadores de ajedrez en una prueba de cálculo numérico básico está por encima de la media de los que no juegan. Nos preguntamos finalmente si podíamos establecer también una significación práctica o real. Para ello la estadística nos proporcionó en este caso el siguiente índice, d, conocido como diferencia de medias estandarizada, que obedece a la siguiente expresión:

$$d = \frac{\bar{y}_1 - \bar{y}_2}{\hat{\sigma}} \qquad \hat{\sigma} = \sqrt{\frac{\hat{s}_1^2 + \hat{s}_2^2}{2}}$$

Utilizando los datos de las muestras, obtuvimos:

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{8{,}937 + 10{,}301}{2}} = 3{,}101$$

$$d = \frac{16{,}615 - 20{,}154}{3{,}101} = -1{,}14$$

La estadística también demuestra que se puede llegar a este valor utilizando Tobs con esta otra fórmula equivalente:

$$d = T_{OBS} \sqrt{\frac{2}{n}} = -2{,}91 \sqrt{\frac{2}{13}} = -1{,}14$$

Para entender el valor de este índice, utilizamos el criterio de Cohen para la interpretación de la diferencia de media tipificada que se muestra en la siguiente tabla:

Figura 2

Criterio de Cohen para la interpretación de la diferencia de media tipificada

Valor de d	Magnitud
0	Nula
±0.20	Baja
±0.50	Media
±0.80	Alta

Nota. Elaboración propia.

Al haber obtenido d = -1.14 podemos decir que la magnitud es muy alta y que por tanto existe una significación práctica muy relevante a partir de los datos obtenidos. En definitiva, los datos arrojaron un resultado coherente pues una vez efectuados todos los cálculos pudimos hablar que se ha obtenido tanto una significación estadística como una significación práctica.

6. Conclusión

A partir de los objetivos planteados en esta investigación se han podido obtener las siguientes conclusiones:

- En primer lugar, se ha cumplido el objetivo principal de esta investigación: "Diseñar un estudio estadístico para demostrar la relación del ajedrez y el cálculo matemático básico". Los resultados muestran que hay tanto una significación estadística como una significación práctica. Con esto, podemos afirmar que la práctica de ajedrez influye positivamente en el cálculo matemático básico, ya que no solo en base a los datos obtenidos, sino también según la regla de decisión (RD) podemos concluir que es altamente determinante, debido a la magnitud del efecto; un hallazgo que, asimismo, permite alcanzar nuestro segundo objetivo: "Determinar si la práctica del ajedrez puede asociarse a una mejora en el cálculo".

- Además, se ha logrado cumplir el tercer objetivo: "Dar a conocer la relevancia histórica del ajedrez, así cómo su aplicación diaria en algoritmos y fórmulas matemáticas, como en la inteligencia artificial.". Mediante el estudio de problemas matemáticos relacionados con el tablero, hemos podido concluir que grandes matemáticos como Shannon pudieron determinar los algoritmos, que como la Real Academia Española (s. f.) los describe son: "Un conjunto ordenado y finito de operaciones que permite hallar la solución de un problema", que hoy conforman herramientas que usamos a diario. Sin el ajedrez, la aparición de estas fórmulas, en parte, no sería posible a día de hoy.

7. Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a los responsables de las materias de Análisis de Datos y de Modelos Estadísticos del Grado de Psicología de la UMU. Además, nos gustaría agradecer a nuestro tutor; Alberto Martínez Lozano del departamento de matemáticas, a nuestro profesor de la asignatura de investigación Antonio Garrigós Escudero y por último a nuestras familias por el apoyo que nos han brindado.

8. Bibliografía y webgrafía

Edmonds, D., & Eidinow, J. (2004). *Bobby Fischer goes to war: How the Soviets lost the most extraordinary chess match of all time*. HarperCollins.

García, L. (2020). "El chip que inspira al genio". *ChessBase España.* Disponible en: https://es.chessbase.com/post/leontox-garcia-en-el-pais-el-chip-que-inspira-al-genio [Consulta: 11 de noviembre de 2025].

Jiménez, J. (2025). *Contribución del ajedrez al aumento de la capacidad de comprensión matemática y argumentación de problemas.* Trabajo de investigación de bachillerato, I.E.S. Juan Gris. Disponible en: https://issuu.com/revistajuangris/docs/bachillerato_de_investigaci_n_contribuci_n_del_aj [Consulta: 4 de noviembre de 2025].

López, I. (2025). "Ajedrez y matemáticas: el juego infinito". Mikel Gurea, 13 de mayo. Disponible en: https://www.mikelgurea.com/ajedrez-y-matematicas-el-juego-infinito/ [Consulta: 16 de enero de 2026].

Muñoz, D. (s.f). Ajedrez y matemáticas. The Zugzwang Blog. Disponible en: https://thezugzwangblog.com/ajedrez-y-matematicas/ [Consulta: 20 de febrero de 2026].

Pérez, R. (2015) Matemáticas y ajedrez. Trabajo de Fin de Grado (TFG). Universidad de Murcia, España. Disponible en: https://www.um.es/documents/118351/1884002/TFG_PEREZ+GONZALEZ.pdf/373824ff-a05e-496f-89ce-d7a58fb99faa [Consulta: 16 de octubre de 2025].

Real Academia Española. (s. f.). Algoritmo. En Diccionario de la lengua española. Disponible en: https://www.rae.es/diccionario-lengua-espanola/algoritmo [Consulta: 7 de octubre de 2025].

Siven, A. (2024). Systematic analysis of the evolution of chess computers. Tesis de Grado (Bachelor's thesis). LUT University. Disponible en: https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/168185/bachelorthesis_siven_artturi.pdf [Consulta: 20 de diciembre de 2025].

9. Anexo A. Prueba de cálculo matemático básico

El siguiente test ha sido diseñado para evaluar el nivel de cálculo matemático básico de la muestra. Incluye operaciones de suma, resta, multiplicación y división.

Instrucciones: Resuelve las siguientes operaciones mentalmente. Dispone de 2 minutos.

1. $8 + 6 \times 2 =$
2. $(13 + 7) \div 2 =$
3. $45 \div 9 \times 2 =$
4. $30 - 9 \div 3 =$
5. $5 \times 7 - 10 =$
6. $36 \div 6 \times (-4) =$
7. $9 \times 4 - 2 =$
8. $(44 - 4) \div 5 =$
9. $24 \div 6 \times 3 =$
10. $(6 + 4) \times 2 =$
11. $60 - 20 \div 4 =$
12. $14 + 6 \div 2 =$
13. $4 \times 7 - 3 =$
14. $90 \div 10 \times 3 =$
15. $(12 + 8) \div 4 =$
16. $19 + 1 \times 6 =$
17. $42 \div 6 \times 3 =$
18. $28 - 14 \div 2 =$
19. $5 \times 9 - 4 =$
20. $16 \div 4 + 5 =$
21. $(15 + 5) - 4 =$
22. $-56 \div 7 \times 4 =$
23. $9 - (7 - 3) =$
24. $40 \div 5 \times 2 =$
25. $7 \times 6 - 3 =$
26. $22 - 11 + 6 =$
27. $(16 + 9) - 7 =$
28. $35 \div 5 \times 3 =$
29. $6 \times 7 - 2 =$
30. $18 \div 3 \times 2 =$
31. $32 + 8 \div 4 =$
32. $(90 - 60) \div 3 =$
33. $9 \times 2 + 6 =$
34. $35 - 5 \div 5 =$
35. $54 \div 6 \times 2 =$
36. $(10 + 8) \div 3 =$
37. $20 - 8 + 4 =$
38. $7 \times 4 - 4 =$
39. $45 - 15 \div 5 =$
40. $36 \div 9 + 8 =$
41. $(60 - 30) \div 5 =$
42. $9 \times 5 - 3 =$
43. $21 \div 3 \times 2 =$
44. $40 - 20 \div 2 =$
45. $18 + 12 \div 3 =$
46. $6 \times 9 - 6 =$
47. $3 \times 4 + 2 =$
48. $5 + 5 \div 5 =$
49. $(6 \times 5) \div 5 =$
50. $2 + 3 \div 3 =$

Nota. Prueba de cálculo. Elaboración propia.

10. Anexo B. Gráficos y tablas complementarias.

Figura 3

Resultados del test realizado de los no jugadores

Nombre	Marca temporal	Numero de acertos	Numero de fallos
IVAN	5/02/2026 11:39:29	12	2
Aitana	5/02/2026 13:47:29	15	1
Carlota	5/02/2026 13:50:43	18	1
Asier	9/02/2026 17:02:22	17	0
Ricardo	10/02/2026 14:31:06	13	0
De Leiva	10/02/2026 22:35:54	17	2
Javier	11/02/2026 21:32:10	18	5
Albert	12/02/2026 17:26:28	20	0
Antonio	12/02/2026 17:28:47	21	1
Nico	12/02/2026 22:51:47	13	0
Carmen	16/02/2026 15:22:03	15	1
Gonzalo	16/02/2026 15:25:46	16	0
Ana	19/02/2026 17:58:08	21	1

Nota. *Elaboración propia.*

Figura 4

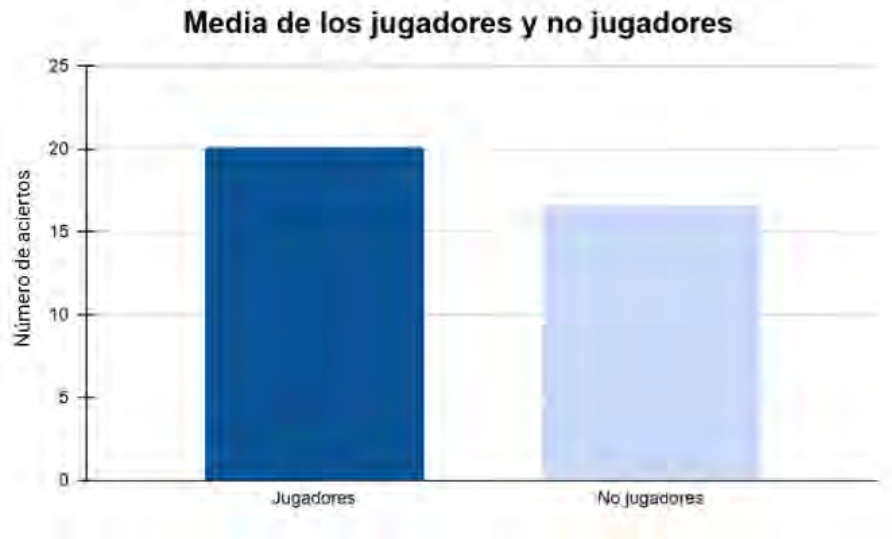
Resultados del test realizado de los jugadores

Nombre	ELO FIDE	Numero de aciertos	Numero de fallos	Marca temporal
Adrián	1800	20	0	6/02/2026 8:35:18
Dani	2200	25	0	6/02/2026 8:35:23
Pablo	2150	23	0	8/02/2026 11:10:41
Georgii	1800	18	0	8/02/2026 11:13:13
Carlos	2000	19	0	8/02/2026 11:19:39
Andres	1800	24	0	8/02/2026 11:19:54
Elena	2000	19	0	8/02/2026 11:32:17
Cristian	1800	17	0	8/02/2026 12:08:11
Garcerán	2100	25	0	8/02/2026 12:26:03
Javier Valera	2000	19	1	8/02/2026 12:30:53
Lucía	1500	16	0	8/02/2026 13:26:53
Sami	1400	16	1	8/02/2026 11:21:48
Paris	2150	21	0	9/02/2026 9:16:21

Nota. *Elaboración propia.*

Figura 5

Media de los jugadores y no jugadores



Nota. *Elaboración propia.*

REVOLUCIÓN LÍQUIDA

EL ACEITE COMO MOTOR DE SOSTENIBILIDAD

AUTORA: ALBA LÓPEZ CARRILLO
TUTORES: JUAN LUIS CÁNOVAS

IES RUIZ DE ALDA
2° BACHILLERATO DE INVESTIGACIÓN

CURSO 2025/2026

Índice

Índice 2
Resumen 3
1. Introducción 4
2. Estado de la cuestión 4
3. Objetivos 5
4. Metodología 5
5. Resultados 5
    5.1. Fabricación de biocombustible 5
    5.2. Poder calorífico 8
    5.2. Realización de encuesta 9
6. Conclusiones 10
7. Agradecimientos 11
Referencias 11
Información adicional 13

Resumen

Desde las últimas décadas se ha presentado una creciente preocupación por la urgente necesidad de encontrar fuentes de energía renovables, que disminuyeran su acción en el cambio climático y nos permitiera usar energías más sostenibles.
Entre estas búsquedas aparecen los biocombustibles, producidos a partir de aceite vegetal usado, un residuo que procede principalmente de nuestra actividad doméstica, así como de nuestra actividad industrial.
La principal misión de este trabajo de investigación, es estudiar en profundidad la necesidad de reutilización de los aceites vegetales, que cuando no se gestionan adecuadamente, contaminan los recursos hídricos y afectan la biodiversidad. El aceite usado, procedente de fritura y de procedencia industrial, es una seria amenaza para el medio ambiente. Hay una línea de recuperación del mismo como biocombustible, la cual presenta una solución sostenible que contribuye a la reducción de residuos y al uso de fuentes de energía renovables; pero no olvidaremos su reutilización en bioplásticos, detergentes, jabones e incluso su implicación en la fabricación de cosméticos.
Durante este proyecto se desarrollará un enfoque de los distintos aspectos relacionados con la reutilización de los aceites vegetales usados, haciendo hincapié en las diferentes tecnologías y procesos que forman parte en la recuperación y transformación de los aceites vegetales. Para ello se exploran las ventajas ambientales, económicas y técnicas de este proceso, evaluando su viabilidad y su contribución a un futuro más sostenible. Para ello, se ha tenido en cuenta una parte experimental donde se ha fabricado biodiésel, posteriormente purificado para poder ser utilizado en motores diésel convencionales.

Palabras clave:

Aceite vegetal usado, biocombustibles, sostenibilidad, reciclaje, energía renovable, residuos domésticos, impacto ambiental, contaminación.

1. Introducción

En un contexto donde los efectos del cambio climático y la crisis medioambiental son cada vez más evidentes, surge la necesidad de encontrar alternativas sostenibles que reduzcan el impacto de la actividad humana sobre el medio ambiente. A medida que los combustibles fósiles, principales responsables de las emisiones de gases de efecto invernadero, continúan agotándose y alterando el equilibrio de los ecosistemas, las energías renovables se presentan como la respuesta a esta problemática.

El aceite vegetal usado, un residuo común generado tanto en los hogares como en la industria, puede contaminar el agua, afectar la biodiversidad y agravar los problemas ambientales en general. Por ejemplo, un solo litro de aceite puede contaminar hasta 1.000 litros de agua, afectando ecosistemas acuáticos, limitando el acceso a agua potable y amenazando la biodiversidad. Este problema, sumado a la necesidad de fuentes de energía más limpias, ha llevado al desarrollo de tecnologías que permiten transformar este residuo en biocombustibles, bioplásticos, detergentes y cosméticos.

En esta línea, los biocombustibles emergen como una de las alternativas más prometedoras para reducir la huella de carbono y promover un futuro más sostenible. Además, es importante destacar, que a través de procesos como la transesterificación, el aceite vegetal usado se transforma en biodiesel, una alternativa renovable que puede ser utilizada en motores diésel. De hecho, en otros países como Brasil, el uso de biodiesel producido a partir de aceite usado es una práctica común, lo que ayuda a reducir las emisiones de CO_2. Por otro lado, los bioplásticos elaborados a partir de aceite reciclado ofrecen una alternativa a los plásticos convencionales, cuya producción y desecho tienen un alto impacto medioambiental. En la fabricación de detergentes, el aceite puede actuar como base para productos de limpieza más ecológicos y biodegradables. En la cosmética, puede ser transformado en cremas y jabones, disminuyendo la huella ecológica de los productos de belleza.

En suma, este proyecto de investigación tiene como objetivo profundizar en la necesidad de reutilización del aceite vegetal usado, explorando sus múltiples aplicaciones, especialmente en la producción de biocombustibles y otros productos sostenibles.

El principal motivo para la elección del tema de este proyecto de investigación es el interés personal por abordar una problemática actual y relevante, cuyo estudio ofrece la posibilidad de concienciar a la gente sobre la importancia del reciclaje y la gestión responsable de los residuos. Este proyecto no solo permite investigar soluciones sostenibles, sino también ser un referente en la sensibilización sobre la problemática de los residuos domésticos y su impacto en el medio ambiente.

2. Estado de la cuestión

Existe una preocupación creciente por el manejo de residuos y la búsqueda de soluciones energéticas renovables, por lo que se han hecho numerosos avances en este campo.

En las últimas décadas, el cambio climático ha impulsado el desarrollo de fuentes de energía renovables, con el fin de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de los combustibles fósiles. Los biocombustibles, que incluyen biodiesel, bioetanol, y biogás, han sido promovidos como una alternativa más sostenible, ya que son fuentes renovables que pueden ayudar a disminuir la dependencia de los combustibles fósiles y contribuir a la reducción de la huella de carbono. Se estima que el aceite usado representa una fracción muy significativa de los residuos sólidos generados tanto en los hogares como en la industria alimentaria. Este residuo se ha identificado como una fuente potencial de biocombustibles, lo que ofrece una doble ventaja, por un lado, disminuir la contaminación y por otro, reutilizar un desecho para generar energía limpia.

Por otro lado, diversos estudios han demostrado que el aceite vegetal usado puede ser transformado en biodiesel mediante procesos como la transesterificación, que permite convertir los

triglicéridos presentes en el aceite en ésteres metílicos, que son una forma de biodiesel. Este biocombustible puede ser utilizado en motores diésel, contribuyendo a la reducción de emisiones de CO_2 y otras partículas contaminantes. Además de su conversión en biocombustible, el aceite usado se ha explotado como materia prima en la fabricación de bioplásticos, detergentes e incluso productos cosméticos.

Aunque la reutilización de aceites vegetales usados tiene un gran potencial, existen algunos desafíos como la recolección eficiente, la gestión de grandes volúmenes de aceite usado, la infraestructura, las tecnologías de conversión o la calidad del aceite reciclado. A pesar de estos desafíos, el estudio de la reutilización de aceites vegetales usados sigue siendo un área prometedora.

3. Objetivos

- Investigar sobre el origen de los aceites vegetales usados, que permita cuantificar la reducción de la emisión de CO2 por el uso de biocombustibles, frente al uso de combustibles fósiles.

- Demostrar mediante experimentación la diferencia de poder calorífico del biocombustible frente al aceite vegetal puro.

- Valorar el conocimiento de la sociedad sobre el reciclaje del aceite usado producido en sus hogares.

- Concienciar a la población sobre el impacto ambiental de la mala gestión del aceite usado en los hogares y su repercusión en los acuíferos.

4. Metodología

La metodología empleada en este proyecto se fundamenta en la experimentación de laboratorio y en una encuesta.

En la parte experimental, se ha realizado la elaboración de biodiésel a partir de aceite vegetal usado. Para ello, se ha empleado material de laboratorio como matraces, embudos, vasos de precipitados, entre otros. Además, se han aplicado todas las medidas de seguridad requeridas para trabajar en un laboratorio, debido al uso de reactivos para el proceso de fabricación. Asimismo, se hizo uso de sosa cáustica, metanol, agua destilada y aceite usado. Por otro lado, se realizó un estudio para determinar la diferencia de poder calorífico entre el aceite y el biodiésel obtenido. Además, este biodiésel fabricado ha sido probado en distintos motores diésel para comprobar su funcionamiento.

De manera paralela, se realizó una encuesta en Formularios de Google, con más de trescientas respuestas, que fue difundida mediante canales de difusión en Whatsapp y otras redes sociales. Los resultados de dicha encuesta fueron estudiados en Hojas de Cálculo, para ser posteriormente representados en gráficas. Los datos obtenidos permitieron evaluar el conocimiento y la gestión del aceite vegetal usado por parte de la población, así como estimar su impacto ambiental.

5. Resultados

5.1. Fabricación de biocombustible

Para la demostración del proceso de fabricación de biocombustible, este curso se ha realizado biodiésel casero mediante aceite de girasol usado, que es uno de los aceites más óptimos

para la fabricación de este. Para comprobar su efectividad, se realiza la comparación de poder calorífico frente al aceite puro al encender una mecha.

Normalmente, el proceso para la síntesis de biodiésel es mediante una reacción de transesterificación. Dicho proceso se basa en la reacción de un triglicérido con un alcohol, ya sea metanol, etanol o butanol, que ocurre en presencia de un catalizador (Medina, Chávez Vela, Jáuregui Rincón, 2012).

La presencia de catalizadores es necesaria para que ocurra la reacción de transesterificación, existen diversos tipos de catalizadores posibles a usar. Los más usados son el NaOH (hidróxido de sodio o sosa cáustica) y el KOH (hidróxido de potasio), que forman parte de los catalizadores básicos. El motivo principal de su uso se debe a su precio, a pesar de ser altamente corrosivos.

En este proyecto, se ha utilizado el catalizador de sosa cáustica, debido a su facilidad de obtención y su gran efectividad.

Demirbas (como se citó en Medina, Chávez y Jáuregui) plantea que el alcohol es el principal insumo para la producción de biodiesel. Los alcoholes que más comúnmente se utilizan para producir biodiesel son metanol y etanol, aunque, se pueden utilizar otros alcoholes –propanol, isopropanol, butanol y pentanol–, pero éstos son mucho más sensibles a la contaminación con agua, la cual inhibe la reacción. Pese a su naturaleza tóxica, el metanol es el alcohol más utilizado debido a su alta reactividad y bajo costo; además, los ésteres de metilo presentan mejores propiedades (menor viscosidad, punto de nube a temperaturas más bajas, por ejemplo) de acuerdo a las necesidades de los motores, en comparación de los ésteres producidos con alcoholes superiores.

A pesar de la gran variedad de alcoholes utilizables, se ha decantado por el metanol, dando uso a todas las medidas de precaución necesarias en un laboratorio.

Dentro de las materias primas utilizadas para la fabricación de biodiésel se requieren de aceites o grasas, debido a su composición química formada por triglicéridos. Generalmente, se suelen utilizar aceites provenientes de los cultivos oleaginosos y de los tejidos grasos de los animales. Sin embargo, como se ha mencionado anteriormente, cualquier sustancia formada por triglicéridos es apta para producir biocombustible, ya sea con mayor o menor eficacia. Dentro de los aceites procedentes de semillas oleaginosas se encuentran el aceite de girasol, altamente recurrido para este propósito, y la colza, además de la soja, el coco o la palma. Aunque existen diversos inconvenientes para la extracción de estos, por lo que se pueden aprovechar otras especies aparte de estos aceites convencionales. Estas otras especies están adaptadas a las condiciones del país donde se localizan y mejor posicionadas para ser cultivadas energéticamente. Entre estos destacan los aceites de Camelina sativa, Crambe abyssinica y Jatropha curcas.

Como bien se citó en Medina, Chávez y Jáuregui; Kosa and Ragauskas expuso que otras materias primas han sido estudiadas, como los aceites vegetales no combustibles y los aceites producidos por microorganismos, como pueden ser bacterias, levaduras o algas. Esto se debe a que estos son capaces de sintetizar triglicéridos intracelulares, bajo unas determinadas condiciones, mediante diversas fuentes de carbono, ya sean azúcares, ácidos orgánicos, etc.

Como se ha mencionado anteriormente, se ha utilizado aceite de girasol, uno de los más recurrentes en la fabricación de biocombustible debido a la facilidad de reacción en el proceso de transesterificación, a la buena calidad de dicho aceite, además de la abundancia de cultivos y su adaptabilidad.

> Sin embargo, presenta varias limitaciones. La producción anual de aceite de girasol es de 25 '1 millones de toneladas. Si esta cantidad se dividiera para la producción de biodiésel y para alimentación, nos encontraríamos con dos grandes inconvenientes. Por un lado, el aumento del precio del aceite de girasol y su suministro en la industria alimentaria. Por otro lado, la

cantidad destinada a producción de biodiésel no sería suficiente para satisfacer las necesidades. Debido a estas limitaciones, hoy en día sigue siendo tema de estudio el intentar llevar a cabo una producción industrial de biodiésel a partir de aceite de girasol" (Cortés-Sánchez, Gata-Montero, Pipió-Ternero, Rodríguez-Rivas y Sánchez-Santos, 2019, p.22).

Normalmente, antes de comenzar la fabricación de biocombustible, se realiza un pretratamiento del aceite para determinar sus propiedades fisicoquímicas para eliminar las posibles impurezas. Este pretratamiento puede consistir en el desgomado, en el que se eliminan fosfolípidos; neutralización, para eliminar los ácidos grasos libres de triglicéridos (AGL) que no van a resultar útiles para el proceso de transesterificación; secado, para suprimir cantidades de agua presentes en dicho aceite mediante un evaporador al vacío.

En este proyecto, se ha usado aceite de cocina previamente usado, por lo que se ha debido realizar un pretratamiento del aceite mediante el filtrado, para poder eliminar restos. Para ello, se ha usado un embudo y un trapo para poder realizar la filtración de este de forma sencilla y eficaz.

Posteriormente, se deben mezclar el catalizador junto al alcohol. La cantidad de alcohol es proporcional a la cantidad de aceite, esta proporcionalidad se ve afectada según el aceite que se decida usar. Es comúnmente realizado usando el 20% de metanol respecto al aceite. Como bien se cita en Buitrago Mejía (2023), "Cuando se mezcla el metanol con el hidróxido de sodio (catalizador) se produce una reacción exotérmica cuyo resultado es el metóxido de sodio. "Exotérmica" quiere decir que desprende calor. Los utensilios que entren en contacto con el catalizador deben estar totalmente secos" (p.25).

Una vez se haya dejado reposar el metóxido de sodio unos días, se mezclan el aceite junto con el metóxido de sodio para dar lugar a la transesterificación. Según Journey to Forever (s.f.) "Durante la transesterificación, los ácidos grasos se separan de la glicerina, y el metanol se une a ellos formando metilésteres (biodiésel). El hidróxido de sodio estabiliza la glicerina".

Una vez se termina de agitar, se deja en reposo unos días para que se separen las capas. Se forman dos capas: una capa de biodiésel encima y otra capa de glicerina, que se solidifica a los 38ºC, debajo. Posteriormente, se realiza la decantación, en la que queda claro que solo se obtienen dos subproductos: parafina y biodiésel, ambos utilizables (consultar figura 4).

La capa de glicerina es la más oscura. La glicerina extraída no es glicerina pura, sino que está mezclada con metanol y cera, mediante evaporación o algunos otros procesos similares se puede extraer la glicerina pura. La glicerina pura puede ser usada para medicamentos, tintes, etc., un uso casero puede ser la fabricación de velas.

La capa de arriba es el biodiésel, el cual habría de ser purificado para poder obtener un mayor rendimiento. No obstante, en la actualidad el uso del biodiésel en los vehículos está regulado por una serie de normativas de calidad para la seguridad de los individuos.

Pero, ¿qué diferencia habría de introducir aceite a introducir el biodiésel en un motor? ¿Por qué sometemos al aceite a todos estos procesos? Es por esto, por lo que se ha hecho una comparativa entre el poder calorífico de ambos.

En las dos mechas de la figura 5, se ha introducido aceite de girasol limpio y en la otra se aportó el biodiésel fabricado. En la comparación visual en la combustión de ambas se observa la diferencia de comportamiento.

La vela suministrada por biodiésel mostró una llama viva, con estabilidad y de mayor intensidad que la vela alimentada con aceite limpio, que se comportó con una llama más débil,

inestable y generando humo negro debido a su combustión incompleta por su mayor viscosidad y menor volatilidad respecto al biodiesel, que dificulta una correcta oxidación de la llama.

Este biodiésel fabricado a partir del aceite de girasol se ha probado en un motocultor marca agria de 21CV, y se ha comprobado que este funciona adecuadamente. Esto respalda el hecho de que es posible fabricar combustible a raíz de aceite reutilizado, y que este funciona de manera correcta. No se observaron irregularidades en el ciclo de combustión ni pérdida de potencia aparente durante la prueba de campo.

5.2. Poder calorífico

El poder calorífico de un combustible es la cantidad de energía en forma de calor que se libera durante su combustión por unidad de masa o volumen en condiciones controladas. Este parámetro es determinado por un calorímetro de bomba, un dispositivo cerrado en el que la combustión ocurre a volumen constante y la energía liberada se mide con precisión a través del aumento de temperatura de un medio conocido. No obstante, en el presente trabajo, se ha usado un medio más sencillo y abierto debido a la falta de calorímetro de bomba. El montaje es abierto, consiste en quemadores que transfieren calor a un vaso de precipitados con agua, registrando la variación de temperatura con un termómetro cada 30 segundos. Este procedimiento no es tan exacto, aunque permite obtener una estimación del rendimiento térmico de cada combustible y compararlos bajo condiciones similares.

La metodología experimental se basa en la colocación de un volumen conocido de agua en un vaso de precipitados, bajo el cuál se aplicó la llama de un quemador alimentado alternativamente con aceite y biodiésel casero. La temperatura inicial del agua se midió con un termómetro en ambos casos, y se fue registrando de manera progresiva durante 7 minutos. Además, se anotó la masa de combustible consumida en cada caso.

Para poder hacer los cálculos, se debe tener en cuenta todas las variables que han sido anotadas para la realización del análisis.

$$Q_{agua} = m_{agua} \cdot c_{p,agua} \cdot \Delta T_{aceite/biodiésel} \qquad (9.1)$$

En primer lugar, se calcula el calor que absorbe el agua a lo largo del calentamiento del vaso de precipitados. Para ello, se emplea la ecuación mostrada en 9.1, en la que m_{agua} corresponde a la masa de agua utilizada, 150 mL, siendo 0,15 kg. Asimismo, se calculó con el calor específico del agua de 4186 J/kg·k. Calculando la diferencia de temperatura en ambos casos, se obtuvieron las siguientes energías para cada combustible.

Q_{agua} con biodiésel: 16074.24 J
Q_{agua} con aceite: 9669,66 J

Con estos resultados podemos concluir que el biodiésel logra transmitir mayor energía en el mismo tiempo, por lo que este es más efectivo liberando calor.

Se debe tener en cuenta que los resultados obtenidos son solo la fracción del calor que ha conseguido captar el sistema, pues existen pérdidas al medio. No obstante, como es un resultado

comparativo, los resultados demuestran que para las mismas condiciones experimentales, el biodiésel fabricado presenta un poder calorífico significativamente mayor.

Para evaluar la eficiencia real de los combustibles, se determinó la masa consumida por cada uno pesando los quemadores antes y después de los siete minutos de combustión. En el caso del biodiésel, fue 2,1 g, mientras que para el aceite, fue de 2,9 g. Para poder calcularlo, aplicamos la fórmula del Poder Calorífico Experimental (PC_{exp}).

$$PCexp = \frac{Qagua}{mcombustible} \quad (9.2)$$

PC_{exp} con biodiésel: 7654, 4 J/g
PC_{exp} con aceite: 3334, 3 J/g

Los valores obtenidos son inferiores a los tabulados en la documentación científica; esto se debe a la metodología empleada, ya que al no usar un calorímetro de bomba se producen pérdidas energéticas significativas. Esto deja claro la efectividad del biodiésel, ya que no solo aportó más calor al agua, sino que además lo hizo consumiendo menos masa de combustible.

Sin embargo, al haberse realizado bajo condiciones ambientales idénticas, la comparación es completamente válida: el biodiésel no solo libera energía de manera más eficiente, sino que además reduce el consumo de masa en un 27,5% respecto al aceite.

Como bien es posible apreciar en la gráfica, el aceite presenta un poder calorífico menor que el biodiésel elaborado en el laboratorio. Gracias a ello, podemos comprobar que tal y como se mostraba en la diferencia de combustión de la figura 21, el biodiésel quemará a mayor velocidad y mayor potencia.

5.2. Realización de encuesta

Se ha diseñado y difundido una encuesta a lo largo de todo el país con el objetivo de conocer el nivel de concienciación de la población en relación con la gestión y reutilización del aceite usado. Esta encuesta también busca identificar el conocimiento social acerca de la reutilización del aceite vegetal usado como una fuente de energía renovable, en biocombustibles, u otros productos como cosméticos, detergentes o bioplásticos.

Mediante Cuestionarios de Google, la encuesta fue contestada por familiares, institutos y redes sociales, obteniendo un total de 300 respuestas alcanzando un amplio rango de encuestados de diversos lugares y aspectos sociales. Las preguntas tratan sobre el conocimiento general de los impactos ambientales del aceite, y las prácticas llevadas a cabo.

A continuación, se muestra el análisis de las respuestas obtenidas para la valoración del conocimiento de la sociedad acerca de las alternativas sostenibles y de la reutilización de aceite usado.

La encuesta nos devuelve unos resultados donde los hogares generan pequeñas cantidades de aceite usado al mes. El 40% produce menos de 1 litro y un 30% entre 1 y 3 litros., por lo que se afirma que aproximadamente el 70% no supera los 3 litros mensuales. Únicamente un 13% genera entre 3 y 5 litros, y menos del 1% supera los 5 litros. Un 9% de los encuestados desconoce la cantidad de aceite que genera su hogar.

Realizando la media ponderada de estos datos recogidos, se afirma que la cantidad media de aceite usado generado por hogar asciende a 1,63 litros al mes.

La gran mayoría ha oído hablar del biodiésel, pero el desconocimiento de su precio es una muestra del grado de desinformación acerca de este. No obstante, hay un porcentaje de población que no conocía lo que era el biodiésel directamente. Solo unos pocos son los que son conscientes del precio de esta fuente renovable. Por tanto, estos resultados ponen en claro la falta de información acerca del biodiésel.

De los resultados obtenidos aproximadamente el 60% de los encuestados llevan el aceite usado a un punto de reciclaje o lo gestionan dándole nuevos usos, lo que está demostrando una buena conciencia ambiental. Aún así, existe una cantidad cerca de un 40% que no hace una gestión adecuada de reciclaje del aceite usado.

Los resultados de la encuesta nos permiten saber que la cantidad de residuo de aceite usado por familia es de 1,63 litros al mes. Uniendo el dato anterior con el número del Instituto Nacional de Estadística, que nos arroja una cantidad de 18 millones de hogares en 2020, se generan por hogar mensualmente aproximadamente 30 millones de litros de aceite, de los cuáles, 12 millones de litros son desechados de forma inadecuada.

Como se ha mencionado en apartados anteriores, MITECO establece que un solo litro de aceite usado es capaz de contaminar 40.000 litros de agua. Teniendo todos estos datos en cuenta, supondría que aproximadamente unos 500 millones de metros cúbicos de agua quedarían contaminados. Esta cantidad podría abastecer a 10 millones de personas durante todo un año. El agua no es un suministro de energía renovable, y es un bien que debemos saber proteger ya que es el sustento de todos los seres vivos. Todas nuestras acciones, hasta no llevar nuestro aceite usado hasta un punto de reciclaje, cuentan.

La principal barrera para el uso del biodiésel es la falta de información, no tienen suficiente conocimiento sobre qué es el biodiésel, cómo se usa o sus beneficios reales. El gráfico de la figura 8 nos arroja una realidad que es qué el problema principal es debido al desconocimiento más que a un problema económico o técnico. Por lo que habría que trabajar en la mejora de información, para pasar posteriormente a trabajar en el precio, disponibilidad y eliminar las dudas técnicas.

Aproximadamente el 80% de la población, su principal motivo para reciclar el aceite usado en sus hogares es para ayudar el medio ambiente, lo que representa un compromiso ambiental con una buena intención. Pero aún hay un porcentaje minoritario que nunca se ha planteado reciclar, lo haría para obtener un beneficio económico y deshecha la opción de tirarlo por el desagüe por miedo a las obstrucciones.

6. Conclusiones

En el laboratorio se ha podido comprobar como la combustión del biodiesel fabricado nos ofrece una llama mucho más limpia, con un mayor poder calorífico, un encendido más rápido y una combustión más eficiente frente al aceite puro. Se demuestra que se presenta una ventaja de carácter energético transformando el aceite usado en biocombustible. Asimismo, este biodiesel, tras ser sometido a procesos de purificación, es apto para poder hacer funcionar motores diésel convencionales.

Durante la experimentación se pudo sintetizar biodiesel casero de forma sencilla, utilizando la transesterificación con sosa cáustica y metanol mediante condiciones de laboratorio básicas, lo que promete a un aprovechamiento del aceite usado de forma doméstica. Teniendo en cuenta el precio del metanol, la sosa cáustica y otros materiales auxiliares, sin contar el precio del aceite ya que ha sido reutilizado, fabricar un litro de biodiésel cuesta alrededor de 60 céntimos.

Esta demostración confirma que el biodiésel es una alternativa eficiente y respetuosa con el medio ambiente y además, optimiza la combustión respecto al uso directo de aceite vegetal, por lo que se justifica el proceso químico de transformación requirió a la aplicación en motores de combustión.

De forma general la encuesta revela que la mayoría de la población ha oído hablar del biodiésel, pero tiene un gran desconocimiento sobre precios, ventajas, así como alternativa a combustibles no renovables.

Destaca el porcentaje de población que no recicla correctamente el aceite usado en su hogar, ya que casi un 40% no se deshace de él correctamente. Con esos datos se calcula que la cantidad de agua contaminada podría dar suministro a 10 millones de personas al año. Se evidencia la incoherencia práctica entre lo que afirma la población sobre lo que le importa y lo que realmente hace, ya que prácticamente el 80% de la población quiere ayudar al medio ambiente.

Este trabajo no es un punto y final, es un paso hacia una investigación más profunda durante el próximo año que permita trasladar a la sociedad que no únicamente es suficiente con la intención, que se debe dar paso a la acción.

7. Agradecimientos

Me gustaría agradecer a todos los que han hecho posible la realización de este trabajo.

En primer lugar, agradecer a mis tutores, Juan Luis Cánovas y Javier Pérez, por acompañarme todo este curso, dentro y fuera del laboratorio. Muchas gracias por toda vuestra paciencia, por hacerme mejorar y alimentar mi curiosidad.

También agradecer a Antonio Garrigós, profesor de la asignatura de investigación, quien no solo me enseñó todos los aspectos formales fundamentales de un proyecto de investigación, sino que además estuvo siempre lleno de buenos consejos, y de mucha motivación para seguir adelante.

Pero, sobre todo, me gustaría dar las gracias a mi padre. Por haber sido mi ejemplo a seguir desde pequeña, demostrando que con esfuerzo y dedicación podría conseguir lo que fuera, y por haber estado ahí siempre, aunque nadie más confiara en mí.

A todos, muchísimas gracias.

Referencias

Auría Pérez, D. (2015) *Estudio del proceso de hidrogenación de grasas*. Trabajo Fin de Carrera. Universidad de Zaragoza, Escuela de Ingeniería y Arquitectura. https://zaguan.unizar.es/record/37127/files/TAZ-PFC-2015-402.pdf

Buitrago Mejía, L.D. (2023) *Obtención de biodiésel a partir de aceite vegetal usado y modelación de una planta de producción*. Trabajo de grado. Universidad EAN. https://repository.universidadean.edu.co/server/api/core/bitstreams/32f639a7-eb2a-48bd-87e2-d6d15374a6ca/content

Bulla Pereira, E. (2014) *Diseño del proceso de producción del biodiesel a partir de aceites de fritura*. Trabajo de grado. Universidad Nacional de Colombia. https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/51747

Carbajal Azcona, M. (2013) *Manual de nutrición y dietética*. Departamento de Nutrición, Facultad de Farmacia, Universidad Complutense de Madrid. https://hdl.handle.net/20.500.14352/36607

Comisión Nacional de Energía (2013) *Informe anual sobre el uso de biocarburantes correspondiente al ejercicio 2011*. https://www.cnmc.es/sites/default/files/1719214_8.pdf

Cortés-Sánchez, M.D., Gata-Montero, E.M., Pipió-Ternero, A., Rodríguez-Rivas, Á. y Sánchez-Santos, J.M. (2019) 'Biocombustibles: tipos y estrategias de producción', *MoleQla: Revista de Ciencias de la Universidad Pablo de Olavide*, 35, pp. 37–50. https://investiga.upo.es/documentos/61e65781ab9201745649e566

González Canal, A. y González Ubierna, S. (2017) *Aceites usados de cocina: problemática ambiental, incidencias en redes de saneamiento y coste del tratamiento en depuradoras*. https://www.residusmunicipals.cat/uploads/activitats/docs/20170427092548.pdf

Gutiérrez Ballesteros, E. (2020) *Estudio y análisis de la obtención de biodiésel a partir de Jatropha curcas y aplicación a los motores de combustión interna alternativo*. Trabajo Fin de Grado. Universidad de Sevilla. https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/93027/fichero/TFG-3027+GUTI%C3%89RREZ+BALLESTEROS%2C+ENRIQUE.pdf

Journey to Forever (s.f.) *Cómo hacer biodiésel, primera parte*. https://journeytoforever.org/es/biocombustibles/como-hacer-biodiesel.cgi

Medina Ramírez, I.E., Chávez Vela, N.A. y Jáuregui Rincón, J. (2012) 'Biodiesel, un combustible renovable', *Investigación y Ciencia*, 20(55), pp. 62–70. Disponible en: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=67424409008

Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea (2009) *Directiva 2009/28/CE relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y posteriormente se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE*. Diario Oficial de la Unión Europea, L 140/16. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32009L0028

Parlamento Europeo y Consejo de la Unión Europea (2018) *Directiva (UE) 2018/2001 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables (refundición)*. Diario Oficial de la Unión Europea, L 328/82. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32018L2001

Pons, G.A. (2015) 'Aceites vegetales, hacia una producción sostenible', *El Hombre y la Máquina*, 46, pp. 9–19. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=47843368002

Roca Jusmet, J. (2022) 'La política climática y los combustibles fósiles: una perspectiva desde la oferta', *Revista de Economía Crítica*, 34, pp. 9–25. https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/192004/1/727609.pdf

Información adicional

Figura 1

Filtración del aceite

Nota. Elaboración propia

Figura 2

Aceite filtrado

Nota. Elaboración propia

Figura 3

Restos de la filtración

Nota. Elaboración propia

Figura 4

Decantación

Nota. Elaboración propia

Figura 5

Proceso de purificación

Nota. Elaboración propia

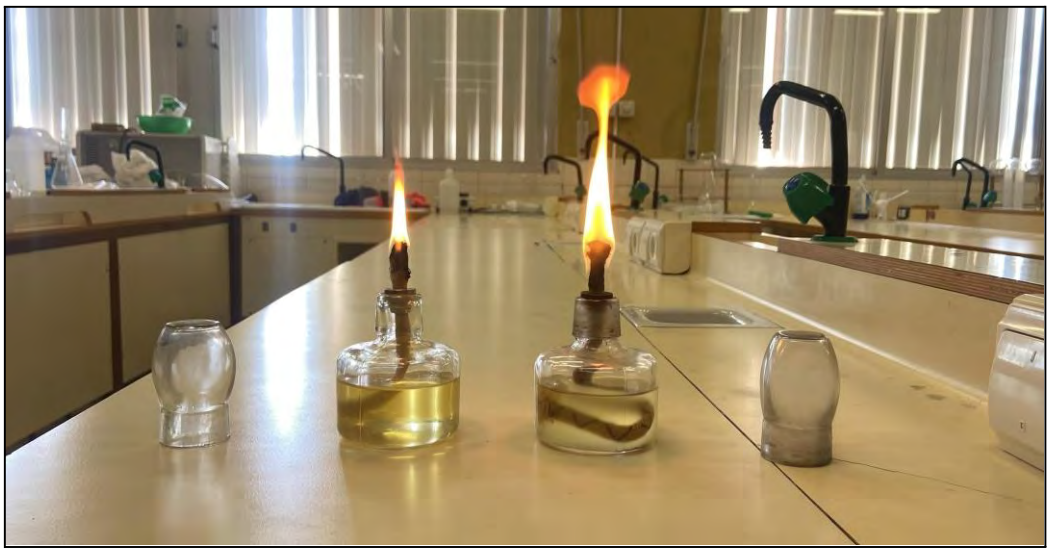
Figura 6

Biodiésel final

Nota. Elaboración propia

Figura 7

Diferencia de poder calorífico



Nota. El mechero de la izquierda está lleno de aceite puro, mientras que el de la derecha es el biodiésel fabricado.
Nota. Elaboración propia.

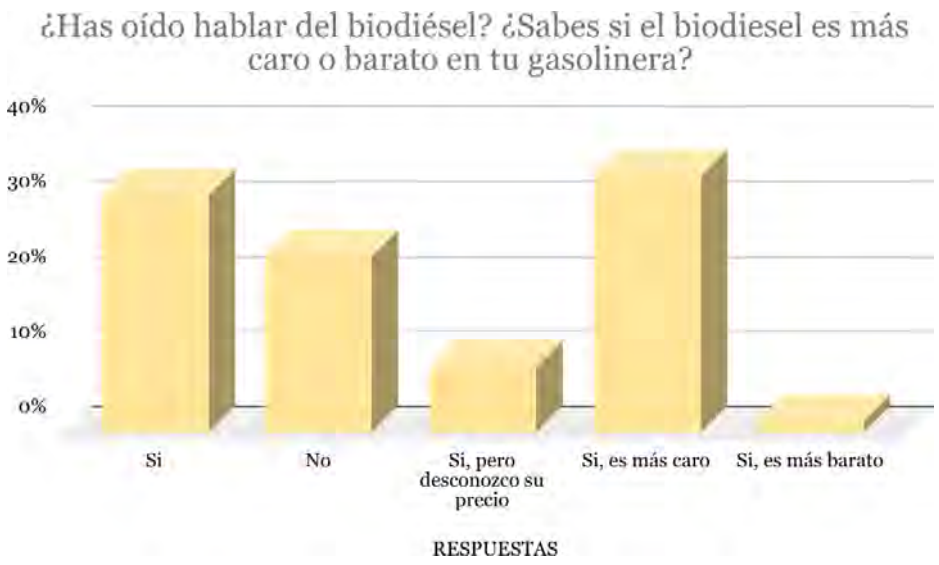
Figura 8

Aceite usado por hogar generado al mes

Nota. Elaboración propia

Figura 9

¿Has oído hablar del biodiésel?



Nota. Elaboración propia

Figura 10

¿Qué haces con el aceite usado en casa?

Nota. Elaboración propia

Figura 11

¿Cuál crees que es la principal barrera para el uso de biodiésel?

Nota. Elaboración propia

Figura 12

Distancia a la que se encuentra tu punto de reciclaje más cercano

Nota. Elaboración propia

Figura 13

¿Qué te motiva más a reciclar el aceite usado?

Nota. Elaboración propia

Figura 18

Motocultor marca agria de 21CV

Nota. Realización propia.

Figura 19

Motocultor

Nota. Realización propia.

Figura 20

Calefactor VELPAX

Nota. Realización propia.

Título del trabajo:

Aceites esenciales. Marca olfativa del IES Floridablanca

Autora (nombre y apellidos del alumno o alumnos) Curso Académico y Nivel

María García Gallego. Curso 25/26. 2º de Bachillerato

Datos de la Tutora:

Lara Sidrach de Cardona Paniagua. Profesora de Física y Química. IES Floridablanca.

Centro docente:

IES Floridablanca

Índice con los epígrafes de los trabajos y su paginación

1. Introducción — pág. 4
2. Antecedentes y estado de la cuestión — pág. 4
    2.1 Contexto histórico — pág. 4
    2.2 Investigaciones previas — pág. 5
3. Hipótesis de trabajo y objetivos de la investigación — pág. 5
4. Materiales y métodos — pág. 5
    4.1. Materiales — pág. 5
    4.2. Métodos — pág. 6
        4.2.1 Organización de aceites esenciales — pág. 6
        4.2.2 Obtención de aceites esenciales a escala de laboratorio — pág. 6
        4.2.3 Diseño de odotipo representativo del Instituto — pág. 6
            4.2.3.1 Elaboración de muestras experimentales — pág. 6
            4.2.3.2 Estructura de las muestras — pág. 7
            4.2.3.3 Primera muestra — pág. 7
            4.2.3.4 Segunda muestra — pág. 7
            4.2.3.5 Tercera muestra — pág. 7
        4.2.4 Cata de olores y encuesta — pág. 8
5. Resultados — pág. 8
6. Conclusiones — pág. 8
7. Agradecimientos — pág. 9
8. Bibliografía — pág. 9
9. Anexo — pág. 11

Resumen del Tema a desarrollar (250 palabras máximo, en castellano)

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar una marca olfativa representativa del IES Floridablanca mediante el estudio y aplicación de aceites esenciales. Para ello, se llevó a cabo una investigación de carácter mixto que incluyó la clasificación de aceites esenciales según sus familias olfativas, la obtención de extractos aromáticos mediante métodos de laboratorio y la elaboración de diferentes muestras de perfume estructuradas según la pirámide olfativa. Posteriormente, se realizó una cata de olores acompañada de encuestas para evaluar la percepción, el agrado y las sensaciones emocionales generadas por cada muestra entre miembros de la comunidad educativa.
Los resultados mostraron que la preferencia de los participantes se relaciona principalmente con la intensidad moderada del aroma y con las sensaciones de bienestar, tranquilidad y frescura que este produce. La tercera muestra evaluada fue la seleccionada mayoritariamente como posible odotipo del instituto, destacando por su carácter equilibrado y relajante.
En conclusión, el estudio demuestra la viabilidad de aplicar el branding olfativo en el ámbito educativo, evidenciando que el diseño de una identidad aromática puede contribuir al bienestar emocional, la mejora del ambiente escolar y el fortalecimiento de la identidad institucional.

Resumen del Tema en inglés (250 palabras)

The aim of this study is to design an olfactory brand representing IES Floridablanca through the study and application of essential oils. A mixed-method research approach was used, including the classification of essential oils according to olfactory families, the extraction of aromatic compounds at laboratory scale, and the formulation of several perfume samples structured according to the olfactory pyramid. An odor testing session combined with surveys was conducted to evaluate participants' perception, preference, and emotional responses to each fragrance sample within the educational community.
The results showed that participants' preferences were mainly associated with moderate scent intensity and with feelings of well-being, calmness, and freshness produced by the fragrance. The third sample was the most preferred option and was selected as the potential olfactory identity of the institution due to its balanced and relaxing characteristics.
In conclusion, the study demonstrates the feasibility of applying olfactory branding in educational environments, showing that the creation of an olfactory identity can contribute to emotional well-being, improve the school atmosphere, and strengthen institutional identity.

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1. Introducción

Los aceites esenciales son fracciones líquidas volátiles, generalmente obtenidas por destilación con vapor de agua, que contienen las sustancias responsables del aroma de las plantas. Tienen un papel fundamental en diversas industrias, como la cosmética (perfumes y aromatizantes), la alimentaria (condimentos y saborizantes) y la farmacéutica (saborizantes).

Su relevancia se extiende a distintos ámbitos: en la educación, la exposición a estímulos olfativos puede actuar como un complemento efectivo en el aprendizaje; en el marketing, funcionan como una herramienta para diferenciar marcas y generar experiencias únicas; y en la salud, contribuyen a reducir el estrés y la ansiedad, favoreciendo el bienestar emocional y físico.

Diversas investigaciones en neurociencia, como la de Sánchez (2013) y Hernández et al. (2024) demuestran que los estímulos olfativos impactan directamente en la atención, la concentración y la memoria debido a su estrecha relación con el sistema límbico. Este fenómeno se potencia mediante la memoria olfativa, donde un aroma concreto evoca recuerdos y emociones intensas, facilitando la retención de información y reforzando los vínculos emocionales y el sentido de pertenencia en el entorno escolar.

En el ámbito empresarial, numerosas compañías han desarrollado odotipos, es decir, marcas olfativas para diferenciarse y reforzar su identidad. Ejemplos de ello son Clarke, que registró una fragancia floral para distinguir hilos de costura, y Manhattan Oil, que utiliza aroma a cereza en lubricantes sintéticos para vehículos de carreras. Sin embargo, esta práctica apenas se ha aplicado en entornos educativos.

El uso de los aceites esenciales se estudia desde el antiguo Egipto hasta la actualidad. Investigaciones como la de Kristin Czar (2009) demostró que la menta y el eucalipto mejoran el estado de alerta en el aula; Carlos Vázquez (2009) desarrolló un proyecto de extracción de aceite esencial de rosas en laboratorios escolares, y Yuanguang Ma (2022) concluyó que la aromaterapia presenta correlaciones positivas en distintos ámbitos, incluido el educativo. No obstante, también es importante considerar la pseudociencia, es decir, "la falsa ciencia" asociada a los aceites esenciales, ya que con frecuencia se difunden afirmaciones sin respaldo científico, como la supuesta capacidad de curar enfermedades o sustituir tratamientos médicos. Por ello, es fundamental diferenciar entre sus beneficios demostrados y las afirmaciones exageradas sin evidencia científica.

Mi estudio tiene como principal propósito crear un aceite esencial que funcione como marca olfativa del IES Floridablanca. Este proyecto busca beneficiar a toda la comunidad educativa mediante una estrategia innovadora inspirada en el branding olfativo empresarial, pero adaptada al entorno escolar. A través de esta propuesta, se pretende potenciar el aprendizaje, la concentración y el bienestar emocional, además de reforzar la identidad institucional del centro. De este modo, el instituto podría convertirse en un referente innovador al incorporar una experiencia sensorial sostenible y natural orientada al bienestar y la diferenciación educativa.

2. Antecedentes y estado de la cuestión

2.1 Contexto histórico

El uso de fragancias y aceites aromáticos se remonta a las primeras civilizaciones humanas. En la antigüedad, especialmente en Egipto, los aceites aromáticos tenían funciones religiosas, rituales y cosméticas. Se utilizaban en ceremonias religiosas, en la momificación y como símbolo de estatus social. Posteriormente, las culturas griega y romana incorporaron el perfume a la higiene personal y a la vida cotidiana, extendiendo su uso a espacios públicos y privados.

Durante la Edad Media, el uso de plantas aromáticas se relaciona con la creencia de que podrían proteger frente a enfermedades, mientras que en el mundo árabe se produjeron importantes avances técnicos, especialmente en la destilación de alcohol y aceites esenciales, lo que permitió mejorar los procesos de extracción y conservación de las sustancias aromáticas.

En el Renacimiento, el desarrollo de la química permitió perfeccionar los métodos de obtención de fragancias y consolidó el perfume como producto artesanal de alto valor.

Posteriormente, con la Revolución Industrial y el desarrollo de la síntesis química, la perfumería experimentó una transformación profunda, al posibilitar la producción a gran escala de compuestos aromáticos sintéticos y ampliar considerablemente las posibilidades creativas de las composiciones.

En la actualidad, el perfume ha adquirido una dimensión adicional como elemento de identidad personal y corporativa, surgiendo el concepto de identidad olfativa o marca aromática aplicada al marketing sensorial.

2.2 Investigaciones previas

Los aceites esenciales han sido ampliamente investigados por sus propiedades químicas y sus múltiples aplicaciones, destacando sus efectos antimicrobianos, relajantes y estimulantes, lo que explica su uso en productos cosméticos, alimentarios y medicinales. Diversos estudios han demostrado su utilidad en la aromaterapia; por ejemplo, Yuanguang Ma (2022) evidencia que la lavanda contribuye a reducir la ansiedad.

La neurociencia también ha evidenciado que el olfato influye en los procesos cognitivos, ya que determinados aromas pueden mejorar el rendimiento académico. Experimentos de Kristin Czar (2009) muestran que el aceite de eucalipto aumenta la energía y la menta favorece el despertar mental. En paralelo, el marketing sensorial ha demostrado que las fragancias influyen en la percepción y la experiencia emocional; investigaciones de Esther Campos Serrulla y Pilar Terrón-López (2024) destacan su uso para reforzar la identidad de marca.

A pesar de la abundante investigación en salud, bienestar y marketing, la aplicación de los aceites esenciales en el ámbito educativo sigue siendo limitada, lo que plantea la oportunidad de explorar su potencial para mejorar el ambiente escolar, favorecer el aprendizaje y fortalecer la identidad del centro.

3. Hipótesis de trabajo y objetivos de la investigación

Hipótesis: Es posible crear un odotipo del IES Floridablanca en base a los gustos de la comunidad .

El objetivo general de este estudio es crear una marca olfativa que represente al IES Floridablanca.

Este objetivo general se concreta en los siguientes objetivos específicos:

1. Clasificar los distintos aceites esenciales de los que disponemos en función de su familia olfativa: floral, verde, hespérides, especiado, madera o fougere.
2. Obtener a escala de laboratorio aceites esenciales mediante diferentes métodos (destilación, extracción sólido-líquido, etc.).
3. Diseñar un odotipo que represente al instituto, incorporando las necesidades, intereses y preferencias olfativas de la comunidad educativa (estudiantes, docentes y personal no docente).

4. Materiales y métodos

4.1. Materiales

Equipo de extracción Soxhlet.
Matraz de fondo redondo de 250 mL.
Agitador magnético.
Balanza de precisión.
Etanol (100,8 mL).
Agua destilada (45 mL).
Cáscaras de naranja (66,8 g de la parte externa o flavedo).
Cáscaras de limón.
Alcohol al 98 %
Aceites esenciales: Limón, bergamota, mandarina, pomelo blanco, clementina, naranja, poleo, tomillo, orégano, eucalipto, vetiver, mejorana, menta, salvia, lavanda, jazmín, geranio, magnolia, espliego, mirto, etil vainillina, ylang ylang, rosa mosqueta, anís, clavo, canela, pino, cade de enebro, ciprés, alcanfor, cistus jara, pachuli, cedro, incienso, romero y linalol.
Tiras de papel secante
Formulario de Google

4.2. Métodos

Este proyecto se enmarca dentro de una investigación mixta, combinando elementos cualitativos y cuantitativos, para obtener una comprensión más completa de un tema. Separando la investigación en cuatro partes: la primera, dedicada a la organización de aceites esenciales; la segunda, centrada en la obtención de aceites a escala de laboratorio; la tercera, correspondiente al diseño del odotipo; y la cuarta, orientada a la realización de la cata de olores y a la distribución de las encuestas.

4.2.1 Organización de aceites esenciales

Con el fin de cumplir con el objetivo de clasificar los aceites esenciales disponibles según su familia olfativa, se siguió una metodología basada en la revisión bibliográfica, la evaluación sensorial y la organización sistemática de la información obtenida. Se recopilaron los aceites esenciales disponibles en el laboratorio y, posteriormente, se procedió a organizar los aceites en una tabla que los agrupa según su familia olfativa (Figura 1). Ayudando a la creación del órgano del perfumista (Imagen 2, 3 y 4), que nos permitió trabajar de una manera más cómoda, y pudiendo diferenciar entre las distintas familias fácilmente; y permitiéndonos la creación del perfume según sus partes.

4.2.2. Obtención de aceites esenciales a escala de laboratorio

Para cumplir con el objetivo de obtener a escala de laboratorio aceites esenciales mediante el método de extracción sólido-líquido mediante el equipo Soxhlet. La metodología se fundamentó en la revisión bibliográfica de Gallego y Ríos (2020), adaptando los cálculos a la disponibilidad de materiales en el laboratorio. El procedimiento se realizó bajo los siguientes pasos:

Preparación del disolvente: Se preparó una mezcla de 100,8 mL de etanol y 45 mL de agua destilada, la cual se introdujo en un matraz de fondo redondo de 250 mL junto con un agitador magnético.

Preparación de la muestra: Se separó la parte externa de la cáscara de naranja, evitando la parte blanca, hasta obtener una masa de 66,8 g, pesada en balanza.

Montaje y proceso de extracción: Se ensambló el sistema Soxhlet, se activó el sistema de refrigeración (bomba de agua) y se inició el calentamiento. El proceso de reflujo se mantuvo durante aproximadamente tres horas y media, permitiendo que el disolvente evaporado ascendiera y condensara sobre la muestra de forma continua (Imagen 5 y 6).

Finalmente, se procedió a la evaporación del disolvente con el objetivo de aislar el aceite esencial obtenido.

Este mismo protocolo fue replicado para la obtención del aceite esencial de limón (Imagen 7 y 8), manteniendo constantes las condiciones experimentales.

4.2.3. Diseño de odotipo representativo del Instituto

Para cumplir con el objetivo de diseñar un odotipo que represente al instituto, incorporando las necesidades, intereses y preferencias olfativas de la comunidad educativa (estudiantes, docentes y personal no docente). Se llevó a cabo un proceso de creación, cuyo objetivo fue transmitir la identidad del instituto y, al mismo tiempo, favorecer el bienestar, la concentración y el equilibrio emocional de los miembros del centro educativo.

4.2.3.1 Elaboración de muestras experimentales

Durante la fase inicial, se elaboraron varias muestras experimentales con el fin de explorar diferentes combinaciones aromáticas. A partir de esta fase de prueba, se seleccionaron tres muestras finales, que combinan aromas que cumplen los objetivos del proyecto y se ajustan a las necesidades de la comunidad educativa. Se descartaron otras opciones menos equilibradas o demasiado intensas, priorizando fragancias que fueran representativas del instituto y que generaran un ambiente positivo.

4.2.3.2 Estructura de las muestras

Para la elaboración de las muestras se siguió la estructura de la pirámide olfativa, organizada en tres niveles: las notas de salida, las que primero percibimos; las notas de corazón, las que caracterizan al perfume; y las notas de fondo, las que se evaporan muy lentamente, es decir, que son las menos volátiles. Asimismo, todas las muestras mantuvieron la misma composición. Para su preparación a escala de laboratorio se emplearon 10 mL de disolución, de los cuales 9 mL correspondieron a alcohol (98 %) y 1 mL a la mezcla de aceites esenciales (equivalente a 20 gotas).

La primera muestra presenta un carácter más activo y estimulante; la segunda se caracteriza por ser más suave, relajante y de carácter floral; y la tercera destaca por su aroma fresco y calmante.

4.2.3.3 Primera muestra

En el caso de la primera muestra, se buscó representar la Región de Murcia a través de aromas característicos que evocan frescura y naturaleza, como los cítricos, herbales y verdes.

En las notas de salida se emplearon aceites esenciales de limón, bergamota y mandarina. El limón representa la huerta murciana, con efectos energizantes y antisépticos; la bergamota simboliza optimismo y claridad mental; y la mandarina aporta un toque de dulzura, además, tiene efectos revitalizantes, estimulantes y antidepresivos. Estas notas iniciales están pensadas para despertar la mente, mejorar el ánimo y dar una sensación de frescura al acceder al instituto.

Las notas de corazón estuvieron compuestas por romero, tomillo, lavanda, jazmín y geranio. El romero favorece la memoria y la concentración; el tomillo aporta frescura; la lavanda genera calma y reduce el estrés; el jazmín favorece la relajación y ayuda a reducir el estrés y la ansiedad; y el geranio aporta armonía y sensación de bienestar gracias a su propiedad equilibrante. Estas notas medianas ayudan a crear un ambiente motivador y equilibrado.

Por último, las notas de fondo utilizaron pino, vetiver, cistus jara y clavo. El pino representa la flora y naturaleza mediterránea de Murcia; el vetiver aporta calma y relajación; el cistus jara contribuye a calmar el sistema nervioso, reduce el estrés, ayuda con traumas y favorece la claridad mental y el equilibrio emocional; y el clavo ayuda a enfocar la mente y mantener la atención.

Las cantidades empleadas de cada esencia fueron las siguientes: limón (3 gotas), bergamota (3 gotas), mandarina (2 gotas), romero (2 gotas), tomillo (1 gota), lavanda (2 gotas), jazmín (1 gota), geranio (1 gota), pino (2 gotas), vetiver (2 gotas) y clavo (1 gota).

4.2.3.4 Segunda muestra

La segunda muestra se elaboró siguiendo el mismo procedimiento descrito anteriormente.

En las notas de salida se emplearon aceites esenciales de naranja (2 gotas), destacada por sus propiedades relajantes, antidepresivas y estimulantes del estado de ánimo; bergamota (1 gota); y menta (1 gota), conocida por su capacidad para mejorar la concentración y reducir la fatiga mental. Las notas de corazón estuvieron compuestas por lavanda (2 gotas); salvia (1 gota), que contribuye a la reducción del estrés y la ansiedad, combate el agotamiento mental y favorece un estado de calma; y geranio (1 gota). En las notas de fondo se utilizaron pachuli (1 gota), caracterizado por sus propiedades calmantes y antidepresivas, y citus jara (1 gota), que ayuda a aliviar el estrés, la ansiedad y la tensión nerviosa, proporcionando estabilidad emocional a la composición.

4.2.3.5 Tercera muestra

La tercera muestra se diseñó con el objetivo de obtener un aroma fresco y profundamente relajante.

En las notas de salida se emplearon bergamota (1 gota), mandarina (1 gota) y naranja (1 gota), generando una apertura cítrica suave y estimulante. Las notas de corazón estuvieron formadas por lavanda (2 gotas), geranio (1

gota), jazmín (1 gota) y magnolia (2 gotas), que destaca por sus propiedades ansiolíticas, sedantes y calmantes del sistema nervioso, contribuyendo a reducir el estrés, la depresión y la ansiedad, e induciendo una sensación general de paz y bienestar. Finalmente, en las notas de fondo se incorporó linalol (1 gota), compuesto reconocido por su eficacia en la reducción del estrés y la ansiedad, así como por su capacidad para mejorar la calidad del sueño gracias a sus propiedades sedantes y ansiolíticas.

4.2.4 Cata de olores y encuesta

Continuando con la segunda parte de la metodología, se elaboró una encuesta mediante un formulario de Google con el objetivo de conocer la valoración de los participantes sobre las muestras aromáticas seleccionadas.

El cuestionario incluyó preguntas sobre la intensidad percibida, para conocer si el aroma resultaba suave, medio o fuerte; sobre el grado de agrado y posibles beneficios, para valorar la preferencia de los participantes y si percibían efectos como relajación, concentración o bienestar; sobre las sensaciones evocadas, con el fin de recoger emociones y asociaciones subjetivas generadas por cada aroma; y sobre la preferencia general, para identificar cuál de las muestras podría funcionar como aroma representativo del instituto.

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSf_QrLGzSDPXd9r6sl_E4sYMyOQvHLSI-DfehPzQWsJV5LzLg/viewform?usp=header

Finalmente, se realizó una cata de olores con alumnado, profesorado y personal del instituto. Cada participante evaluó individualmente las muestras aromáticas y respondió al cuestionario correspondiente, valorando la intensidad, las sensaciones percibidas y la idoneidad de cada aroma como posible odotipo del centro, manteniendo las mismas condiciones durante todo el proceso.

5. Resultados

Los resultados muestran diferencias claras tanto en la intensidad percibida como en el grado de agrado y las sensaciones emocionales asociadas a cada aroma, aspectos que influyen directamente en su aceptación dentro del entorno educativo.

En cuanto a la primera muestra, la intensidad se percibió mayoritariamente entre media y alta, resultando un aroma fuerte para parte de los participantes. El agrado y su beneficio sobre la concentración obtuvieron valoraciones heterogéneas, predominando niveles medios y bajos. En cuanto a las sensaciones, aunque se asoció con frescura y energía, también se registraron respuestas de menor confort y escasa vinculación con el entorno educativo.

En la segunda muestra, la intensidad fue más uniforme, concentrándose en niveles medios. Las valoraciones sobre el agrado y la reducción del estrés fueron generalmente positivas, predominando sensaciones de calma, bienestar y confort, lo que sugiere una percepción moderadamente favorable para el entorno escolar.

Respecto a la tercera muestra, su intensidad fue percibida como baja o media, factor que influyó en su alta aceptación. Esta muestra obtuvo las valoraciones más altas en bienestar emocional y agrado, asociándose con sensaciones de tranquilidad, paz y frescura.

El análisis comparativo confirma que la tercera muestra es la mejor valorada (Figura 9), seguida de la segunda, mientras que la primera obtuvo la menor aceptación. Esta tendencia se mantiene en la elección del odotipo (Figura 10), donde la muestra 3 fue seleccionada mayoritariamente como la fragancia más adecuada para representar la identidad del centro.

En conjunto, los resultados demuestran que la preferencia por un aroma no depende únicamente de su intensidad, sino especialmente de las emociones y sensaciones que genera. Estas conclusiones coinciden con investigaciones previas sobre estimulación olfativa, , como las de Moya Cano et al. (2025) y Rendón Ortega (2023), las cuales señalan que los olores influyen en el estado de ánimo, el bienestar y la percepción de los espacios. Por ello, el estudio resalta la importancia de considerar factores psicológicos y sensoriales en el diseño de ambientes olfativos adecuados para entornos educativos.

6. Conclusiones

El estudio tuvo como objetivo crear una marca olfativa representativa del IES Floridablanca mediante la combinación de criterios científicos, sensoriales y las preferencias de la comunidad educativa. Los resultados obtenidos en la cata de olores muestran que la tercera muestra fue la más valorada, tanto por su agrado como por las sensaciones de bienestar emocional que generó. Además, fue la opción elegida mayoritariamente como posible

odotipo del instituto, debido a su intensidad suave y a las sensaciones de tranquilidad, frescura y relajación asociadas a ella.

Los resultados demuestran que la aceptación de un aroma no depende únicamente de su intensidad, sino también de las emociones que provoca. Las fragancias equilibradas y poco intensas fueron mejor valoradas por los participantes, mientras que los aromas más fuertes generaron opiniones más variadas. Asimismo, se observó una relación clara entre las sensaciones positivas, como calma o bienestar, y la elección del aroma como identidad olfativa del centro.

Desde una perspectiva práctica y teórica, el trabajo confirma que el branding olfativo refuerza la identidad institucional y favorece ambientes escolares acogedores, integrando áreas como química, biología y marketing sensorial. Los resultados coinciden con investigaciones previas, como las de Yuanguang Ma (2022), Kristin Czar (2009) y Hernández M. C. B. et al. (2024), sobre la influencia de los aromas en el sistema límbico para mejorar el estado de ánimo y la concentración. De este modo, el presente estudio refuerza la importancia de considerar el diseño sensorial en los espacios educativos.

Por otra parte, la investigación presenta algunas limitaciones, como la disponibilidad reducida de materiales y aromas, el tamaño limitado de la muestra y el carácter subjetivo de las respuestas obtenidas mediante cuestionarios. Como futuras líneas de investigación se plantea ampliar el número de participantes, estudiar los efectos a largo plazo del aroma o analizar su influencia sobre variables como la concentración y el rendimiento académico. En conjunto, el estudio aporta una propuesta innovadora que combina bienestar emocional e identidad institucional dentro del entorno escolar.

7. Agradecimientos

En primer lugar, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi tutora del trabajo, Lara Sidrach de Cardona Paniagua, por su dedicación, paciencia y orientación a lo largo de todo el proceso. Su experiencia y consejos han sido fundamentales para estructurar y mejorar este trabajo, y sin su apoyo no habría sido posible llevarlo a cabo con éxito.

Asimismo, deseo agradecer a mi tutora de investigación, Nieves Soriano Nieto, por enseñarme las bases metodológicas y proporcionarme las herramientas necesarias para desarrollar una investigación rigurosa. Su guía me permitió comprender mejor los procesos y técnicas propios de la investigación académica.

Por último, quiero agradecer a mi familia y a mis amigos por su apoyo y comprensión durante el desarrollo de este trabajo. Su ayuda y disposición me han facilitado poder organizarme y avanzar con constancia hasta completar este proyecto.

8. Bibliografía

- Czar, K. (2009) ‘The Effects of Aromatherapy on Alertness in an Inclusion Setting’, *The Corinthian*, 10(7). Disponible en: https://kb.gcsu.edu/thecorinthian/vol10/iss1/7 (Accedido: 9 mayo 2026).
- Gallego, A.M. y Ríos, J.S. (2020) *Extracción de Limoneno de Citrus x sinensis por método Soxhlet y arrastre de vapor*. Informe de laboratorio. Cali: Pontificia Universidad Javeriana Cali. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/355458300 (Accedido: 9 mayo 2026).
- Hernández, M.C.B., Vásquez-Morales, A., Vargas, S.F.P. y Jiménez, M.A.S. (2024) ‘Percepción de los adultos mayores sobre el uso de los aceites esenciales durante la neurorehabilitación de las funciones cognitivas de memoria y atención’, *Ciencia Latina: Revista Multidisciplinar*, 8(3), pp. 10851–10873. Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=9786578 (Accedido: 9 mayo 2026).

- Ma, Y. (2022) 'The influence of ambient aroma on middle school students' academic emotions', *International Journal of Psychology*, 57(3), pp. 387–392. Disponible en: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35060116/ (Accedido: 9 mayo 2026).

- Moya Cano, A., Sánchez González, O. y Bastidas Manzano, A.B. (2025) 'Impacto de la estimulación olfativa en la interacción social y la capacidad comunicativa en aulas de educación superior', *EDU REVIEW. International Education and Learning Review*, 13(1), pp. 103–119. doi: 10.62701/revedu.v13.5443.

- Rendón Ortega, V.A. (2024) *Desarrollo de una fragancia unisex*. Tesis de licenciatura. México: Universidad Nacional Autónoma de México. Disponible en: https://tesiunamdocumentos.dgb.unam.mx/ptd2024/ene_mar/0850822/0850822.pdf (Accedido: 9 mayo 2026).

- Sánchez, D.A. (2013) *Influencia de los aceites esenciales en el estado de ánimo de los niños*. Trabajo de fin de grado. Bogotá: Universidad de los Andes. Disponible en: https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/81618057-5b75-4c44-9b2f-0ade1bb8b7b6/content (Accedido: 9 mayo 2026).

- Serrulla, E.C. y López, P.T. (2025) 'Diseño de aromas: implicaciones sensoriales y humanas', *Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos*, (255), pp. 103–117. Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=10133932 (Accedido: 9 mayo 2026).

- Vázquez Salas, C. (2009) 'Elaboración de perfumes en los laboratorios escolares', *Revista Digital de Innovación y Experiencias Educativas (CSIF Andalucía)*, (16). Disponible en: https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/csicsif/revista/pdf/Numero_16/CARLOS_VAZQUEZ_2.pdf (Accedido: 9 mayo 2026).

ANEXO

CLASIFICACIÓN ACEITES ESENCIALES					
HESPÉRIDES	VERDE	FLORAL	ESPECIADO	MADERA	FLOUGERE
Mandarina	Poleo	Rosa mosqueta	Anís	Ciprés	Incienso
Limón	Orégano	Jazmín	Clavo	Pachulí	Romero
Bergamota	Tomillo	Ylang ylang	Canela	Pino	Linalol
Naranja	Eucalipto	Geranio		Cade de enebro	
Pomelo blanco	Salvia	Lavanda		Alcanfor	
Clementina	Vetiver	Magnolia		Cistus jara	
	Mejorana	Espliego		Cedro	
	Menta	Mirto			
		Etil vainillina			

Tabla 1: *Clasificación de aceites esenciales. Fuente: Propia.*

Imagen 2, 3 y 4: *Órgano del perfumista. Fuente: Propia.*

Imagen 5 y 6: *Extracción mediante soxhlet del aceite esencial de la naranja. Fuente: Propia.*

Imagen 7 y 8: *Extracción mediante soxhlet del aceite esencial del limón. Fuente: Propia.*

Figura 9: *Porcentaje de agrado de las diferentes muestras. Fuente: Propia.*

Figura 10: *Preferencia de los encuestados por el odotipo del instituto según las muestras evaluadas. Fuente: Propia.*

Título del trabajo:

Obtención y caracterización de biodiésel a partir de aceites de origen vegetal reciclados

Autora (nombre y apellidos del alumno o alumnos) Curso Académico y Nivel

Sara López Mateo. Curso 25/26. 2º de Bachillerato

Datos de la Tutora:

Lara Sidrach de Cardona Paniagua. Profesora de Física y Química. IES Floridablanca.

Centro docente:

IES Floridablanca

Índice con los epígrafes de los trabajos y su paginación

Resumen del tema a desarrollar / Abstract — pág. 3

1. Introducción — pág. 4

2. Antecedentes y estado de la cuestión — pág. 4
   2.1 Perspectiva histórica y evolución de los biocombustibles — pág. 4
   2.2 Del biodiésel de primera generación hacia la economía circular (segunda generación) — pág. 4
   2.3 Fundamentos químicos: Transesterificación y composición lipídica — pág. 4
   2.4 Retos técnicos: Degradación térmica y reacciones competitivas — pág. 5

3. Hipótesis de trabajo y objetivos de la investigación — pág. 5
   3.1 Hipótesis de trabajo — pág. 5
   3.2 Objetivos — pág. 5

4. Materiales y métodos — pág. 5
   4.1 Materiales, reactivos y equipamiento — pág. 5
   4.2 Procedimiento de producción de biodiésel (Transesterificación) — pág. 6
   4.3 Determinación del Índice de Saponificación (IS) — pág. 6
   4.4 Evaluación experimental de la ignición y transferencia térmica — pág. 6

5. Resultados — pág. 6
   5.1 Rendimiento volumétrico y eficiencia de conversión — pág. 6
   5.2 Análisis e interpretación del Índice de Saponificación (IS) — pág. 7
   5.3 Comportamiento de ignición y transferencia térmica — pág. 7

6. Conclusiones — pág. 7

7. Agradecimientos — pág. 8

8. Bibliografía — pág. 8

9. Anexo — pág. 9

Resumen del Tema a desarrollar (250 palabras máximo, en castellano)

El presente trabajo de investigación analiza la viabilidad técnica y ambiental de la producción de biodiésel mediante transesterificación alcalina, comparando el uso de aceites vegetales vírgenes (oliva y girasol) frente a aceites de cocina reciclados. El estudio adopta un enfoque mixto para evaluar parámetros críticos como el rendimiento volumétrico, el índice de saponificación (IS) y el comportamiento de ignición.
Los resultados experimentales demuestran que el aceite de oliva virgen ofrece la mayor eficiencia de conversión, alcanzando un rendimiento del 100% y un IS de 322,58 mg KOH/g, lo que indica una mayor reactividad química y cadenas de ácidos grasos más cortas. En contraste, los aceites reciclados mostraron una eficiencia decreciente (hasta un 60%) y una reducción en el IS (182,33 mg KOH/g en la muestra 3), debido a la degradación térmica y la formación de reacciones secundarias de saponificación. Las pruebas de combustión confirmaron que el biodiésel de oliva posee una transferencia térmica más acelerada en comparación con el de girasol.
El estudio concluye que, aunque los aceites residuales presentan desafíos operativos, su valorización es una estrategia fundamental de economía circular para reducir emisiones de gases de efecto invernadero y evitar la competencia con la industria alimentaria.

Resumen del Tema en inglés (250 palabras)

This research project evaluates the technical and environmental feasibility of biodiésel production through alkaline transesterification, comparing virgin vegetable oils (olive and sunflower) against waste cooking oils. The study employs a mixed methodology to assess critical parameters such as volumetric yield, saponification value (SV), and ignition behavior.
Experimental results demonstrate that virgin olive oil provides the highest conversion efficiency, achieving a 100% yield and an SV of 322.58 mg KOH/g, indicating superior chemical reactivity and shorter fatty acid chains. Conversely, recycled oils showed decreasing efficiency (down to 60%) and lower SV values (182.33 mg KOH/g in sample 3) due to thermal degradation and secondary saponification reactions. Combustion tests confirmed that olive-based biodiésel exhibits faster heat transfer compared to sunflower-based biodiésel.
The study concludes that, despite the operational challenges of waste oils, their valorization represents a key circular economy strategy to mitigate greenhouse gas emissions and avoid competition with the food industry.

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1. Introducción

Los gases de efecto invernadero (GEI) son compuestos atmosféricos con la capacidad de retener el calor en la atmósfera terrestre (EPA, 2024). El incremento sostenido de la concentración de estos gases intensifica el efecto invernadero natural, dando lugar al cambio climático, impulsando la búsqueda de estrategias orientadas a la mitigación de estas emisiones antropogénicas (IPCC, 2007).

Como respuesta, las políticas ambientales y energéticas han promovido el uso de biocombustibles a escala mundial como alternativa a los combustibles fósiles empleados en el transporte. El biodiésel destaca como una opción prometedora al ser biodegradable, renovable, no tóxico y presentar baja inflamabilidad. No obstante, los biocombustibles más ampliamente desarrollados (primera generación) han generado debates éticos en torno a su sostenibilidad debido a la competencia con la producción de alimentos (Majer et al., 2009).

La motivación de este trabajo reside en el aprovechamiento del aceite de cocina usado. Debido a sus características químicas, este residuo no es apto para el alcantarillado, ocasionando impactos ambientales (Phan y Phan 2008). Su valorización mediante transesterificación para obtener biodiésel (segunda generación) representa una solución ambiental de interés y evita controversias éticas.

2. Antecedentes y estado de la cuestión

2.1 Perspectiva histórica y evolución de los biocombustibles

El uso de aceites vegetales como fuente de energía para el transporte no es un concepto contemporáneo. Sus raíces se remontan a finales del siglo XIX; en 1895 ya se planteaba su potencial y, durante la Exposición Universal de París de 1900, Rudolf Diesel operó con éxito su prototipo de motor de encendido por compresión utilizando aceite de cacahuete. Diesel predijo que el uso de aceites vegetales llegaría a ser tan importante como el petróleo en el futuro.

A lo largo del siglo XX, hitos como el uso de biodiésel en la línea de autobuses Bruselas-Lovaina en 1938 o el empleo de flotas de biocombustible por parte de Alemania durante la Segunda Guerra Mundial demostraron su viabilidad operativa. Sin embargo, no fue hasta la crisis energética de 1979 cuando el interés resurgió de manera sistemática como estrategia para reducir la dependencia del crudo. Desde la década de 1990, Europa ha liderado la certificación de motores y la apertura de plantas comerciales, consolidando el biodiésel como una alternativa real.

2.2 Del biodiésel de primera generación hacia la economía circular (segunda generación)

Tradicionalmente, el biodiésel se ha producido a partir de aceites vegetales vírgenes como soja, colza, girasol y palma. Estos se clasifican como biocombustibles de primera generación. No obstante, su sostenibilidad es objeto de debate debido a la competencia por el uso de suelos agrícolas y recursos hídricos con la industria alimentaria.

En este contexto surge la segunda generación de biocombustibles, elaborados a partir de biomasa residual y aceites de cocina usados. Esta transición es fundamental para el modelo de economía circular, ya que permite valorizar un residuo contaminante cuya gestión inadecuada en el alcantarillado provoca graves impactos ambientales. El uso de aceites reciclados no solo evita dilemas éticos sobre la seguridad alimentaria, sino que puede reducir el coste de producción del biocombustible entre dos y tres veces en comparación con las materias primas vírgenes.

2.3 Fundamentos químicos: Transesterificación y composición lipídica

La obtención de biodiésel se basa en la reacción de transesterificación. Químicamente, los aceites vegetales son triglicéridos (triésteres de glicerol con tres cadenas de ácidos grasos). En este proceso, una molécula de triglicérido reacciona con tres de un alcohol ligero (metanol o etanol) en presencia de un catalizador (usualmente hidróxido de potasio, KOH) para producir tres moléculas de ésteres monoalquílicos (biodiésel) y una de glicerina como subproducto.

La eficiencia de esta reacción y las propiedades del combustible final dependen críticamente de la naturaleza de los ácidos grasos de la materia prima:

Aceite de Oliva: Predomina el ácido oleico (C18:1), un ácido graso monoinsaturado que otorga al biodiésel un equilibrio entre estabilidad oxidativa y fluidez.

Aceite de Girasol: Presenta una alta concentración de ácido linoleico (C18:2), poliinsaturado, lo que puede influir en una combustión más lenta y sostenida.

2.4 Retos técnicos: Degradación térmica y reacciones competitivas

Investigaciones previas han demostrado que el uso de aceites reciclados presenta desafíos técnicos significativos. Durante la fritura, el aceite es sometido a altas temperaturas, humedad y oxígeno, provocando reacciones de hidrólisis y oxidación de los triglicéridos. Esto incrementa la presencia de ácidos grasos libres (AGL).

Durante la transesterificación alcalina, estos AGL interfieren con el catalizador KOH desencadenando una reacción secundaria no deseada: la saponificación (formación de jabones). La formación de estas emulsiones jabonosas dificulta la separación de las fases de biodiésel y glicerina, reduciendo drásticamente el rendimiento volumétrico del proceso. Estudios de autores como Phan y Phan (2008) o Atadashi et al. (2012) subrayan que el grado de degradación previa del aceite reciclado define la viabilidad técnica y la calidad química del biocombustible obtenido.

3. Hipótesis de trabajo y objetivos de la investigación

3.1 Hipótesis de trabajo

El biodiésel obtenido a partir de aceites de cocina usados presentará variaciones medibles en su rendimiento volumétrico y en sus propiedades químicas en comparación con los aceites vegetales vírgenes, debido a la degradación térmica, oxidativa y la presencia de ácidos grasos libres previos. No obstante, se hipotetiza que la calidad final del biocombustible reciclado será suficiente para validar el proceso de valorización como una alternativa sostenible en el marco de la economía circular.

3.2 Objetivos

El objetivo general de este estudio es caracterizar y obtener biodiésel a partir de aceite de girasol, aceite de oliva y aceite de cocina reciclado mediante el proceso de transesterificación. Para ello, se plantean los siguientes objetivos específicos:

Producir biodiésel a partir de aceites vegetales vírgenes y aceites residuales, controlando los parámetros operativos del proceso de transesterificación.

Caracterizar el biocombustible obtenido mediante la determinación del índice de saponificación.

Determinar el comportamiento de ignición del biodiésel hecho a partir de aceites vírgenes de origen vegetal.

4. Materiales y métodos

Para esta investigación se ha llevado a cabo una metodología experimental, ya que permite producir y caracterizar directamente el biodiésel a escala de laboratorio mediante el proceso de transesterificación alcalina. El estudio adopta un enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo) centrado en observar y caracterizar los parámetros fisicoquímicos y térmicos del biocombustible. La fase cuantitativa se centró en la determinación del índice de saponificación (IS), mientras que la cualitativa evaluó el comportamiento de ignición.

4.1. Materiales, reactivos y equipamiento

Para garantizar el rigor empírico y la seguridad, se emplearon los siguientes materiales:

Muestras de análisis: Se utilizaron seis unidades de análisis de 100 ml cada una (ver Figura 1 en anexos): dos aceites vírgenes de grado alimenticio (oliva y girasol) como grupo de control, y cuatro aceites de cocina reciclados con distintos grados de uso como grupo experimental.

Reactivos químicos: Metanol con un 99% de pureza , hidróxido de potasio (KOH) en estado sólido , agua destilada , solución alcohólica de KOH , solución patrón de ácido clorhídrico (HCl) 0,5M y fenolftaleína como indicador ácido-base.

Material de vidrio y volumétrico: Probetas graduadas, vasos de precipitados, matraces Erlenmeyer (para la transesterificación) , matraces de fondo redondo (para la saponificación) , embudos de vidrio y una bureta de 50 ml calibrada.

Equipamiento de separación y montaje: Papel de filtro , embudos de decantación , refrigerante de reflujo , soportes universales y pinzas metálicas.

Equipos mecánicos y térmicos: Agitadores magnéticos con placa calefactora , barras magnéticas (imanes de agitación) , y termómetros de laboratorio.

Material para el ensayo de ignición: Recipientes pequeños tipo vela, mechas de absorción capilar, calorímetros para calentar agua y papel blanco de filtro (usado como fondo de contraste cromático).

Equipos de Protección Individual (EPIs): Gafas de seguridad, guantes y bata de laboratorio para la manipulación segura de sustancias corrosivas e inflamables.

4.2. Procedimiento de producción de biodiésel (Transesterificación)

Como paso previo, los aceites de cocina reciclados se sometieron a una filtración por gravedad utilizando un embudo de vidrio y papel de filtro para eliminar impurezas sólidas y restos orgánicos (ver Figura 2 en anexos).

Minimizando el error sistemático, se midieron 100 ml de cada muestra de aceite en una probeta (ver Figura 3 en anexos) y se introdujeron en un matraz Erlenmeyer. Mediante un agitador magnético con placa calefactora y monitorización continua con termómetro, el aceite se calentó hasta alcanzar los 50-55°C. Paralelamente, en vasos de precipitados, se preparó el agente catalizador disolviendo 0,53 g de KOH en 20 ml de metanol al 99%, formando el ión metóxido (ver Figura 4 en anexos).

Esta mezcla alcohólica se incorporó lentamente al matraz con el aceite caliente, manteniendo agitación magnética constante a 55°C durante un periodo de 30 a 40 minutos para optimizar la transesterificación (ver Figura 5 en anexos). Finalizada la reacción, la mezcla se transfirió a un embudo de decantación fijado a un soporte universal, dejándose en reposo entre 12 y 24 horas para separar gravitacionalmente la glicerina (fase inferior) del biodiésel (fase superior) (ver Figura 6 en anexos). El biocombustible aislado se purificó mediante tres lavados sucesivos con 25 ml de agua destilada (ver Figura 7 en anexos) y un posterior secado térmico suave a 45-50°C (ver Figura 8 en anexos).

4.3. Determinación del Índice de Saponificación (IS)

Se pesaron exactamente 2 g de biodiésel en un matraz de fondo redondo, añadiendo 30 mL de solución alcohólica de KOH. El sistema se conectó a un refrigerante de reflujo sostenido mediante pinzas y soporte universal, y se sometió a calentamiento bajo agitación magnética continua durante 30 minutos. Este montaje garantizó la reacción completa de los ésteres sin pérdida de disolvente (ver Figura 9 en anexos).

Tras enfriar la muestra a temperatura ambiente, se añadieron cuatro gotas de fenolftaleína. El exceso de KOH no reaccionado se cuantificó mediante una valoración ácido-base empleando una bureta de 50 mL cargada con HCl 0,5M, hasta observar el viraje cromático del indicador de rosa a incoloro, facilitado visualmente por un fondo de papel blanco (ver Figura 10 en anexos). Simultáneamente, se realizó un ensayo en blanco en idénticas condiciones analíticas (sin biodiésel) para determinar la cantidad inicial exacta de KOH y anular sesgos del disolvente. El Índice de Saponificación se calculó mediante la siguiente expresión estandarizada:

$$IS=[(Vb-Vm)\cdot N\cdot 56{,}1]/m$$

Donde Vb corresponde al volumen de HCl consumido en el blanco (en mL), Vm es el volumen de HCl consumido en la muestra (en mL), N es la normalidad de la solución de HCl, 56,1 es la masa molar del KOH (mg/mmol), y m representa la masa de biodiésel empleada (en gramos). En esta ecuación, el término (Vb−Vm) se calcula para estandarizar el error empírico mediante la resta del volumen consumido en el blanco respecto al de la muestra y representa el volumen de ácido equivalente al KOH que reaccionó con la muestra, expresando el resultado final en miligramos de KOH por gramo de biodiésel (mg KOH/g).

4.4. Evaluación experimental de la ignición y transferencia térmica

Se evaluó el comportamiento en combustión de las muestras obtenidas a partir de aceites vírgenes (oliva y girasol). Se depositó un volumen controlado de cada biocombustible en recipientes tipo vela provistos de una mecha de absorción capilar. Tras su ignición, se situó un calorímetro con agua a una altura vertical constante sobre la llama. La variación térmica del agua fue monitorizada de manera continua empleando un termómetro, permitiendo comparar empíricamente la eficiencia calorífica y transferencia de calor de ambos combustibles bajo condiciones idénticas (ver Figura 11 en anexos).

5. Resultados

El análisis de los parámetros volumétricos, fisicoquímicos y térmicos del biocombustible sintetizado revela diferencias significativas entre el grupo de control (aceites vírgenes) y el experimental (aceites reciclados). Estas variaciones empíricas confirman que el historial de estrés térmico de los lípidos originales condiciona de forma directa la viabilidad y calidad del proceso de transesterificación.

5.1 Rendimiento volumétrico y eficiencia de conversión

Los datos de la síntesis evidencian una marcada heterogeneidad en la eficiencia del proceso (ver Figura 12 en Anexos). El aceite de oliva virgen alcanzó la conversión máxima del estudio (100 ml de biodiésel y 16,5 ml de glicerina), demostrando una estequiometría óptima atribuible a su pureza y nula degradación previa.

Por el contrario, el grupo experimental mostró una penalización progresiva en el rendimiento. Mientras que la muestra 'Reciclado 1' mantuvo un rendimiento excepcional (99 ml), la muestra 'Reciclado 4' sufrió una caída drástica hasta los 60 ml, lo que supone una pérdida de eficiencia del 40% respecto al control. Esta disminución corrobora los hallazgos de Phan y Phan (2008) y se explica mediante la hidrólisis de los triglicéridos sufrida durante ciclos de

fritura prolongados. Al aumentar la concentración de ácidos grasos libres (AGL) en el aceite de desecho, el catalizador (KOH) se consume en reacciones parasitarias de saponificación. La formación de estos jabones genera emulsiones que atrapan el biodiésel y reducen el volumen de glicerina decantada (Atadashi et al., 2012), tal y como se observó empíricamente en el 'Reciclado 4' (solo 8,0 ml de glicerina).

5.2 Análisis e interpretación del Índice de Saponificación (IS)

La caracterización química mediante el IS proporcionó la métrica fundamental para diagnosticar la integridad estructural de las muestras. Se constató una tendencia clara: los aceites reciclados presentaron valores marcadamente inferiores, alcanzando un mínimo de 182,33 mg KOH/g en la muestra 'Reciclado 3' (ver Figuras 13 y 16 en Anexos). Este descenso analítico evidencia una pérdida sustancial de grupos éster reactivos, originada por la polimerización y degradación oxidativa durante el uso prolongado del aceite original (Islas et al., 2007).

Por su parte, el biodiésel de oliva virgen registró el IS más elevado (322,58 mg KOH/g). Si bien este valor confirma la tendencia teórica de poseer cadenas de ácidos grasos más cortas y mayor reactividad, resulta anómalamente alto frente al rango teórico estándar de la literatura (185-196 mg KOH/g). Esta discrepancia se atribuye a un error sistemático durante la valoración ácido-base. La principal fuente de error radica en la dificultad visual para detectar el viraje de la fenolftaleína (de rosa a incoloro) en una matriz que posee una fuerte coloración natural amarillo-verdosa (típica de los derivados de la aceituna), lo que condujo a una sobre-titulación (exceso de HCl añadido). Asimismo, no se descarta la posible higroscopicidad del KOH sólido absorbida antes de pesar el blanco analítico. Identificar este sesgo es crucial, ya que el IS impacta directamente en la estimación del número de cetano del combustible (Ramírez-Verduzco et al., 2012).

5.3 Comportamiento de ignición y transferencia térmica

La evaluación cualitativa en combustión demostró que las muestras derivadas de aceites vírgenes prenden con facilidad, confirmando una baja temperatura de ignición adecuada para motores diésel.

Al comparar las dinámicas térmicas, se observó que el biodiésel de oliva exhibió una tasa de evaporación superior y una transferencia de calor más acelerada hacia el medio acuoso que el derivado de girasol. Este comportamiento se justifica por su perfil químico: el biodiésel de oliva está compuesto mayoritariamente por oleato de metilo (derivado del ácido oleico, monoinsaturado), lo que le confiere una excelente volatilidad y fluidez. En contraste, el biodiésel de girasol, rico en linoleato de metilo (poliinsaturado), mostró una combustión más lenta y sostenida. Tal y como sugieren Mahesh et al. (2015), las propiedades de los ácidos grasos de origen dictan directamente el comportamiento energético y la eficiencia termodinámica del biocombustible final.

6. Conclusiones

Tras la finalización del proceso experimental y el análisis riguroso de los datos obtenidos, se corrobora que la obtención de biodiésel mediante transesterificación alcalina constituye un método químico altamente eficaz, aunque su viabilidad técnica está condicionada de manera determinante por la naturaleza y el estado de degradación de la materia prima lipídica. La investigación permite concluir que existe una relación de proporcionalidad directa entre la pureza del aceite y la eficiencia de conversión estequiométrica; mientras que los aceites vírgenes garantizan rendimientos volumétricos óptimos, el uso de aceites de cocina usados conlleva una penalización sustancial en la productividad. Este fenómeno se explica por la formación de reacciones parásitas de saponificación, consecuencia de los ácidos grasos libres generados durante el uso térmico previo, lo cual reduce la cantidad de biocombustible recuperado y dificulta los procesos de separación y purificación de las fases.

En el ámbito de la caracterización fisicoquímica, la determinación del Índice de Saponificación se ha validado como una métrica analítica fundamental para diagnosticar la integridad estructural del biocombustible. El descenso observado en este índice en las muestras recicladas ratifica una pérdida de grupos éster reactivos originada por la degradación oxidativa, lo que compromete la estabilidad química del producto final en comparación con las muestras de control. Asimismo, los ensayos de ignición demuestran que las propiedades intrínsecas de la materia prima dictan el comportamiento energético del biodiésel, destacando la mayor celeridad térmica del derivado de oliva frente a la combustión del girasol. Desde una perspectiva macroscópica, esta investigación refuerza la importancia estratégica de los biocombustibles de segunda generación dentro del paradigma de la economía circular. A pesar de los desafíos operativos, su valorización representa una solución ambiental insustituible que mitiga la huella de carbono y resuelve el conflicto ético de la competencia por recursos alimentarios.

Como línea de investigación futura, se propone la optimización de métodos de pretratamiento para reducir la concentración inicial de ácidos grasos libres en los aceites residuales, así como la evaluación de catalizadores heterogéneos que minimicen las reacciones de saponificación competitiva. Asimismo, resultaría de gran interés

científico analizar el perfil de emisiones de los biocombustibles obtenidos y avanzar hacia el estudio de parámetros normativos como la viscosidad cinemática o el número de cetano.

7. Agradecimientos

El presente trabajo de investigación se ha desarrollado y ejecutado en las instalaciones del IES Floridablanca. Se extiende un sincero agradecimiento a este centro educativo, así como a la tutora Lara Sidrach de Cardona Paniagua, por su inestimable supervisión, apoyo y valiosa orientación a lo largo de todas las fases de este proyecto científico. Y a mi profesora de investigación Nieves Soriano Nieto, quién me ha ayudado a lo largo de todo este proceso.

8. Bibliografía

Atadashi, I.M., Aroua, M.K., Abdul Aziz, A.R. y Sulaiman, N.M.N. (2012) 'The effects of water on biodiesel production and refining technologies: A review', Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(5), pp. 3456–3470. doi: 10.1016/j.rser.2012.03.004.

Environmental Protection Agency (EPA) (2024) Greenhouse Gas Emissions and Biodiesel Life Cycle Analysis. Washington, DC: EPA.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007) Climate Change 2007: Synthesis Report. Ginebra: IPCC.

Islas, J. et al. (2007) 'Inestabilidad y propiedades del biodiesel frente a la oxidación'.

Mahesh, S.E. et al. (2015) 'Propiedades lubricantes y número de cetano del biodiesel'.

Majer, S. et al. (2009) 'Sostenibilidad y debates sobre biocombustibles vírgenes'.

Phan, A.N. y Phan, T.M. (2008) 'Biodiesel production from waste cooking oils', Fuel, 87(13), pp. 3490–3496. doi: 10.1016/j.fuel.2008.07.008.

Ramírez-Verduzco, L.F., Rodríguez-Rodríguez, J.E. y Jaramillo-Jacob, A. (2012) 'Predicting cetane number, kinematic viscosity, density and higher heating value of biodiesel from its fatty acid methyl ester composition', Fuel, 91(1), pp. 102–107. doi: 10.1016/j.fuel.2011.06.070.

ANEXO

Figura 1: *Aceites utilizados en el proyecto. Fuente: Elaboración propia.*

Figura 2: *Proceso de filtración de varios de los aceites reciclados utilizados en este trabajo. Fuente: Elaboración propia.*

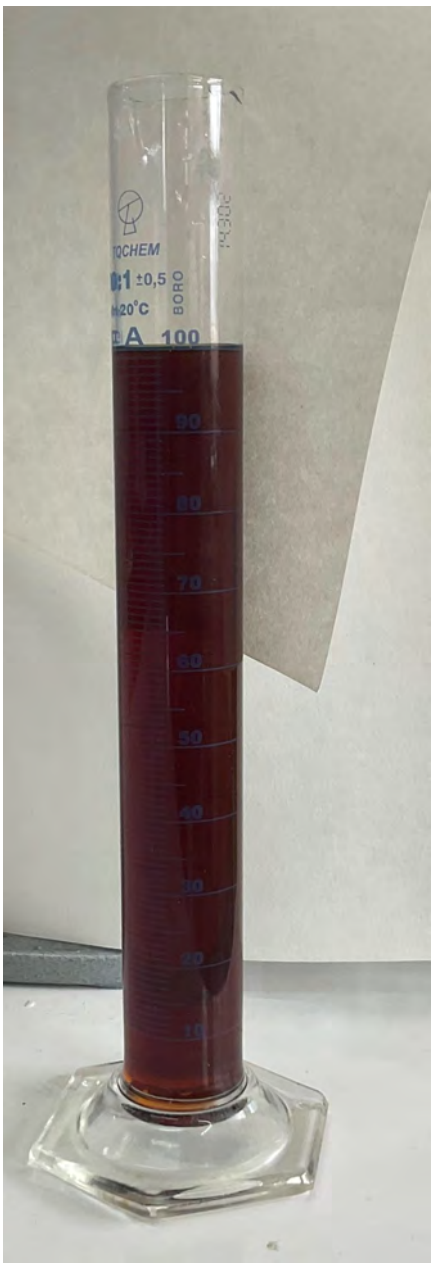


Figura 3: *100 mL de muestra de aceite medidos en una probeta. Fuente: Elaboración propia.*

Figura 4: *Proceso llevado a cabo a la par en el que se observa en la parte superior el proceso de calentamiento de aceite en agitador magnético con placa calefactora y en la parte superior la formación del ión metóxido en un agitador magnético distinto. Fuente: Elaboración propia.*

Figura 5: *Proceso de transesterificación de una de las muestras de aceite reciclado. Fuente: Elaboración propia.*

Figura 6: *Decantación separación de biodiésel y glicerina. Fuente: Elaboración propia.*

Figura 7: *Proceso de lavado de biodiésel. Fuente: Elaboración propia.*

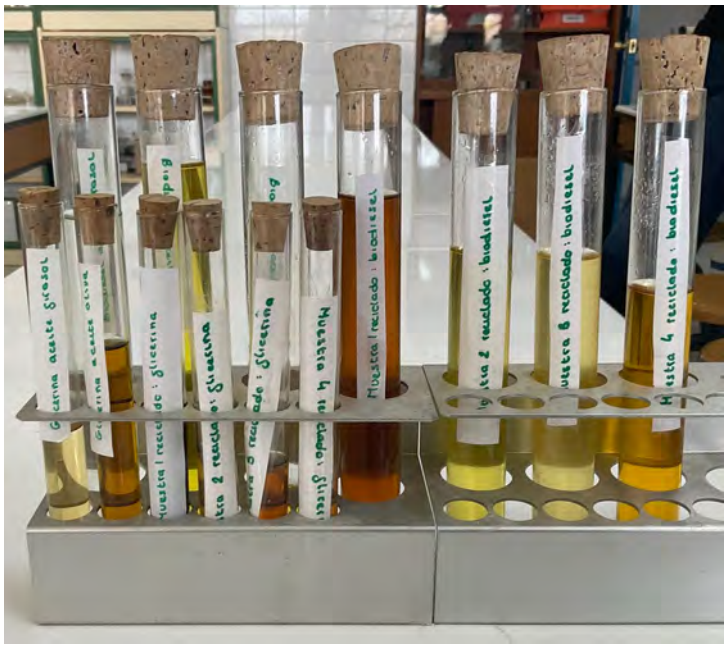


Figura 8: *Muestras de biodiésel y glicerina obtenidas. Fuente: Elaboración propia.*

Figura 9: *Montaje del experimento en el laboratorio. Fuente: Elaboración propia.*

Figura 10: *Montaje para la valoración ácido-base mostrando la coloración rosada producida por la fenolftaleína antes del punto de neutralización. Fuente: Elaboración propia.*

Figura 11: *Montaje experimental diseñado para la evaluación de la transferencia térmica, detallando el posicionamiento del biocombustible, el recipiente con agua y el termómetro. Fuente: Elaboración propia.*

Tipo de aceite	Biodiesel (ml)	Glicerina (ml)
Girasol	80	11,0
Oliva	100	16,5
Reciclado 1	99	13,0
Reciclado 2	100	10,0
Reciclado 3	70	9,0
Reciclado 4	60	8,0

Figura 12: *Datos obtenidos tras los tres lavados de cada uno de los biodiésel. Fuente: Elaboración propia.*

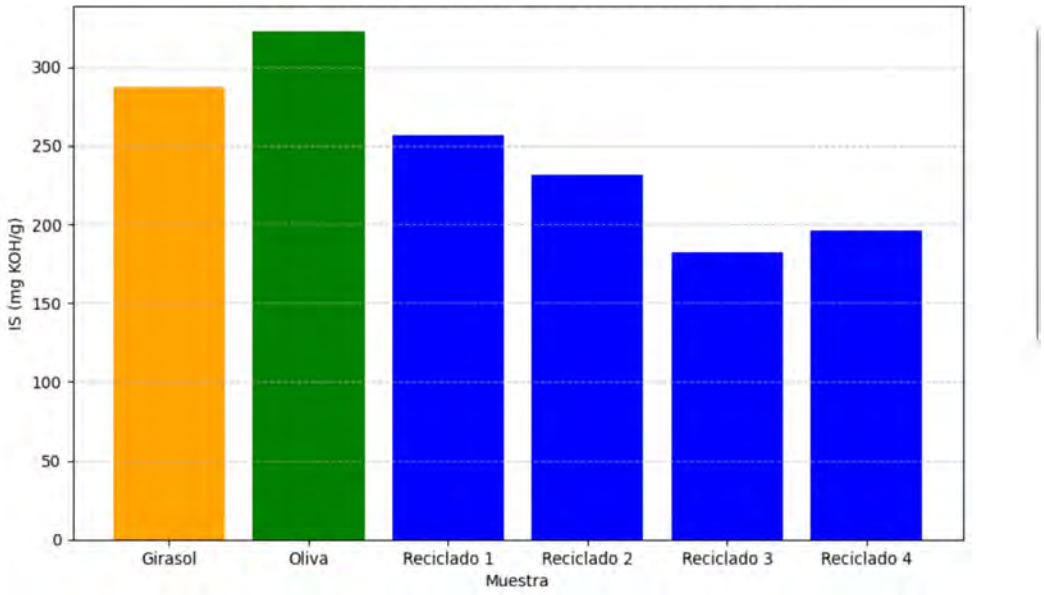


Figura 13: *Gráfico del índice de saponificación medido según el aceite usado. Fuente: Elaboración propia.*

Título del trabajo:

ECO-SUBER: Desarrollo de un mortero sostenible para nidos artificiales de aves

Autor (nombre y apellidos del alumno o alumnos) Curso Académico y Nivel

Marco Serna Morcillo. Curso 25/26. 2º de Bachillerato

Datos del Tutor:

Julián Alcántara Lapaz. Profesor de Física y Química. IES Floridablanca.

Centro docente:

IES Floridablanca

Índice con los epígrafes de los trabajos y su paginación

Resumen del tema a desarrollar / Abstract — pág. 3

1. Introducción — pág. 4
2. Antecedentes y estado de la cuestión — pág. 4
   2.1 Conceptos clave — pág. 4
   2.2 Evolución de los nidos artificiales — pág. 4
   2.3 Composición y funcionamiento de los morteros — pág. 5
   2.4 Materiales sostenibles empleados en otras investigaciones — pág. 5
   2.5 Evaluación del comportamiento del material — pág. 5
3. Hipótesis de trabajo y objetivos de la investigación — pág. 5
   Hipótesis — pág. 5
   Objetivo principal — pág. 5
   Objetivos específicos — pág. 5
4. Materiales y métodos — pág. 6
   4.1 Selección de materiales — pág. 6
   4.2 Preparación de los aditivos orgánicos — pág. 6
   4.3 Diseño experimental y formulación de mezclas — pág. 6
   4.4 Elaboración manual de las mezclas — pág. 7
   4.5 Fabricación de probetas — pág. 7
   4.6 Proceso de curado — pág. 7
   4.7 Ensayos experimentales — pág. 7
5. Resultados — pág. 7
   5.1 Resultados del ensayo de resistencia al impacto — pág. 7
   5.2 Resultados del ensayo de resistencia a compresión — pág. 8
   5.3 Observaciones cualitativas — pág. 8
   5.4 Interpretación global — pág. 8
6. Conclusiones — pág. 9
   Valoración general — pág. 9
   Cumplimiento del objetivo principal — pág. 9
   Cumplimiento de los objetivos específicos — pág. 9
   Limitaciones y futuras líneas de investigación — pág. 9
   Conclusión final — pág. 9
7. Agradecimientos — pág. 9
8. Bibliografía — pág. 10
9. Anexo — pág. 11
   Anexo I. Tabla de planificación de morteros — pág. 11
   Anexo II. Tabla de resultados de la experimentación — pág. 11
   Anexo III. Versión ampliada de las tablas experimentales — pág. 13
   Anexo IV. Registro fotográfico del proceso experimental — pág. 13

Resumen del Tema a desarrollar (250 palabras máximo, en castellano)

El presente proyecto tiene como finalidad desarrollar y evaluar experimentalmente un mortero sostenible destinado a la fabricación de nidos artificiales para aves, reduciendo el uso de cemento Portland mediante la incorporación de cal, corcho triturado y aditivos orgánicos tradicionales.
Se diseñó un estudio experimental comparativo en el que se elaboraron once mezclas diferentes organizadas en dos grupos: morteros con cemento y morteros sin cemento. Las probetas cilíndricas fabricadas (4 cm de diámetro y 9 cm de altura) fueron sometidas a un curado natural de cuatro días y evaluadas mediante ensayos de resistencia a impacto y compresión, además de análisis cualitativos sobre peso, acabado y porosidad.

Los resultados indican que las mezclas con cemento desarrollaron resistencia suficiente en el tiempo disponible, mientras que las formulaciones exclusivamente basadas en cal no alcanzaron fraguado adecuado. La mezcla compuesta por cemento, arena, corcho y cal presentó el mejor equilibrio entre resistencia mecánica y sostenibilidad.

Resumen del Tema en inglés (250 palabras)

The present project aims to experimentally develop and evaluate a sustainable mortar intended for the manufacture of artificial bird nests, reducing the use of Portland cement through the incorporation of lime, crushed cork, and traditional organic additives.
A comparative experimental study was designed in which eleven different mixtures were produced, organized into two groups: mortars with cement and mortars without cement. The cylindrical specimens manufactured (4 cm in diameter and 9 cm in height) were subjected to a natural curing process of four days and evaluated through impact and compression resistance tests, in addition to qualitative analyses of weight, finish, and porosity.
The results indicate that the mixtures with cement developed sufficient strength within the available time, while the formulations based exclusively on lime did not achieve adequate setting. The mixture composed of cement, sand, cork, and lime presented the best balance between mechanical strength and sustainability.

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1. Introducción

La conservación de la biodiversidad, especialmente de las aves, es un desafío actual debido a la pérdida de hábitats causada por la urbanización, la deforestación y el cambio climático. Esta situación ha reducido los espacios de anidación y afecta a la reproducción y supervivencia de muchas especies. Ante ello, el desarrollo de nidos artificiales que reproduzcan condiciones naturales se presenta como una solución responsable que favorece la convivencia entre el desarrollo humano y la protección de la fauna.

Tradicionalmente, estos nidos se fabrican con madera, cerámica o cemento. Sin embargo, estos materiales presentan limitaciones: el cemento tiene una elevada huella de carbono y puede generar estructuras pesadas y poco aislantes, mientras que la madera requiere mantenimiento y es vulnerable a la humedad y a los cambios térmicos.

En los últimos años, la investigación en materiales sostenibles ha demostrado que es posible crear compuestos con buenas propiedades mecánicas y menor impacto ambiental. En este contexto, el uso de morteros modificados con componentes naturales como corcho triturado, clara de huevo o arroz glutinoso (sticky rice) constituye una alternativa prometedora. Estos materiales pueden aportar ligereza, aislamiento y cohesión, además de ajustarse a los principios de la economía circular al reutilizar recursos naturales o residuos.

El presente proyecto propone desarrollar un mortero sostenible para la fabricación de nidos artificiales, reduciendo el uso de cemento mediante la incorporación de cal, corcho y aditivos orgánicos. Esta propuesta se inspira en técnicas tradicionales, como los morteros históricos de cal y arroz glutinoso, que demostraron la eficacia de combinar componentes orgánicos e inorgánicos.

La investigación se justifica tanto por su contribución a la conservación de las aves como por su potencial aplicación en otros ámbitos de la construcción sostenible. Para ello, se ha planteado un diseño experimental comparativo que permite evaluar de forma práctica el comportamiento de distintas formulaciones de mortero sostenible, analizando su resistencia mecánica, su ligereza y su posible aplicación real en la fabricación de nidos artificiales. En definitiva, el trabajo busca demostrar que es posible integrar funcionalidad, sostenibilidad e innovación en el desarrollo de nuevos materiales respetuosos con el medio ambiente.

2. Antecedentes y estado de la cuestión

2.1 Conceptos clave

El mortero es un material de construcción compuesto por un aglutinante (cemento y/o cal), arena y agua. Tras el proceso de fraguado, la mezcla pasa de un estado plástico a uno sólido, adquiriendo cohesión y resistencia mecánica. El hormigón es un material similar, pero incorpora áridos gruesos además de arena.

El fraguado depende del tipo de aglutinante. El cemento Portland endurece mediante reacciones de hidratación, desarrollando resistencia en un tiempo relativamente corto, aunque con un elevado impacto ambiental debido a sus emisiones de CO_2. La cal, en cambio, fragua por carbonatación, un proceso más lento pero más compatible con materiales naturales y con menor huella de carbono.

Dentro del enfoque de sostenibilidad y economía circular, se busca reducir el uso de materiales de alto impacto y sustituirlos parcialmente por recursos naturales o reutilizados. En este contexto, los nidos artificiales son estructuras diseñadas para proporcionar refugio a aves en entornos donde los hábitats naturales han disminuido.

2.2 Evolución de los nidos artificiales

Los nidos artificiales surgieron inicialmente como herramientas prácticas para el control de plagas agrícolas en Europa durante los siglos XVIII y XIX. Posteriormente, su uso se amplió al ámbito científico, permitiendo estudiar el comportamiento reproductivo y la adaptación de las aves.

En las últimas décadas, su aplicación se ha extendido a entornos urbanos, donde la pérdida de hábitat natural ha reducido los espacios de anidación. Paralelamente, ha aumentado la preocupación por la sostenibilidad de los materiales utilizados en su fabricación. Actualmente, el diseño de estos refugios combina criterios ecológicos, funcionales y ambientales, promoviendo el uso de materiales reciclados o de bajo impacto ambiental (Schwegler Natur, 2023). Este contexto pone de manifiesto la necesidad no solo de diseñar nidos artificiales funcionales, sino también de replantear los materiales empleados en su fabricación desde una perspectiva ambiental.

2.3 Composición y funcionamiento de los morteros

El comportamiento del mortero depende del equilibrio entre sus componentes:

- Aglutinante (cemento y/o cal): aporta cohesión y resistencia.
- Arena: proporciona estabilidad dimensional y estructura.
- Agua: permite la reacción química y da trabajabilidad a la mezcla.

Un exceso de agua puede generar porosidad y reducir la resistencia final, mientras que una proporción adecuada mejora la compactación.

Los morteros de cemento ofrecen mayor resistencia inicial, pero menor transpirabilidad. Los morteros de cal presentan mayor flexibilidad y compatibilidad con materiales naturales, aunque requieren tiempos de fraguado más largos.

Históricamente, algunas culturas combinaron componentes minerales y orgánicos, como el mortero de cal con arroz glutinoso en la arquitectura china. Esta mezcla demostró una elevada durabilidad gracias a la acción aglutinante de la amilopectina presente en el arroz.

2.4 Materiales sostenibles empleados en otras investigaciones

El desarrollo de morteros sostenibles implica la incorporación de materiales naturales que reduzcan la dependencia del cemento:

Corcho triturado: agregado ligero de origen vegetal que reduce la densidad del mortero y mejora su aislamiento térmico y acústico.

- Clara de huevo: aditivo orgánico con propiedades aglutinantes que puede mejorar la cohesión y disminuir la absorción de agua (Pérez Rojas, 2017).
- Sticky rice (arroz glutinoso): utilizado históricamente en morteros de cal, mejora la cohesión interna y la durabilidad (Yang, Zhang & Ma, 2010).
- Mucílago de nopal: polisacárido natural que aumenta la trabajabilidad, retiene agua y puede reducir la fisuración.
- Cal: aglutinante tradicional que permite reducir la cantidad de cemento y mejorar la transpirabilidad del material.

El uso combinado de estos materiales contribuye a disminuir la huella de carbono, reutilizar recursos naturales y fomentar la economía circular.

2.5 Evaluación del comportamiento del material

La evaluación de morteros sostenibles se basa en ensayos mecánicos y observaciones cualitativas. Entre los principales métodos destacan:

Ensayos de resistencia a compresión, que determinan la capacidad del material para soportar cargas.

- Ensayos de impacto, que permiten analizar su comportamiento ante cargas dinámicas.
- Análisis de porosidad y absorción de agua, relacionados con la durabilidad.
- Observación visual de fisuras y acabado superficial.

La comparación con morteros convencionales permite determinar si las mezclas sostenibles mantienen propiedades estructurales adecuadas.

Es importante considerar que los materiales naturales pueden presentar mayor variabilidad en su comportamiento, especialmente en función del tiempo de curado y de las condiciones ambientales.

3. Hipótesis de trabajo y objetivos de la investigación

Hipótesis: Es posible crear un mortero sostenible que pueda utilizarse para nidos artificiales.

Objetivo principal

Desarrollar un mortero sostenible aplicable a la construcción de nidos artificiales.

Objetivos específicos

Realizar un estudio teórico previo sobre los materiales propuestos, analizando sus propiedades físicas y químicas, así como sus posibles interacciones dentro del mortero sostenible.

Elaborar y someter a prueba distintas mezclas para evaluar las propiedades del material resultante, como su resistencia, durabilidad, permeabilidad y capacidad aislante.

Identificar y seleccionar los componentes más adecuados para obtener un mortero que sea respetuoso con el medio ambiente, reduciendo el uso de cemento y aprovechando recursos naturales o reciclados.

Comparar los resultados obtenidos con los de morteros convencionales, con el fin de determinar si las alternativas sostenibles ofrecen un rendimiento igual o superior.

4. Materiales y métodos

La metodología del presente trabajo se basa en un diseño experimental y comparativo cuyo objetivo es analizar el comportamiento de distintas mezclas de mortero sostenible destinadas a la fabricación de nidos artificiales para aves.

El estudio se desarrolló en un entorno no industrial, utilizando medios accesibles y técnicas reproducibles a pequeña escala. No obstante, se mantuvo un planteamiento sistemático que permitiera comparar las diferentes formulaciones bajo condiciones similares.

La investigación combinó tres fases principales:

Diseño y formulación de mezclas.

Fabricación de probetas y proceso de curado.

Ensayos experimentales de resistencia.

4.1 Selección de materiales

Los materiales se seleccionaron según tres criterios fundamentales:

Propiedades mecánicas adecuadas para morteros.

Bajo impacto ambiental o origen natural.

Viabilidad de aplicación en nidos artificiales.

Los componentes empleados fueron:

Cemento Portland.

Cal aérea.

Arena fina.

Agua.

Corcho triturado.

Extracto de arroz glutinoso (sticky rice).

Mucílago de nopal.

Clara de huevo.

La elección de estos materiales se fundamentó en la revisión bibliográfica previa, donde se describen sus efectos sobre la cohesión, la resistencia, la trabajabilidad y la sostenibilidad del mortero.

4.2 Preparación de los aditivos orgánicos

Para evaluar la influencia de componentes naturales tradicionales, se elaboraron tres aditivos mediante procedimientos controlados:

Mucílago de nopal:

Se trituraron pencas frescas previamente peladas con agua hasta obtener una suspensión viscosa. Posteriormente se calentó suavemente y se filtró para separar fibras, utilizando el líquido resultante como parte del agua de amasado.

Extracto de arroz glutinoso (sticky rice):

El arroz se coció hasta su gelatinización completa, se trituró y filtró para obtener una suspensión rica en almidón (amilopectina). Este extracto se incorporó como aditivo aglutinante parcial.

Clara de huevo:

Se utilizó clara envasada directamente, facilitando su dosificación y homogeneidad.

4.3 Diseño experimental y formulación de mezclas

Se elaboró un plan experimental basado en la comparación sistemática de diferentes composiciones. Las mezclas se organizaron en dos grupos principales:

Morteros con cemento Portland.

Morteros sin cemento (basados únicamente en cal).

Dentro de cada grupo se diseñaron mezclas progresivas, comenzando por composiciones control sencillas e incorporando posteriormente corcho y aditivos naturales.

Las proporciones se establecieron en porcentajes aproximados respecto al total en estado fresco, manteniendo constante la relación agua/aglutinante para garantizar comparabilidad entre probetas.

Este diseño permitió disponer de:

Mezclas control tradicionales.

Mezclas ligeras con corcho.

Mezclas híbridas cemento-cal.

Mezclas con aditivos naturales individuales y combinados.

Posteriormente se comprobó que únicamente las mezclas con cemento alcanzaron un fraguado suficiente en el tiempo disponible para ser ensayadas mecánicamente.

(Véanse figuras A1 y A2 en anexos).

4.4 Elaboración manual de las mezclas

Los materiales sólidos se pesaron previamente en seco para asegurar las proporciones establecidas.

En primer lugar, se mezclaron manualmente los componentes secos (aglutinantes, arena y corcho) hasta lograr una distribución homogénea. Posteriormente se añadió el agua de forma progresiva, evitando la formación de grumos. En las mezclas con aditivos naturales, estos se incorporaron junto con el agua para asegurar su correcta dispersión. El amasado se realizó manualmente con herramientas sencillas, buscando reproducir un procedimiento accesible fuera de laboratorio. La consistencia final debía permitir el vertido sin segregación y una adecuada compactación.

4.5 Fabricación de probetas

Las probetas se fabricaron utilizando moldes cilíndricos reutilizados de aproximadamente 4 cm de diámetro y 9 cm de altura. Cada molde se rellenó en varias capas, compactando manualmente cada una para reducir la presencia de aire atrapado y mejorar la cohesión interna. La superficie superior se niveló para asegurar uniformidad geométrica.

Las muestras permanecieron en el molde durante el fraguado inicial para evitar alteraciones estructurales.

(Véanse figuras A3 y A4 en anexos)

4.6 Proceso de curado

Las probetas se sometieron a un curado natural en una habitación cerrada, protegidas de corrientes de aire y cambios bruscos de temperatura o humedad. El tiempo de curado fue de aproximadamente cuatro días para todas las muestras. Durante este periodo se realizó un seguimiento visual del endurecimiento, registrando posibles fisuras o defectos superficiales. Este procedimiento permitió garantizar condiciones similares antes de la realización de los ensayos.

4.7 Ensayos experimentales

Se realizaron dos tipos de ensayos mecánicos adaptados a los medios disponibles:

Ensayo de resistencia a compresión

Las probetas se colocaron en posición vertical sobre una superficie rígida. Se aplicaron cargas progresivas mediante pesos distribuidos con una plancha de madera hasta observar deformación o fisura. Se registró el peso soportado y el comportamiento del material.

Ensayo de resistencia a impacto

Las probetas se sometieron a impactos controlados mediante la caída de un objeto de masa constante desde distintas alturas. Se registró la altura correspondiente a la aparición de la primera fisura y la rotura significativa.

Estos ensayos permitieron comparar de forma preliminar la resistencia y estabilidad relativa de las diferentes formulaciones.

(Véanse figuras A5 y A6 en anexos)

5. Resultados

El análisis de resultados se realizó a partir de los ensayos de resistencia a impacto y compresión aplicados a las probetas que alcanzaron un fraguado suficiente tras cuatro días de curado natural. Las mezclas compuestas únicamente por cal no pudieron ser evaluadas mecánicamente, ya que se desmoronaban durante el desmoldeo o ante una mínima manipulación. Por tanto, los ensayos se centraron exclusivamente en las formulaciones que incorporaban cemento Portland, al ser las únicas que desarrollaron resistencia inicial suficiente en el tiempo disponible. Se fabricaron dos probetas por cada mezcla ensayada, obteniéndose comportamientos muy similares en ambos casos, lo que permite considerar representativos los resultados obtenidos. Las mezclas sin cemento, aunque forman parte del diseño experimental, solo pudieron analizarse desde el punto de vista cualitativo, evidenciando la importancia del tipo de aglutinante y del tiempo de fraguado en el desarrollo de resistencia inicial.

5.1 Resultados del ensayo de resistencia al impacto

El ensayo de impacto consistió en dejar caer un objeto de 1 kg desde distintas alturas crecientes sobre la zona central de la probeta, colocada horizontalmente entre dos apoyos.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Cemento + arena + agua: fisura leve a 60 cm, sin rotura completa.

Cemento + arena + corcho: fisura a 40 cm y rotura parcial a 50 cm.

Cemento + arena + corcho + cal: fisura a 30 cm y rotura a 40 cm.

Cemento + arena + corcho + cal + sticky rice: fisura a 40 cm y rotura a 60 cm.

Cemento + arena + corcho + cal + sticky rice + nopal: fisura a 30 cm y rotura a 50 cm.

El mortero tradicional (cemento + arena) mostró el mejor comportamiento frente al impacto, lo que era previsible debido a su mayor densidad y cohesión interna.

La incorporación de corcho redujo la resistencia al impacto, probablemente por el aumento de porosidad y la disminución de densidad del material. La adición de cal también pareció disminuir inicialmente la resistencia frente a cargas dinámicas.

Sin embargo, la presencia de sticky rice mejoró el comportamiento respecto a la mezcla híbrida sin aditivos, aumentando la altura necesaria para provocar la rotura. Este resultado coincide con lo señalado en la bibliografía, que atribuye al arroz glutinoso una mejora en la cohesión interna del mortero.

La combinación de sticky rice y mucílago de nopal mostró un comportamiento intermedio, manteniendo una resistencia aceptable aunque inferior a la mezcla tradicional.

5.2 Resultados del ensayo de resistencia a compresión

El ensayo de compresión consistió en aplicar cargas progresivas hasta aproximadamente 40 kg, observando deformaciones visibles.

Los resultados fueron:

Cemento + arena + agua: sin deformación visible.

Cemento + arena + corcho: leve deformación a 40 kg.

Cemento + arena + corcho + cal: deformación muy leve.

Cemento + arena + corcho + cal + sticky rice: leve deformación.

En ningún caso se produjo rotura total durante el ensayo.

Todas las mezclas con cemento mostraron una resistencia a compresión elevada en relación con el tamaño de las probetas. La mezcla tradicional fue la más rígida, confirmando su mayor capacidad portante.

La incorporación de corcho redujo ligeramente la rigidez, lo que puede asociarse a su carácter de agregado ligero. La presencia de cal no produjo pérdidas significativas de resistencia, lo que indica que puede reducirse parcialmente el cemento sin comprometer la estabilidad estructural inicial.

El uso de sticky rice generó ligeras deformaciones adicionales, posiblemente relacionadas con una mayor plasticidad interna.

5.3 Observaciones cualitativas

Además de los ensayos mecánicos, se registraron observaciones relevantes durante el proceso de fabricación y curado:

Las mezclas con mayor proporción de cemento resultaron más pesadas y compactas.

Las formulaciones con mayor contenido de corcho y cal fueron más ligeras.

Los aditivos orgánicos no modificaron significativamente el peso final.

Las superficies con mayor contenido de cemento presentaron mejor acabado y uniformidad.

Las mezclas con corcho, especialmente sin cemento, mostraron mayor porosidad y rugosidad.

Las probetas con cemento endurecieron más rápidamente.

Las mezclas sin cemento no alcanzaron fraguado suficiente en cuatro días.

Estas observaciones refuerzan la idea de que el cemento es determinante para el desarrollo de resistencia inicial en tiempos cortos, mientras que la cal requiere periodos de carbonatación más prolongados.

5.4 Interpretación global

En conjunto, los resultados evidencian un equilibrio entre resistencia mecánica, ligereza y sostenibilidad.

El mortero tradicional ofrece la mayor resistencia, pero implica mayor peso y mayor uso de cemento. La incorporación de corcho reduce la densidad y mejora el potencial aislante, aunque disminuye ligeramente la resistencia. La adición de cal permite reducir parcialmente el cemento sin afectar de forma significativa la resistencia a compresión.

Los aditivos orgánicos, especialmente el sticky rice, mostraron un efecto positivo en la cohesión y el comportamiento frente a impacto, sugiriendo que con tiempos de curado mayores podrían ofrecer resultados aún más favorables.

De forma preliminar, las mezclas híbridas con cemento reducido, cal y aditivos naturales se perfilan como las más prometedoras para la fabricación de nidos artificiales, donde no se requiere una resistencia estructural extrema, sino un equilibrio entre estabilidad, ligereza y sostenibilidad. Estos resultados permiten establecer una relación directa entre la composición del mortero y su comportamiento mecánico, aportando criterios objetivos para seleccionar las mezclas más adecuadas desde el punto de vista estructural y ambiental.

(Véanse figuras A7 y A8 en anexos)

6. Conclusiones

Valoración general

El objetivo de este trabajo ha sido analizar la viabilidad de desarrollar un mortero sostenible para la fabricación de nidos artificiales, combinando materiales tradicionales con componentes naturales y aditivos orgánicos. A través del estudio teórico y la experimentación práctica se ha evaluado el comportamiento de distintas mezclas con vistas a su aplicación real en una caseta para aves.

Cumplimiento del objetivo principal

El objetivo principal consistía en desarrollar un mortero sostenible aplicable a nidos artificiales.

Los resultados muestran que las mezclas con cemento presentan mayor estabilidad en tiempos de curado cortos. En particular, la combinación de cemento, arena, corcho y cal ha ofrecido el mejor equilibrio entre resistencia mecánica y reducción parcial del uso de cemento, convirtiéndose en la opción más adecuada entre las probadas experimentalmente.

No obstante, las mezclas con aditivos orgánicos (sticky rice, mucílago de nopal o clara de huevo) podrían ofrecer mejores resultados con un tiempo de curado mayor, por lo que representan una línea prometedora para futuros desarrollos.

Cumplimiento de los objetivos específicos

Se ha cumplido el objetivo teórico mediante la revisión de las propiedades de los materiales y su contribución a la sostenibilidad.

El objetivo experimental también se ha alcanzado mediante la fabricación y ensayo de diferentes mezclas, permitiendo comparar su comportamiento frente a compresión e impacto.

Respecto a la reducción del cemento, se comprobó que su eliminación total no fue viable en las condiciones del estudio, aunque sí es posible reducir su proporción incorporando cal y corcho sin comprometer significativamente la resistencia inicial.

Limitaciones y futuras líneas de investigación

La principal limitación fue el tiempo de curado de cuatro días, insuficiente para las mezclas basadas únicamente en cal. Además, los ensayos se realizaron con medios accesibles, lo que limita la precisión de los resultados.

Como líneas futuras, sería necesario ampliar el tiempo de curado, realizar ensayos adicionales (absorción de agua, aislamiento térmico) y construir un prototipo real de caseta para evaluar su comportamiento en condiciones reales.

Conclusión final

En conjunto, el estudio demuestra que es posible desarrollar morteros parcialmente sostenibles que mantengan propiedades estructurales aceptables. Aunque el tiempo de fraguado limitó la evaluación completa de algunas mezclas, se han identificado combinaciones prometedoras y se han establecido bases sólidas para continuar avanzando en el diseño de un material más sostenible para nidos artificiales.

7. Agradecimientos

Quiero agradecer en primer lugar a mi tutor, Julián Alcántara Lapaz, por su orientación técnica, por facilitar los materiales necesarios y por acompañar el desarrollo experimental del proyecto desde su planteamiento inicial hasta la fase final de ensayos.

A las profesoras de Metodología de la Investigación, Ana María Machuca Reche y Nieves Soriano Nieto, por haber proporcionado las bases estructurales y científicas necesarias para la correcta planificación y redacción del trabajo.

Finalmente, a mi familia y amigos por el apoyo constante durante todo el proceso de elaboración.

8. Bibliografía

Abriga Nature (2022) *Morteros de corcho natural: soluciones exteriores e interiores*. Disponible en: https://www.abriganature.com/soluciones-exteriores-e-interiores/morteros-de-corcho-natural/ (Accedido: 29 mayo 2026).

CEEIM – Centro Europeo de Empresas e Innovación de Murcia (2023) *Innoteca: proyectos de innovación y sostenibilidad*. Disponible en: https://www.ceeim.es/es/innoteca/ (Accedido: 29 mayo 2026).

García, C. y López, M. (2018) 'Morteros de cal con mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) como aditivo: evaluación de las propiedades mecánicas en base al método de extracción empleado'. Disponible en: https://goo.su/1TCz8V8 (Accedido: 29 mayo 2026).

Journal of Cleaner Production (2019) 'Sustainable construction materials and circular economy approaches', *Journal of Cleaner Production*. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652619312338 (Accedido: 29 mayo 2026).

Nature (2020) 'Sustainable materials and traditional building techniques', *Heritage Science*, 8, p. 75. doi: 10.1186/s40494-020-00475-z.

Pérez Rojas, L. (2017) *Efecto de la clara de huevo en la resistencia a la compresión y capilaridad del mortero de cemento, arena y cal*. Tesis de licenciatura. Universidad César Vallejo. Disponible en: https://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2993611 (Accedido: 29 mayo 2026).

Sánchez García, M. (2019) *Hormigón ligero con nanosílice y áridos de plástico reciclado*. Tesis de grado. Universidad Politécnica de Cartagena. Disponible en: https://repositorio.upct.es/entities/publication/fee372e5-42b0-44c5-8cbb-aa5faa929039 (Accedido: 29 mayo 2026).

Schwegler Natur (2023) *Productos para la protección de aves y fauna silvestre*. Disponible en: https://www.schwegler-natur.de/?lang=en (Accedido: 29 mayo 2026).

Yang, F., Zhang, B. y Ma, Q. (2010) 'Sticky rice–lime mortar in ancient Chinese architecture: composition and performance', *Accounts of Chemical Research*, 43(6), pp. 936–944. doi: 10.1021/ar9001944.

Zepa Urban (s.a.) *Mortero de corcho: tecnología y sostenibilidad para los nuevos nidales*. Disponible en: https://www.zepaurban.com/es/actualidad_/noticias/mortero-de-corcho-tecnolog%C3%ADa-y-sostenibilidad-para-los-nuevos-nidales-de (Accedido: 29 mayo 2026).

ANEXO

Anexo I: Tabla de planificación de morteros.

M1	Con cemento	Cemento + arena + agua	30	0	55	0	15	0	0	0	4	Mezcla control tradicional
M2	Con cemento	Cemento + arena + corcho + agua	28	0	47	10	15	0	0	0	4	Ligera por corcho
M3	Con cemento	Cemento + arena + corcho + cal + agua	24	8	45	10	13	0	0	0	4	Híbrida cemento-cal
M4	Con cemento	Cemento + arena + corcho + cal + sticky + agua	23	8	44	10	10	5	0	0	4	Con aditivo arroz
M5	Con cemento	Cemento + arena + corcho + cal + sticky + nopal + agua	22	8	43	10	9	4	4	0	4	Dos aditivos naturales
M6	Con cemento	Cemento + arena + corcho + cal + sticky + nopal + clara + agua	21	8	42	10	8	4	4	3	4	Tres aditivos naturales
M7	Sin cemento	Cal + arena + agua	0	30	55	0	15	0	0	0	4	No fraguó correctamente
M8	Sin cemento	Cal + arena + corcho + agua	0	28	47	10	15	0	0	0	4	Muy frágil al desmoldar
M9	Sin cemento	Cal + arena + corcho + sticky + agua	0	27	46	10	12	5	0	0	4	No fraguó suficiente
M10	Sin cemento	Cal + arena + corcho + sticky + nopal + agua	0	26	45	10	11	4	4	0	4	No manipulable
M11	Sin cemento	Cal + arena + corcho + sticky + nopal + clara + agua	0	25	44	10	10	4	4	3	4	Fallido por fraguado lento

Anexo II: Tabla de resultados de la experimentación

M1	Cemento + arena + agua	60 cm	No rotura	Sin deformación	Alto	Muy uniforme	Correcto	Mezcla más rígida y resistente
M2	Cemento + arena + corcho	40 cm	50 cm	Deformación leve	Medio	Algo poroso	Correcto	Más ligero, menor resistencia

								impacto
M3	Cemento + arena + corcho + cal	30 cm	40 cm	Deformación muy leve	Medio-bajo	Buen acabado	Correcto	Buen equilibrio general
M4	Cemento + arena + corcho + cal + sticky	40 cm	60 cm	Deformación leve	Medio-bajo	Uniforme	Correcto	Sticky mejora cohesión e impacto
M5	Cemento + arena + corcho + cal + sticky + nopal	30 cm	50 cm	Sin deformación apreciable	Medio-bajo	Algo poroso	Correcto	Comportamiento estable
M6	Cemento + arena + corcho + cal + clara + sticky + nopal	No se pudo evaluar	No se pudo evaluar	No se pudo evaluar	Medio-bajo	Similar a M5	Manipulable	No se llegó a ensayar por tiempo
M7	Cal + arena + agua	No se pudo evaluar	No se pudo evaluar	No se pudo evaluar	Medio	Rugoso	Se desmorona	No fraguó en 4 días
M8	Cal + arena + corcho + agua	No se pudo evaluar	No se pudo evaluar	No se pudo evaluar	Bajo	Muy poroso	Muy débil	Ligero pero inestable
M9	Cal + arena + corcho + sticky	No se pudo evaluar	No se pudo evaluar	No se pudo evaluar	Bajo	Poroso	Débil	Sticky no compensó falta de cemento
M10	Cal + arena + corcho + sticky + nopal	No se pudo evaluar	No se pudo evaluar	No se pudo evaluar	Bajo	Poroso	Se rompe al manipular	No alcanzó resistencia mínima
M11	Cal + arena + corcho + clara + sticky + nopal	No se pudo evaluar	No se pudo evaluar	No se pudo evaluar	Bajo	Irregular	No manipulable	No fraguó suficiente

Anexo III: Versión ampliada de las tablas experimentales.

ECO-SUBER TABLAS ANEXADAS

Anexo IV: Registro fotográfico del proceso experimental.

Figura A1. Preparación del mucílago de nopal mediante triturado y calentamiento. Fuente: elaboración propia.

Figura A2. Preparación del extracto de arroz glutinoso tras la cocción y filtrado. Fuente: elaboración propia.

Figura A3. Probetas recién fabricadas dentro de los moldes cilíndricos. Fuente: elaboración propia.

Figura A4. Mezcla manual del mortero con los distintos componentes. Fuente: elaboración propia

Figura A5. Ensayo de resistencia a compresión mediante cargas progresivas. Fuente: elaboración propia

Figura A6. Ensayo de resistencia a impacto mediante caída controlada de masa. Fuente: elaboración propia

Figura A7. Probeta tras rotura por impacto. Fuente: elaboración propia.

Figura A8. Probeta tras deformación en ensayo de compresión. Fuente: elaboración propia.

IES Ruiz de Alda

Universidad Politécnica de Cartagena

MODELIZACIÓN Y SIMULACIÓN DE ESTRUCTURAS FUNICULARES: ARCOS Y CUBIERTAS

Lucía Albaladejo Cano y Daniela Méndez Hernández

Tutores: María Teresa Fernández Jambrina y Antonio Garrigós Escudero

2025-2026

2º Bachillerato

Índice

Índice **1**
Resumen **2**
Abstract **3**
1. Introducción **4**
1.1. Modelo matemático 4
2. Antecedentes **5**
3. Objetivos **6**
4. Materiales y métodos **6**
5. Resultados **6**
6. Conclusiones **7**
7. Agradecimientos **7**
8. Bibliografía **8**
Figuras: **9**

Resumen

El presente trabajo se centra en la modelización y simulación de estructuras funiculares, específicamente arcos y cubiertas, que tienen la particularidad de resistir cargas trabajando principalmente a compresión. A través de un enfoque basado en la Matemática Aplicada, se estudia el diseño de estas estructuras partiendo del equilibrio de fuerzas en cables (funiculares de tracción) y su posterior inversión para obtener formas óptimas de compresión, siguiendo el principio histórico de Robert Hooke.

Para llevar a cabo la investigación, se desarrolla un modelo matemático detallado que analiza las fuerzas verticales y horizontales, así como las tensiones en el sistema. La metodología implementada consta de seis etapas: desde la creación del modelo y el análisis matemático, hasta el uso de métodos numéricos como Runge-Kutta de orden 4 y el método de Tiro (lineal y no lineal), finalizando con la simulación y visualización de resultados mediante el software *Maxima*. El estudio evalúa la respuesta de diversos tipos de arcos, bóvedas y cúpulas frente a diferentes cargas, permitiendo identificar parámetros cruciales para su estabilidad y diseño arquitectónico.

***Palabras clave*:** bóvedas, arcos, cúpulas, simulación, *Maxima*, método tiro lineal, método tiro no lineal, modelo matemático, Runge-Kutta, Hooke.

1. Introducción

El análisis de la estabilidad y la forma de las estructuras arquitectónicas ha sido un desafío histórico que combina la física, las matemáticas y la ingeniería. La respuesta de un elemento estructural, como un arco o cubierta, ante las fuerzas de gravedad y cargas externas es un punto clave en el diseño de edificaciones eficientes. En este sentido, la modelización matemática de estructuras funiculares y su simulación numérica permiten predecir el comportamiento de grandes obras arquitectónicas, optimizando el uso de materiales y garantizando su seguridad estructural sin necesidad de modelos físicos a escala real en cada etapa del diseño.

En la primera fase del estudio, se construye un modelo matemático fundamentado en la física del cable en equilibrio (catenaria). Utilizando el principio de inversión de fuerzas, se determina la configuración geométrica ideal de un arco para que soporte su propio peso y cargas adicionales sin sufrir tensiones de tracción. Una vez formulado el modelo, se somete a un examen cualitativo para confirmar que cumple con las condiciones de resolución matemática (existencia, unicidad y estabilidad), asegurando que los resultados obtenidos sean físicamente coherentes. La fase principal obtiene soluciones numéricas para distintos materiales y tipos de carga usando métodos de tiro (lineal y no lineal), implementados en *Maxima* para generar simulaciones del equilibrio estructural.

1.1. Modelo matemático

Un modelo matemático es una representación simplificada de un sistema real realizada mediante herramientas matemáticas, como ecuaciones y fórmulas. Su finalidad es describir de manera aproximada el comportamiento del sistema para entender cómo funciona, poder reproducirlo y predecir cómo reacciona ante diferentes situaciones.

Para construir el modelo matemático se consideran las tres fuerzas principales que actúan sobre el cable. Para analizar el equilibrio de un cable sometido a fuerzas, se modela su forma mediante una función *y(x)* que describe su desplazamiento vertical en cada punto. En el modelo, se consideran la densidad lineal del cable y una fuerza externa, con componentes vertical y horizontal.

Suponiendo que el sistema se encuentra en equilibrio estacionario, se aplica la segunda ley de Newton, de modo que la suma de fuerzas es nula. Analizando un pequeño tramo del cable y separando las componentes verticales y horizontales en las tres fuerzas principales (peso, tensiones y fuerzas externas), se obtiene la ecuación diferencial de estado.

Esta ecuación diferencial constituye un sistema no lineal, que junto con las condiciones de contorno de tipo Dirichlet, determina el estado de equilibrio. El hecho de ser una ecuación no lineal con condiciones de contorno, obliga a usar el método de tiro no lineal para obtener soluciones aproximadas.

$$-T_0 \frac{y''(x)}{\sqrt{1+y'(x)^2}} = V(x) - g\rho(x) \tag{1}$$

Sin embargo, cuando las desviaciones del cable con respecto a la horizontal son pequeñas, el modelo puede aproximarse por un sistema lineal, lo que permite resolverlo con un menor coste computacional (método de tiro lineal).

$$-T_0 y''(x) = V(x) - g\rho(x) \tag{2}$$

2. Antecedentes

Este estudio se ha desarrollado a lo largo de varios siglos, combinando métodos de observación empírica, matemáticas y, más recientemente, métodos computacionales. Los cables son elementos que no pueden resistir esfuerzos de compresión, ya que se pliegan fácilmente ante fuerzas aplicadas hacia el interior, pero presentan una gran eficacia ante la tracción. Por otro lado, los arcos requieren resistencia a la compresión para garantizar su estabilidad, especialmente en estructuras tradicionales de mampostería.

No obstante, ambos están íntimamente relacionados, como estableció Robert Hooke en el siglo XVII. En 1675, Hooke formuló un famoso anagrama que, descifrado tras su muerte, decía: "Ut pende C continuum flexile sic stabic contigcuum rigidun inversum ", indicando que la forma más eficiente de un arco estable se obtiene al invertir la forma de equilibrio de un cable flexible suspendido.

Este principio dio lugar a una técnica de diseño basada en arcos sometidos exclusivamente a esfuerzos de compresión (compression-only models), utilizada ampliamente desde el siglo XVII. Dentro de este enfoque, destaca el método experimental desarrollado por Antoni Gaudí, quién empleaba modelos físicos de hilos y pesos suspendidos para determinar las formas de equilibrio, que luego invertía y aplicaba al diseño de arcos como bóvedas, naves, torres. cómo en el caso de la Sagrada Familia de Barcelona.

Durante el siglo XX, la aparición de nuevos materiales como el hormigón armado, junto con la aplicación de modelos matemáticos basados en las ecuaciones de equilibrio de cables, permitió el diseño de estructuras laminares delgadas y ligeras de formas elegantes (shells). En este contexto, el ingeniero Eduardo Torroja desempeñó un papel fundamental, con investigaciones y obras que impulsaron significativamente el desarrollo de estas soluciones estructurales.

Más recientemente, en el ámbito teórico y computacional, Axel Killian y John Ochsedorf desarrollaron el método conocido como particle-spring systems, qué permite calcular de manera numérica la forma de arcos y cubiertas ligeras a partir de las ecuaciones de equilibrio de cables sometidos a cargas. Este enfoque ha facilitado no solo el diseño de estas estructuras, sino también la automatización de ciertos procesos constructivos.

3. Objetivos

En este trabajo se analizan diversas estructuras funiculares. Por ello, los objetivos planteados para el desarrollo del trabajo de investigación han sido los siguientes:

1. Estudiar y analizar en detalle el diseño de arcos a partir del equilibrio de fuerzas que actúan sobre los cables que los conforman.
2. Comprender su comportamiento estructural mediante la utilización de algoritmos computacionales con *Maxima* para realizar simulaciones sobre ello.
3. Comprobar y evaluar la respuesta de los arcos frente a distintos tipos de cargas sometidas, identificando cómo afectan a su estabilidad.

4. Materiales y métodos

En el desarrollo del proyecto se emplearon diversas herramientas matemáticas y computacionales para resolver el comportamiento del cable, destacando los métodos de Runge-Kutta de cuarto orden y las técnicas de tiro lineal y no lineal. Todos estos métodos se implementaron en *Maxima*, que permite realizar cálculos numéricos precisos y generar representaciones gráficas para visualizar y analizar la evolución del modelo y validar las técnicas aplicadas.

El trabajo siguió la metodología de investigación en Matemática Aplicada, que incluye la construcción del modelo matemático, análisis teórico, desarrollo de métodos numéricos, simulación y visualización, y validación de resultados. El modelo planteado en el apartado 1.1 sirvió como base para aproximar la forma del cable en situaciones donde no es posible obtener soluciones analíticas exactas, permitiendo estudiar con detalle cómo las fuerzas y condiciones afectan su geometría y tensión.

5. Resultados

Hemos utilizado nuestro método para simular varios casos reales, desde diferentes tipos de arcos hasta estructuras más complejas como bóvedas y cúpulas. Para demostrarlo, desarrollamos dos ejemplos concretos:

- Arco de piedra

En este caso, adaptamos la ecuación del cable para modelar una estructura que soporta su propio peso. El modelo tiene en cuenta una fuerza vertical (proporcional al material que está sobre el arco) y una compresión horizontal constante en los extremos.

Para resolverlo, usamos el método de tiro no lineal y el algoritmo de Runge-Kutta. Así obtuvimos la forma de equilibrio exacta que cumple con el espacio y los apoyos disponibles. Con este resultado, calculamos la flecha, los ángulos en los extremos y cómo se reparten las fuerzas de compresión. Esto nos permitió comprobar que tanto la fuerza vertical como la horizontal son piezas clave para que la estructura se mantenga estable.[1]

- Bóveda de crucería

[1] La Figura 1 ilustra la importancia del ángulo de inclinación en los extremos del arco para definir el tipo de apoyo lateral o el uso de refuerzos.

En el segundo ejemplo analizamos una bóveda de crucería de planta cuadrada, que es una estructura formada por el cruce de varios arcos. El procedimiento consistió en modelar por separado los arcos diagonales y los laterales, ajustando sus cargas y tensiones de forma independiente mediante el método de tiro no lineal y el algoritmo de Runge-Kutta.

Al final del cálculo, obtuvimos una flecha de 3,91 m en los arcos diagonales y de 3,04 m en los laterales. El resultado más importante es que, a pesar de que las cargas cambian en los extremos, la relación entre la compresión vertical y la horizontal se mantiene fija en un valor de 2,8. Esto demuestra la estabilidad de todo el sistema y confirma que el método funciona para diseñar estructuras más complejas, como las bóvedas estrelladas, yendo mucho más allá de los modelos de arcos simples.

6. Conclusiones

A lo largo de este trabajo se ha analizado cómo la geometría y la estabilidad de las estructuras funiculares están intrínsecamente relacionadas. Gracias a Robert Hooke, sabemos que para describir un arco, basta con obtener la disposición de equilibrio de un cable e invertir la posición de los puntos.

Mediante este principio de inversión, los esfuerzos de tracción que actúan en un cable se transforman en esfuerzos de compresión, lo que permite explicar y predecir el comportamiento mecánico de los arcos.

Para llevar esta teoría al ámbito computacional, en este proyecto se ha adaptado el método de tiro combinado con el algoritmo de Runge-Kutta de orden cuatro. Este enfoque ha permitido calcular numéricamente la disposición precisa de un arco considerando ciertas variables. Dado que los arcos suelen presentar grandes desviaciones verticales, hemos decidido implementar el método de tiro no lineal. En este proceso, se resuelve el problema de condiciones iniciales mediante RK4, mientras que las pendientes iniciales se ajustan mediante el método de bisección.

En definitiva este algoritmo, programado íntegramente en el entorno *Maxima*, ha demostrado ser una herramienta robusta y eficaz. Tras validar su funcionamiento, se aplicó con éxito al análisis de diversas estructuras de gran interés en arquitectura e ingeniería. Este no solo funciona en arcos de piedra sencillos, sino también en estructuras más complejas como bóvedas y cúpulas, garantizando resultados fiables basados en materiales reales.

7. Agradecimientos

Nos gustaría ofrecer nuestro más sincero agradecimiento al Dr. José Alberto Murillo, por haber sido un pilar fundamental en la elaboración de este proyecto y un magnífico profesor. Por supuesto, a Dª María Teresa Fernández Jambrina, por habernos brindado todo su apoyo y ayuda durante todo el curso, y a D. Antonio Garrigós Escudero, quien ha sido un maravilloso corrector en todas las cuestiones formales. Finalmente, agradecemos a nuestros amigos y familiares, en especial a la clase OB2I.

8. Bibliografía

Irvine, H.M. (1981) *Cable structures*. Cambridge, MA: MIT Press.

Kilian, A. and Ochsendorf, J. (2005) 'Particle-spring systems for structural form finding', *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*, 46, pp. 77–84.

Luque-Sala, A. and del Blanco García, F.L. (2023) 'A virtual reconstruction of Gaudi's skyscraper hotel attraction using physics-based simulation', *Nexus Network Journal*, 25, pp. 795–816.

Mathews, J.H. and Fink, K.D. (1999) *Métodos numéricos con Matlab*. México: Prentice Hall.

Mujika, F. (2024) *Mecánica Aplicada [Apuntes]*. Universidad del País Vasco. Available at: https://www.ehu.eus/es/web/mecmat/faustino-mujikarquitectura (Accessed: 29 May 2026).

Ouellette, J. (2010) *The Calculus Diaries: How Math Can Help You Lose Weight, Win in Vegas, and Survive a Zombie Apocalypse*. Penguin Books.

Rodríguez, M. (2015) *Manual de Maxima*. Available at: http://maxima.sourceforge.net/docs/tutorial/es/max.pdf (Accessed: 29 May 2026).

Rubio, M. and Paloma, L. (2010) 'La galería: de la logia a la pinacoteca', *Cuaderno de Notas*, (13), ISSN 1138-1590.

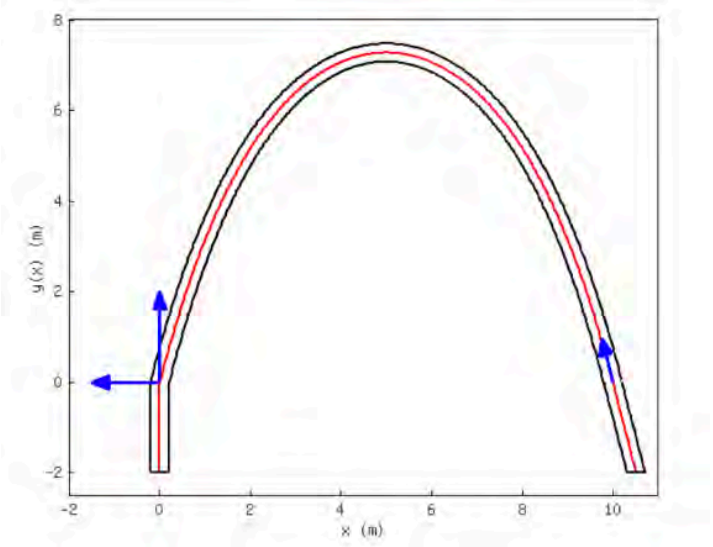
Velten, K. (2009) *Mathematical modeling and simulation: Introduction for scientists and engineers*. Weinheim: Wiley-VCH.

Wu, K. and Kilian, A. (2020) 'Designing compression-only arch structures using robotic equilibrium assembly', in Gengnagel, C. et al. (eds.) *Impact: Design with all senses (DMSB 2019)*. Cham: Springer, pp. 608–622.

Xhaju (2015) 'El enigma de Hooke', *Scientia potentia est*, 2 September. Available at: https://scientiapotentiaest.org (Accessed: 29 May 2026).

Figuras:

Figura 1
Esquema de presiones en los soportes laterales

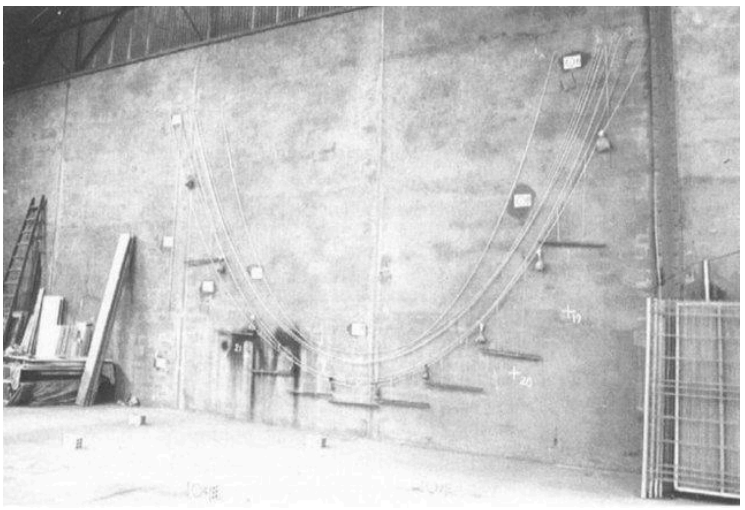


Nota: realización propia

Figura 2
Gaudí Casa Batlló interior

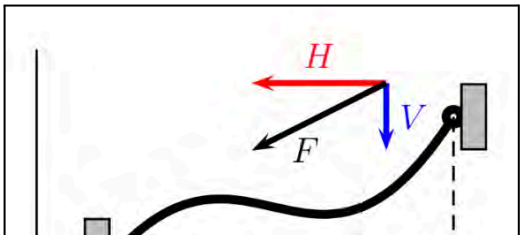
Nota: Casa Batlló. (s.f.)

Figura 3
Método usado por Gaudí



Nota: A. Fernández, 2020

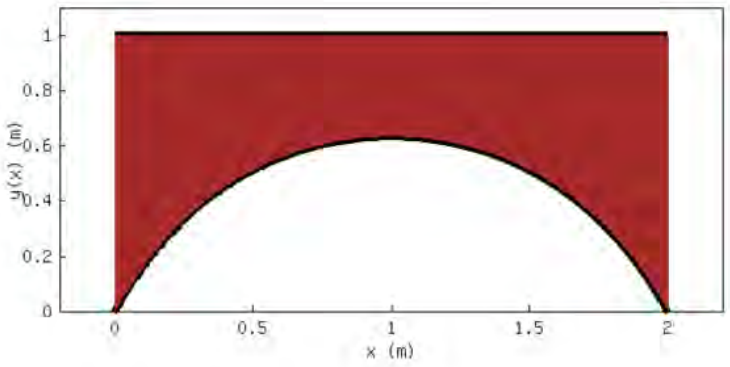
Figura 4
Cable sometido a carga



Nota: realización propia

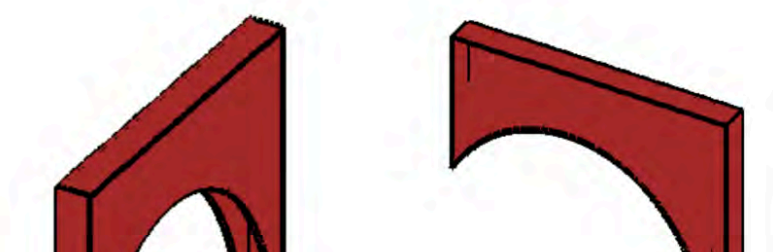
Figura 5

Arco de piedra caliza



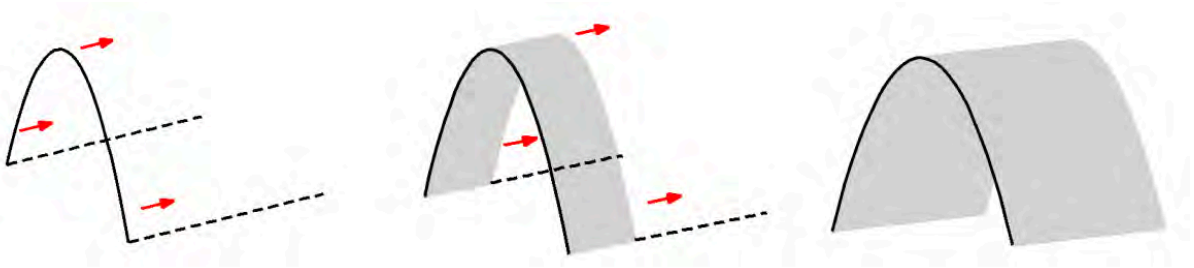
Nota: realización propia

Figura 6
Imagen 3D del arco



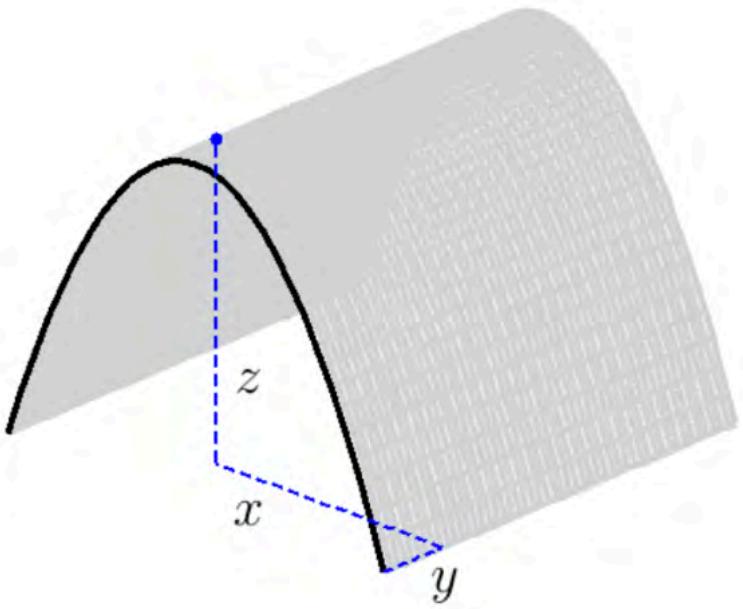
Nota: realización propia

Figura 7
Generación de una bóveda de cañón



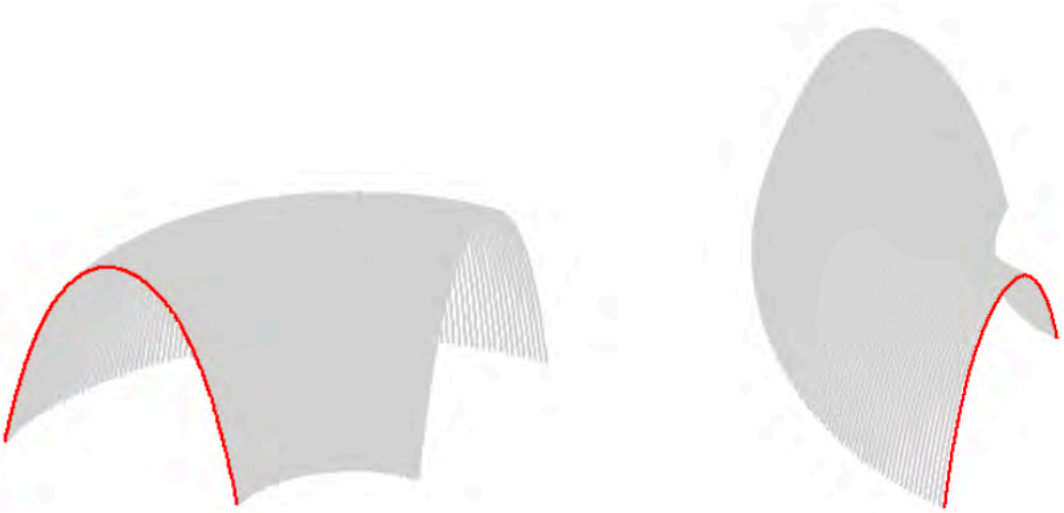
Nota: realización propia

Figura 8
Coordenadas puntos de la bóveda



Nota: realización propia

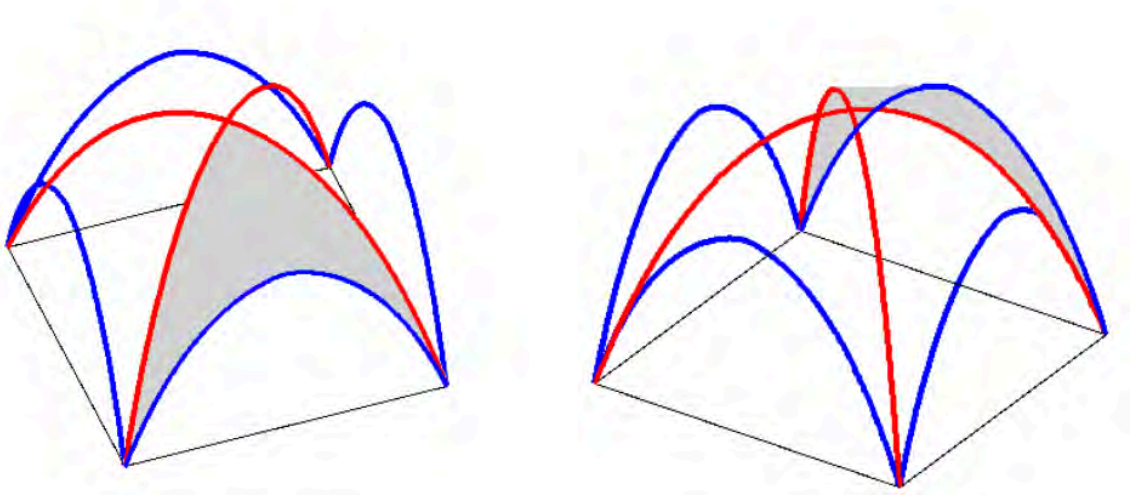
Figura 9
Bóveda curvada I



Nota: realización propia

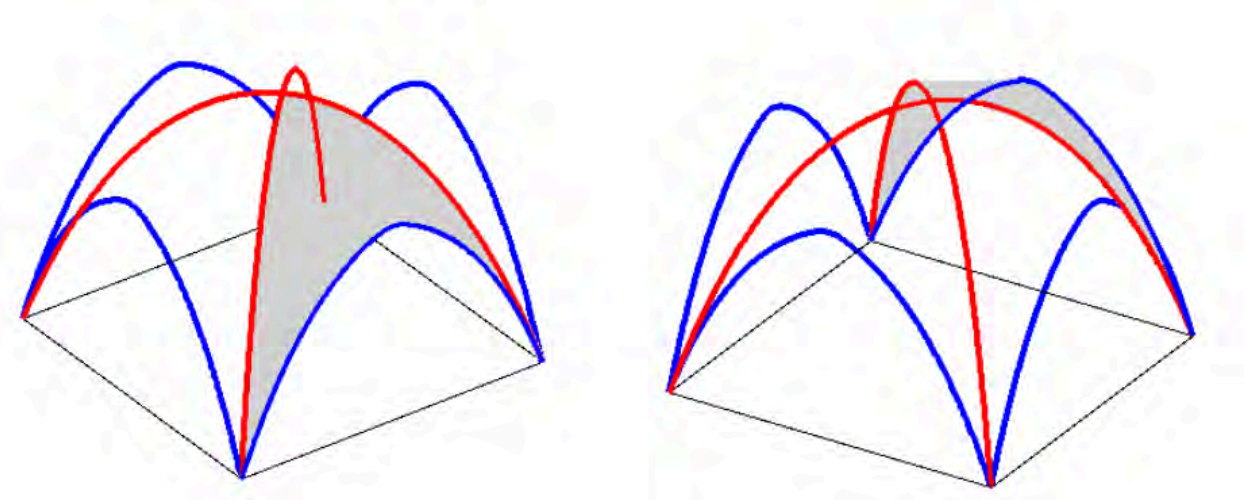
Figura 10

Bóveda de crucería I



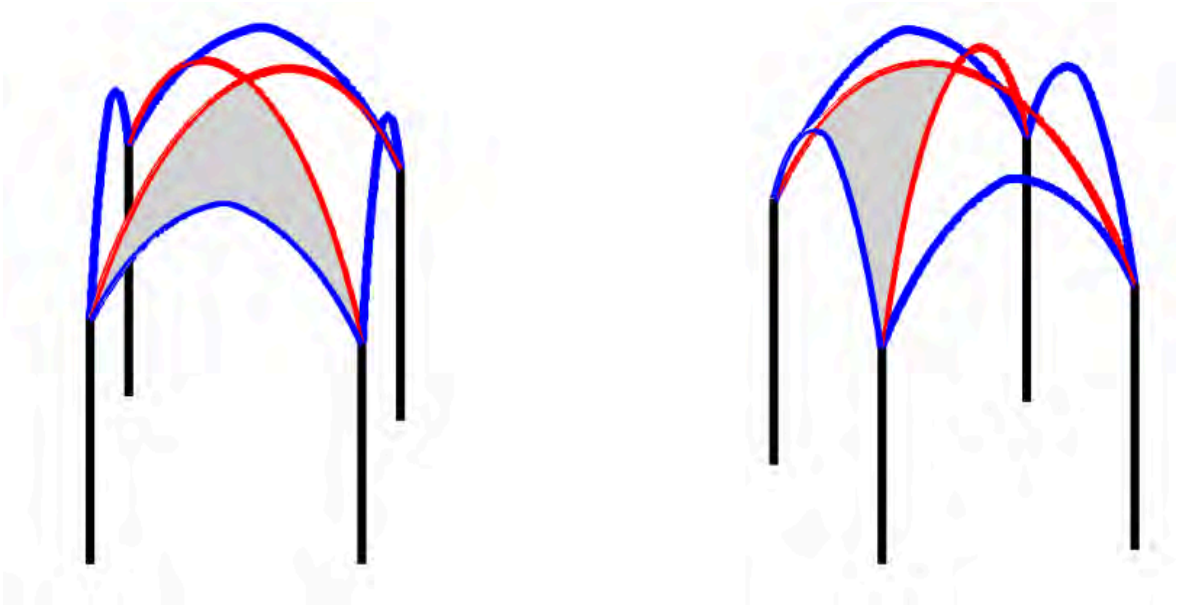
Nota: realización propia

Figura 11
Bóveda de crucería II



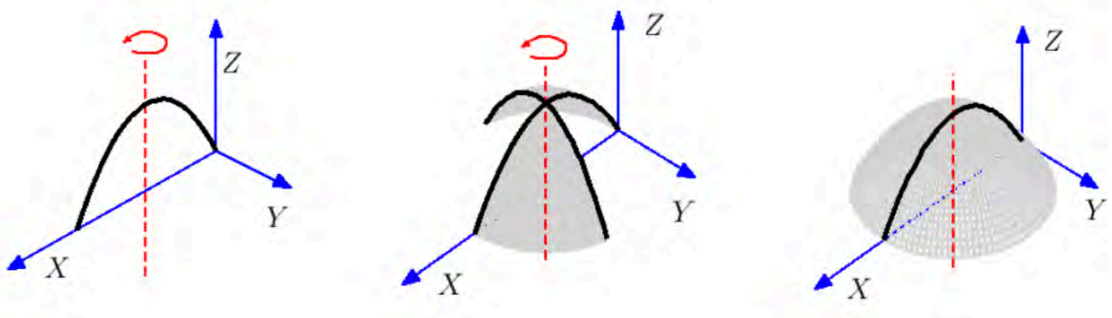
Nota: realización propia

Figura 12
Bóveda de crucería II (con columnas)



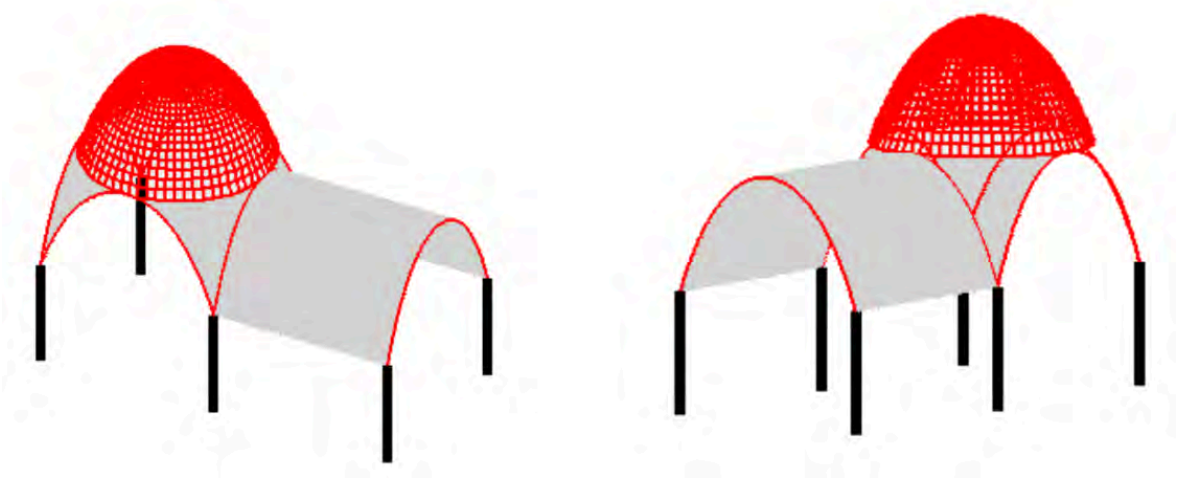
Nota: realización propia

Figura 13
Generación de una cúpula de revolución



Nota: realización propia

Figura 14
Combinación de elementos



Nota: realización propia

IES RUIZ DE ALDA

ANÁLISIS TEÓRICO Y MATEMÁTICO DE LOS AGUJEROS NEGROS:

UNO DE LOS OBJETOS MÁS MISTERIOSOS PREDICHOS POR LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD GENERAL

Marcos Herrero Ruiz

Tutores:

María Teresa Fernández Jambrina
Juan Luis Cánovas Pérez

Resumen

Los agujeros negros son tal vez los objetos más misteriosos predichos por la teoría de la relatividad de Einstein. Estos objetos tan enigmáticos, fruto de muchas películas de ciencia ficción, son el misterio del universo. Aún más inquietante puede sonar el concepto de agujero blanco, ¿un objeto que en vez de tragarse la materia la expulsa?, pues según las predicciones de Einstein debería existir y así debería ser, o incluso aún más, podría ser el desencadenante del Big Bang. En este trabajo de investigación repasamos el contenido teórico de los agujeros negros para lograr un completo entendimiento de estos a nivel conceptual y matemático, conectando de forma teórica los agujeros negros con los blancos.

Palabras clave: *Agujeros negros, agujeros blancos, relatividad general, Big Bang, mecánica cuántica, relatividad especial, Einstein, Hawking, Penrose.*

Índice

1. Introducción **3**
1.1. Interés en el estudio de los agujeros negros y blancos 3

2. Antecedentes **3**
2.1. Introducción a los agujeros negros 3
2.2. Termodinámica de un agujero negro 4
2.3. Agujeros blancos como agujeros negros de tiempo-invertido y su relación con el Big Bang . . . 5

3. Objetivos **5**

4. Materiales y métodos **5**
4.1. Singularidades de la solución de Schwarzschild 5
4.2. Construyendo un marco teórico para los agujeros blancos 6

5. Resultados **8**
5.1. Diagrama de Penrose: compactando el espacio-tiempo en una porción finita de papel 8
5.2. Posibilidad de un agujero blanco desencadenando el Big Bang 9
5.3. Parte práctica: desarrollo de un simulador gráfico en base al análisis del comportamiento detallado de los agujeros negros en el espacio 9
5.4. Primer simulador: comportamiento gravitatorio de objetos en el espacio en 2-dimensiones . . 10
5.5. Segundo simulador: deformación del espacio tiempo producido por un objeto en el espacio . . 10

6. Conclusión **10**

1. Introducción

Los agujeros negros son tal vez unos de los objetos más misteriosos que la relatividad general nos predice. Resulta que hay regiones del universo tan oscuras que ni siquiera la luz puede escapar de ellas, espacios donde el tiempo pasa muy lento, donde el espacio se curva hasta el último límite y donde la física, tal como la conocemos, parece romperse. Los agujeros negros no son sólo simples objetos astronómicos, sino que su investigación profunda y su mera existencia nos conduce hacia lo más extremo y enigmático de la naturaleza.

Hemos mirado las estrellas, llevamos siglos haciéndolo, pero no ha sido hasta hace poco que pudimos obtener la primera imagen de un agujero negro en 2019 y estos pasasen a ser protagonistas. Lo que sí sabemos hoy es que hay agujeros negros en el centro de la mayoría de las galaxias y que tienen un papel obligatorio y crucial en la evolución del cosmos.

Hay varias razones por las que nos parecen fascinantes: por un lado, desafían los límites de la ciencia, siendo uno de los pocos lugares donde colisionan la relatividad y la mecánica cuántica; por otro, porque, a pesar de su invisibilidad, influyen profundamente en su entorno, marcando el ritmo y movimiento de estrellas, gases y luz.

Este trabajo no busca explicar todo lo que son los agujeros negros porque aún hay muchas cosas que ni la ciencia sabe con certeza, pero sí pretende proveer de una base teórica para comprender cómo los descubrimos, qué sabemos de ellos, y por qué son uno de los temas más emocionantes de la astronomía actual. Porque, al fin y al cabo, los agujeros negros nos recuerdan que, incluso en la oscuridad más absoluta, hay historias brillantes que merecen ser contadas.

1.1. Interés en el estudio de los agujeros negros y blancos

El estudio de los agujeros negros es para mí una de las áreas más emocionantes de la ciencia, ya que nos permite explorar algunos de los misterios más grandes del universo. Estos objetos son extraños y fascinantes, y entenderlos puede ayudarnos a responder preguntas clave sobre cómo funciona el cosmos. Los agujeros negros combinan ideas de la teoría de la relatividad de Einstein y la mecánica cuántica, dos pilares de la física que aún no encajan del todo. En lugares como las singularidades, donde todo parece volverse infinito, las leyes conocidas dejan de funcionar. Estudiarlos nos ayuda a comprender mejor el universo y a buscar una teoría que unifique estas dos áreas de la física.

Los agujeros negros nos llevan a pensar en preguntas profundas: ¿qué pasa con la información que cae en ellos? ¿Podrían ser puertas a otras partes del universo? Estas ideas, aunque muy teóricas, nos invitan a reflexionar sobre la naturaleza del espacio, el tiempo y el destino final del universo. Los agujeros negros han sido el centro de muchas películas, libros y documentales, ya que son muy interesantes y asusta la idea de un objeto que "se lo traga todo y nada que entra en él puede salir". Nos hacen pensar en lo desconocido y en los límites de lo que podemos alcanzar como humanidad.

2. Antecedentes

2.1. Introducción a los agujeros negros

Un agujero negro es una zona del espacio donde la gravedad es tan extrema que nada puede escapar de ella, ni siquiera la luz. Esto se debe a que toda su masa está concentrada en un volumen extremadamente pequeño. Esta zona está delimitada por un límite conocido como horizonte de sucesos. Una vez que algo cruza este límite no hay más vuelta atrás, queda atrapado para siempre en el interior del agujero negro.

Mientras que un agujero negro no emite luz, por lo que no lo podemos ver directamente, sí que podemos inferir su existencia a partir de los efectos que produce en el entorno. Por ejemplo, cuando hay una estrella cerca, la gravedad del agujero negro puede ser capaz de atraer parte del material de la estrella, formando un disco de acreción que es tan caliente que sí produce radiación. Por otra parte, cuando observamos el movimiento de estrellas o de gases muy cerca del agujero negro que parecen girar alrededor de un objeto invisible, esto es una fuerte indicación de que hay un agujero negro en esa zona. Por ejemplo, uno de los

ejemplos más conocidos de este tipo de observaciones es el del agujero negro supermasivo de la Vía Láctea, que se llama Sagitario A, cuya existencia fue confirmada a partir del movimiento de las estrellas en la zona.

Un hito importante en la astronomía reciente fue la obtención de la primera imagen de la sombra de un agujero negro, el M87, en el año 2019, gracias al trabajo del Event Horizon Telescope. Esta imagen no muestra directamente el agujero negro, sino la silueta de su horizonte de sucesos proyectada sobre el brillante disco de materia que lo rodea.

Los agujeros negros pueden formarse de varias formas. La más común es a través del colapso gravitacional de una estrella muy masiva al final de su vida. Cuando estas estrellas agotan su combustible nuclear, ya no pueden resistir su propia gravedad y colapsan, comprimiéndose hasta formar un agujero negro. También pueden formarse por la fusión de otros objetos masivos como estrellas de neutrones, o incluso por la unión de dos agujeros negros más pequeños. Algunos científicos creen que en los primeros instantes del universo pudieron formarse agujeros negros primordiales debido a pequeñas fluctuaciones de densidad.

A pesar de su aparente simplicidad, los agujeros negros son estructuras con características muy complejas. Están formados por el horizonte de sucesos y, en su interior, por una región conocida como la singularidad, donde la densidad es infinita y nuestras leyes físicas actuales dejan de tener sentido. Esta singularidad representa uno de los mayores misterios de la física moderna.

Además de los agujeros negros, la teoría de la relatividad general también predice la existencia de objetos llamados agujeros blancos. Estos serían el opuesto de los agujeros negros: mientras que nada puede escapar de un agujero negro, en un agujero blanco nada podría entrar, y todo en su interior sería expulsado hacia afuera. Matemáticamente, los agujeros blancos se modelan de la misma manera que los agujeros negros, lo que nos dice que también tendrían un horizonte de sucesos, pero con propiedades opuestas. Sin embargo, a diferencia de los agujeros negros, de los que tenemos muchas evidencias observacionales, no se ha detectado nunca uno blanco, por lo que su existencia es todavía puramente teórica.

En conclusión, el estudio de los agujeros negros no solo nos ayuda a entender los límites de la física actual, sino que también nos permite explorar el comportamiento extremo del espacio, el tiempo y la materia. Son laboratorios naturales donde se ponen a prueba nuestras teorías más avanzadas, y su investigación continúa inspirando a científicos de todo el mundo a buscar respuestas a las preguntas más profundas del universo.

2.2. Termodinámica de un agujero negro

En el año 1970, Stephen Hawking dio a conocer que las singularidades de los agujeros negros no son del todo singulares, dado que se emite radiación de los efectos cuánticos que se producen cerca del horizonte de sucesos. El vacío no es vacío, sino que consiste en un espacio de fluctuaciones que en ocasiones es capaz de producir partículas y antipartículas que, con una gran rapidez, llegan a aniquilarse y regresar a su estado normal, devolviendo así la energía al vacío en forma de ciclos. Sin embargo, cerca del horizonte de sucesos de un agujero negro, el fuerte campo gravitatorio puede alterar tales partículas. Si se crea el par justo en el horizonte de sucesos, una de las partículas podría caer hacia dentro del agujero negro, mientras que la otra escapa al infinito. La partícula que escapa lleva consigo una parte de la energía del agujero negro. Debido a que la energía y la masa son equivalentes (según la relación $E = mc^2$), esta pérdida de energía implica una disminución en la masa del agujero negro. A lo largo del tiempo, el agujero negro pierde masa mediante este proceso de radiación, conocido como Radiación de Hawking. Para un observador lejano, estas partículas que escapan se perciben como radiación térmica emitida desde el agujero negro. Esta radiación tiene una temperatura característica, conocida como la temperatura de Hawking, la cual es inversamente proporcional a la masa del agujero negro.

Sin embargo, la radiación de Hawking es la causa fundamental de la paradoja de la información en los agujeros negros. Debido a los efectos cuánticos en el horizonte de sucesos, los agujeros negros emiten esta radiación térmica, la cual tiene una distribución térmica y, en principio, no contiene información sobre la materia que cae al interior del agujero negro. Conforme va emitiendo esta radiación, va expulsando energía fuera del agujero negro y, con el tiempo, hace que este pierda masa y, eventualmente, que este se evapore completamente dejando solo radiación en el espacio.

La mecánica cuántica dicta que la evolución de cualquier sistema es unitaria, lo que significa que la información contenida en un sistema cerrado nunca es destruida sino que, en principio, debería poder ser recuperada. Sin embargo, la radiación de Hawking es púramente térmica y no depende de la información original de la materia. Por tanto, cuando el agujero negro desaparece, parece que la información que ha caído en éste también lo hace consigo, lo que rompe el principio de conservación de la información de la mecánica cuántica (Hawking, 1976). La pérdida de la información es problemática en física, ya que sugiere que el sistema no es completamente predecible a nivel fundamental. Esta idea desafía la relación entre la mecánica cuántica y la teoría de la relatividad general, y apunta a una teoría de gravedad cuántica capaz de solucionar esta paradoja.

2.3. Agujeros blancos como agujeros negros de tiempo-invertido y su relación con el Big Bang

Los agujeros blancos son sencillamente lo opuesto a los agujeros negros. Mientras que los agujeros negros son objetos oscuros con un horizonte de sucesos como una frontera más allá de la que nada, ni siquiera la luz, es capaz de escapar, el horizonte de sucesos de los agujeros blancos expulsa todo afuera y hace que nada pueda entrar en un agujero blanco desde fuera y cualquier cosa en su interior es forzada a salir, creando un flujo de materia hacia el exterior. Aunque los agujeros blancos también contienen una singularidad, esta no funcionaría como un atractor gravitacional (como es el caso en los agujeros negros), este repelería la materia empujándola afuera sólo por existir. En un agujero negro, el tiempo cerca del horizonte de sucesos se dilata, haciendo que los observadores externos vean el tiempo pasar más despacio conforme el objeto sometido a su gravitación se va acercando. Los agujeros blancos son considerados agujeros negros de "tiempo invertido", donde teóricamente un objeto sometido a su expulsión se vería acelerado en vez de desacelerado por un observador externo. A diferencia de los agujeros negros, que absorben toda la radiación electromagnética, los agujeros blancos deberían hipotéticamente repelerla o emitirla, haciéndolos visualmente distintos (blancos).

Los agujeros negros y los agujeros blancos juegan un rol remarcablemente contrastado en la astrofísica observacional. Mientras hemos sido capaces de obtener evidencia observacional de la existencia de agujeros negros, no tenemos ninguna de los blancos, aunque estos sean predichos por la teoría de la relatividad general. Ese es el motivo por el cual todas estas descripciones permanecen únicamente teóricas.

3. Objetivos

Este trabajo centra sus objetivos en desarrollar un conocimiento completo en física moderna, para personalmente alcanzar un nivel de conocimiento sólido y fundamentado en la materia, que es de particularmente interés para mí. Esto se consigue mediante la elaboración de una investigación que provea y construya una base teórica sólida para el entiendimiento de los agujeros negros y blancos, abarcando campos variados de la física moderna como la física cuántica y la relatividad general y diferentes problemas cosmológicos.

El trabajo de investigación pretende construir una base teórica sólida sobre los agujeros negros y blancos, realizando un profundo estudio de la materia para terminar realizando una parte práctica que ilustre y pruebe lo aprendido usando programación.

4. Materiales y métodos

4.1. Singularidades de la solución de Schwarzschild

Los agujeros negros, tal como fueron predichos por la solución de Schwarzschild en la relatividad general no son perfectos al describirlos matemáticamente, ya que cuentan con algunas singularidades y problemas conceptuales. Con la métrica de Schwarzschild (con $G = c = 1$),

$$g = -\left(1 - \frac{2M}{r}\right) dt \otimes dt + \left(1 - \frac{2M}{r}\right)^{-1} dr \otimes dr + r^2 \left(d\theta \otimes d\theta + sin^2\theta d\phi \otimes d\phi\right)$$

y con el tensor de Riemann definido mediante los símbolos de Christoffel 'Γ',

$$R^{\rho}_{\sigma\mu v} = \partial_{\mu}\Gamma^{\rho}_{\mu\sigma} - \partial_{v}\Gamma^{\rho}_{\mu\sigma} + \Gamma^{\sigma}_{\mu\lambda}\Gamma^{\lambda}_{v\sigma} - \Gamma^{\rho}_{v\lambda}\Gamma^{\lambda}_{\mu\sigma}$$

sabemos cómo la curvatura del espacio-tiempo se comporta alrededor de un objeto masivo en el espacio.

Sin embargo, sabemos que la métrica de Schwarzschild nos genera dos singularidades cuando echamos un vistazo a los agujeros negros (en $r = 0$ y $r = 2M$, ya que la masa y la distancia tienen el mismo comportamiento dimensional). Tan solo necesitamos cambiar de coordenadas para permitirnos entrar en el horizonte de sucesos, usando las coordenadas de Eddington-Finkelstein:

$$g = -\left(1 - \frac{2M}{r}\right) dv \otimes dv + dv \otimes dr + dr \otimes dv + r^2 \left(d\theta \otimes d\theta + \sin^2\theta \, d\phi \otimes d\phi\right)$$

donde $v = t + r_*$, $r_* = r + 2Mln\left|\frac{r}{2M} - 1\right|$.

A pesar de eso, la teoría clásica de la relatividad general sigue poseyendo algunos cabos sueltos como la singularidad en $r = 0$, la radiación de Hawking (Hawking, 1974, 1975) y la paradoja de la información (Hawking, 2005). Es por ello por lo que fue desarrollada una teoría de agujeros negros cuánticos que busca dar explicación a estos fenómenos que la teoría clásica no es capaz de explicar.

4.2. Construyendo un marco teórico para los agujeros blancos

Para construir un marco de trabajo completo para los agujeros blancos con el que trabajar, empezamos con una reformulación de coordenadas desde la métrica de Schwarzschild que nos permita sobrepasar las limitaciones de las coordenadas estándares para describir los agujeros negros, esta es la extensión de Kruskal-Szekeres. A diferencia de las coordenadas de Schwarzschild, las cuales presentan una singularidad en el evento de sucesos, esta extensión nos permite entrar en el horizonte de sucesos desde un análisis teórico, creando un sistema de coordenadas extendido más allá del horizonte de sucesos (Kruskal, 1960).

Esta extensión incluye la posibilidad natural de la existencia de un agujero blanco, esto es debido a que, extendiendo las coordenadas de Schwarzschild, Kruskal y Szekeres fue descubierta la simetría temporal del espacio-tiempo alrededor de un agujero negro. En estas nuevas coordenadas, el espacio-tiempo extendido nos permite describir tanto la región futura (asociada con los agujeros negros), como la región pasada (asociada con los agujeros blancos).

Empezamos construyendo la extensión de Kruskal-Szekeres trantando de eliminar la singularidad en el radio de Schwarzschild $r = 2GM$, para ello empezamos redefiniendo el radio r en términos de las así llamadas coordenadas tortuga (r_*):

$$r_* = r + 2GM \ln\left|\frac{r}{2GM} - 1\right|.$$

Esta transformación expande el intervalo radial. Ahora, para abolir la singularidad del horizonte de sucesos, introducimos las coordenadas de Kruskal-Szekeres (U, V) en términos de t y r_*:

$$U = -\exp\left(-\frac{t - r_*}{4GM}\right),$$

$$V = \exp\left(\frac{t + r_*}{4GM}\right).$$

Estas nuevas coordenadas combinan t y r_* de manera que las divergencias en $r = 2GM$ son eliminadas. Para llegar a la nueva métrica en cuestión necesitamos hacer una transformación covariante de la métrica de Schwarzschild a las coordenadas de Kruskal-Szekeres. La métrica de Schwarzschild en coordenadas (t, r, θ, ϕ) es:

$$ds^2 = -\left(1 - \frac{2GM}{r}\right) dt^2 + \left(1 - \frac{2GM}{r}\right)^{-1} dr^2 + r^2 d\Omega^2,$$

dónde $d\Omega^2 = d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2$.

Primero, una vez que tenemos definidas las coordenadas U y V en función de t y r, diferenciamos las expresiones para dU y dV en términos de dt y dr, transformando los componentes de forma contravariante:

$$dU = \frac{\partial U}{\partial t}dt + \frac{\partial U}{\partial r}dr,$$
$$dV = \frac{\partial V}{\partial t}dt + \frac{\partial V}{\partial r}dr.$$

Hacemos las derivadas parciales:

$$\frac{\partial U}{\partial t} = \frac{1}{4GM}U, \quad \frac{\partial U}{\partial r} = -\frac{1}{4GM}U\left(1 - \frac{2GM}{r}\right)^{-1}.$$

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \frac{1}{4GM}V, \quad \frac{\partial V}{\partial r} = \frac{1}{4GM}V\left(1 - \frac{2GM}{r}\right)^{-1}.$$

Una vez hemos calculado dU y dV, tan solo las multiplicamos entre ellas para crear una combinación cruzada $dUdV$, de la cual obtendremos la expresión para ds^2 en términos de dU y dV. Después de distribuir y simplificar, obtenemos:

$$dUdV = -\frac{16G^2M^2}{r}\left(1 - \frac{2GM}{r}\right)^{-1} e^{\frac{r}{2GM}}dtdr.$$

Finalmente expresamos la métrica en términos de dU y dV, usando la relación entre ds^2, dU y dV, la métrica de Schwarzschild queda reescrita como:

$$ds^2 = -\frac{32(GM)^3}{r}e^{-\frac{r}{2GM}}dUdV + r^2d\Omega^2$$

De esta manera, la singularidad en el horizonte de sucesos queda eliminada, mostrando una representación continua del horizonte. Así, la métrica de Kruskal-Szekeres extiende la solución de Schwarzschild para todo el espacio-tiempo, proveyendo una visión completa tanto del interior como del exterior del horizonte de sucesos.

Esta nueva métrica extendida, escrita en términos de los nuevos componentes U y V, revela cuatro regiones dependiendo del signo de U y V:

- Región I ($U < 0$, $V > 0$): corresponde con la región exterior de una agujero negro, donde las partículas permanecen estáticas (i. e. $r > 2GM$).
- Región II ($U < 0$, $V < 0$): representa el interior del agujero negro, donde todas las trayectorias se dirigen a $r = 0$, la singularidad.
- Región III ($U > 0$, $V < 0$): es la çontraparte"de la región I y corresponde a un espacio-tiempo donde el flujo de tiempo se invierte con respecto a las trayectorias de entrada al horizonte de sucesos. Esto se interpreta como una región en la cual el observador vería las trayectorias de las partículas apuntando al pasado.
- Región IV ($U > 0$, $V > 0$): es la región simétrica de la región II, pero temporalmente invertida. En este contexto, esto es matemáticamente equivalente a un agujero blanco, donde todas las trayectorias emergen de $r = 0$ en lugar de colapsar ahí.

Matemáticamente, estas regiones revelan una simetría temporal en la solución de Schwarzschild extendida, donde todas las trayectorias que caen a la singularidad en el agujero negro tienen una çontraparte.[en] un espacio-tiempo simétrico donde las trayectorias emergen de ella. Esta es la idea clave que nos conduce a la conceptualización de un agujero blanco. Las ecuaciones de la métrica en términos de U y V son matemáticamente simétricas bajo una inversión temporal, lo que nos permite, teóricamente, que un objeto como un agujero blanco exista.

5. Resultados

5.1. Diagrama de Penrose: compactando el espacio-tiempo en una porción finita de papel

Otra clara representación matemática de la existencia de los agujeros blancos es reproducida por el diagrama de Penrose. El principal propósito de este diagrama es representar todo el espacio-tiempo infinito en una porción finita de papel compactándolo matemáticamente (limitando su dominio).

Empezamos con una métrica de espacio-tiempo dada en coordenadas esféricas. Elegimos la métrica de Minkowski, ya que es la solución más simple para las ecuaciones de Einstein para el vacío.

$$g = dt \otimes dt - dr \otimes dr - r^2(d\theta \otimes d\theta + \sin^2\theta d\phi \otimes d\phi).$$

A continuación, encontramos unas coordenadas tal que dos previamente "no-compactasçoordenadas sean remplazadas por dos (también no-compactas) coordenadas nulas $v = t+r$, $w = t-r$. Después compactamos las dos coordenadas nulas por separado, es decir, introducimos nuevas coordenadas $p = \arctan v$, $q = \arctan w$. Entonces, p y q tomarán valores de (algún subconjunto de) el rango $\left(-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right) \times \left(-\frac{\pi}{2}, \frac{\pi}{2}\right)$. En términos de p y q definimos unas çoordenadas temporales y espacialesçonstruidas por conveniencia:

$$T := p + q, \;\; X := p - q,$$
$$-\pi < T + X < \pi, \;\; -\pi < T - X < \pi, \;\; X > 0.$$

Hacemos una transformación sencilla a la métrica de Minkowski para obtenerla en términos de v y w. Obtenemos:

$$ds^2 = dvdw - \frac{(v-w)^2}{4}(d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2).$$

Ahora queremos expresar la métrica en coordenadas (T, X, θ, ϕ). Calculamos dv y dw en términos de dT y dX:

$$dv = \frac{\partial v}{\partial p}dp = \sec^2(p)dp = \sec^2\left(\frac{T+X}{2}\right)\frac{dT+dX}{2},$$
$$dw = \frac{\partial w}{\partial q}dq = \sec^2(q)dq = \sec^2\left(\frac{T-X}{2}\right)\frac{dT-dX}{2}.$$

Multiplicando estas dos expresiones obtenemos el término cruzado $dvdw$:

$$dvdw = \frac{1}{4}\sec^2\left(\frac{T+X}{2}\right)\sec^2\left(\frac{T-X}{2}\right)(dT^2 - dX^2).$$

Finalmente, lo sustituimos en la métrica original en términos de v y w, y simplificando un poco obtenemos nuestra métrica final:

$$ds^2 = \frac{1}{4}\sec^2\left(\frac{T+X}{2}\right)\sec^2\left(\frac{T-X}{2}\right)(dT^2 - dX^2) - \sin^2(X)(d\theta^2 + \sin^2\theta d\phi^2).$$

Con toda esta información podemos construir un diagrama completo para el espacio-tiempo. Para hacer un diagrama en dos dimensiones (dibujando solo una coordenada espacial) tomamos nuestra región limitada $-\pi < T + X < \pi$, $-\pi < T - X < \pi$ y $X > 0$, que representa medio cuadrado. Podemos observar todas las geodésicas nulas de orientación de tiempo convergiendo al futuro del infinito de tiempo-orientado y las geodésicas nulas convergiendo al infinito de espacio-orientado. La luz viajaría paralela a las fronteras, ya que el cono de luz es paralelo. Observe la Figura 1.

Si extendemos el diagrama al máximo, como se ve en la Figura 2, podemos observar cómo este se completa con la existencia de un universo paralelo (la región III de Kruskal), con el horizonte de sucesos de un agujero negro (la región II) y con un agujero blanco (la región IV). Observamos claramente la posibilidad de entrar a un agujero negro (pasando a través de la singularidad) y también observamos que toda la materia y la radiación que proviene de la otra singularidad parece ser lo opuesto a un agujero negro (un agujero blanco). Además, como se ve en el diagrama, sería posible para un objeto desplazándose más rápido que la luz entrar

a un universo paralelo. Una vez que hemos representado el espacio-tiempo en una porción finita de papel, habiéndolo 'compactado', podemos entender mejor que está pasando de acuerdo con las coordenadas que escogemos.

5.2. Posibilidad de un agujero blanco desencadenando el Big Bang

Como hemos visto anteriormente, los agujeros blancos son objetos tan apasionantes como los agujeros negros y tienen una base teórica sólida tras ellos para empezar a especular. Como estos objetos son masivos y esparcen gran cantidad de materia desde su singularidad, no es ningún disparate considerarlos buenos candiadatos para ser la principal fuente de toda la materia del universo.

La teoría del Big Bang implica una singularidad inicial, donde la densidad de materia y la temperatura son infinitas. Esto es problemático porque rompe nuestra teorías físicas actuales. Si el Big Bang fuese el resultado de un agujero blanco, el modelo evitaría esa singularidad inicial, sugiriendo que el universo surgió de un estado de densidad finita, no infinita.

La cosmología de rebote o modelos de agujeros blancos conservarían la información, la cual es una característica fundamental de la mecánica cuántica. En un agujero negro, la información que cae en su interior se pierde en la singularidad, lo que crea la paradoja de la información. Un modelo de agujero blanco surgiere que la información contenida en el agujero negro podría pasar al nuevo universo en expansión, permitiendo la conservación de la información.

Algunos físicos sugieren que los agujeros blancos podrían desencadenar un periodo rápido de expansión, análogo a la inflación cósmica. La idea se basa en el 'rebote', lo que desencadenaría el agujero blanco y, por tanto, la expansión del universo, ya que liberaría energía de forma abrupta, proveyendo un mecanismo natural para la rápida expansión inicial que caracteriza a la inflación.

5.3. Parte práctica: desarrollo de un simulador gráfico en base al análisis del comportamiento detallado de los agujeros negros en el espacio

La parte práctica de este trabajo de investigación consistirá en el desarrollo de un programa para ordenador que simule de forma gráfica en el espacio el comportamiento de los agujeros negros de diferentes maneras. Una de ellas consistirá en simular la deformación en el espacio-tiempo que producen diferentes objetos gravitacionales, como agujeros negros, blancos, estrellas y planetas mediante una cuadrícula que represente este y que al situar objetos, éste se deforme dinámicamente. Otro de los simuladores emulará de forma dinámica como se interactuan los campos gravitatorios de diferentes cuerpos del espacio que el usuario pueda crear a su antojo. El usuario mantendrá pulsado en la ventana de la aplicación con su ratón y en función del tiempo que haya mantenido se creará en un cuerpo con una masa proporcional en el programa gráfico. Podrá crear todos los que considere y mientras tanto estos estarán interactuando y desplazandose siguiendo el comportamiento físico que se espera de ellos.

Los simuladores se programarán en base a la teoría se ha fundamentado a lo largo de todo el trabajo, pues el programa realizará la evaluación de los parámetros propios de los objetos espaciales que emule con toda la información que necesitamos en función de sus características concretas. Pudiendo observar y medir gráficamente el comportamiento de los agujeros negros con otros cuerpos espaciales, observando, entre otras cosas, los efectos gravitacionales y sobre el espacio-tiempo.

Para comenzar el desarrollo, primero preparamos un entorno en el cual se utilizará el lenguaje de programación clásico y de bajo nivel C++ junto con la librería gráfica OpenGL, con las librerías glew.h y glad.h para C/C++.

El software ha sido programado de forma completamente autónoma utilizando como una aplicación de escritorio escrita en el robusto y clásico lenguaje de programación C++, utilizando la librería gráfica libre y de código abierto OpenGL («OpenGL», 2025). Esta librería permite realizar trazados y la creación de motores gráficos con alta eficiencia en memoria, procesador y gráfica. Además consta de una compatibilidad amplia,

soportando múltiples plataformas. A menudo se utiliza para desarrollar videojuegos o motores gráficos de estos.

5.4. Primer simulador: comportamiento gravitatorio de objetos en el espacio en 2-dimensiones

Este simulador es una aplicación gráfica interactiva desarrollada en C++ con OpenGL que modela dinámicas gravitatorias newtonianas en dos dimensiones. Su interfaz permite al usuario crear y manipular cuerpos celestes en tiempo real mediante interacciones directas con el ratón, observando cómo estos interactúan exclusivamente a través de la fuerza de gravedad. El núcleo del programa es un sistema de partículas donde cada cuerpo posee propiedades físicas fundamentales: masa, posición, velocidad y aceleración. La creación de cuerpos se realiza de manera intuitiva: al mantener pulsado el botón del ratón sobre un punto de la pantalla, se inicia la carga de un nuevo objeto. Un indicador visual (como un círculo que crece o un cambio de color) refleja el aumento progresivo de su masa durante la pulsación. Al liberar el botón, el objeto se fija en el espacio con la masa acumulada. Inmediatamente después, el usuario puede aplicar un impulso cinético arrastrando el ratón en la dirección deseada justo antes de soltar el botón. Una flecha o línea elástica visualiza el vector de velocidad inicial. Esta secuencia de creación y lanzamiento permite diseñar configuraciones complejas, desde sistemas binarios estables hasta configuraciones caóticas de múltiples cuerpos. (Figura 3).

5.5. Segundo simulador: deformación del espacio tiempo producido por un objeto en el espacio

Este segundo simulador es la evolución al 3D del anterior. Muestra de forma gráfica y visual la deformación producida en el espacio-tiempo por un objeto en el espacio con las características que el usuario le indique al programa. Para graficar el espacio-tiempo, utilizamos una cuadrícula formada por las geodésicas del espacio tridimensional (que previamente hemos calculado en capítulos anteriores), que son el camino mas corto entre dos puntos del espacio-tiempo (una superficie curva de 4-dimensiones, que diseñaremos en 3 para visualizarlo). De esta forma visual, se podrá ver como se deforman las geodésicas que forman la cuadrícula con la presencia de un objeto con masa (Figura 4, 5 y 6).

En la Figura 4, apreciamos dos objetos (con características de planeta) rotando sobre el centro de masas de ambos cuerpos. Uno tiene 3 veces más masa que el otro, como se puede apreciar en las geodésicas.

Como se puede observar en la Figura 5, se aprecian los dos objetos de misma masa (en color blanco) pero no se aprecia el agujero negro sobre el que orbitan, ya que este, a pesar de tener 1,000,000,000,000,000,000 veces más masa, tiene un tamaño inperceptible por la compresión de esta misma. Se intuye la existencia de este objeto por la gran deformación en la superficie espacio-tiempo que se observa debajo.

La arquitectura de este simulador es bastante más complicada que en el anterior. Ésta se divide en tres módulos principales: el núcleo físico, el motor gráfico y la interfaz de usuario. El núcleo físico mantiene en memoria una lista de cuerpos celestes, cada uno con sus propiedades (masa, posición, velocidad, spin). En cada paso de simulación (Δt), para cada partícula de prueba, se calculan los símbolos de Christoffel asociados a la métrica total (una superposición lineal aproximada de las métricas individuales en el régimen de campo débil para múltiples cuerpos, o utilizando la solución exacta para un agujero negro dominante). Luego, se integra la ecuación geodésica mediante RK4 para actualizar la posición y velocidad tetradimensional de la partícula. Se implementan condiciones de contorno y detección de eventos, como la captura por un horizonte de eventos ($r \leq r_s = 2GM/c^2$).

6. Conclusión

Los agujeros negros, que en tiempos se creyeron ser meras soluciones graciosas a las ecuaciones de la relatividad general, han dejado de serlo para alcanzar el primer plano de la astronomía moderna y de nuestra propia forma de entender el universo. Lo que en su día era una simple predicción teórica ha pasado a ser hoy en día un fenómeno astrofísico que se puede observar, medir, fotografiar, pero aun hasta recrear, etc. Todo gracias a décadas y décadas de avances en las ciencias y tecnologías y a la capacidad innata del ser humano.

En este recorrido hemos podido ver cómo nacen, cuáles son sus características definitorias y reglamentarias, cómo impactan a su propio entorno y cómo han cambiado nuestra forma de entender ideas tan fundamentales como el propio espacio, el propio tiempo y la propia gravedad.

En este escueto pero intenso trabajo hemos hecho un recorrido alrededor de los puntos más importantes de los agujeros negros y blancos abarcando su esencia tanto desde una forma meramente divulgativa, como llegando al centro de su fundamento teórico y su profundidad como concepto físico, tocando así áreas fascinantes de la física como la relatividad general y la mecánica cuántica, que son esenciales para entender profundamente estos misterios del universo. Por último, para ilustrar y poner en práctica todo lo aprendido en estos dos años de investigación, hemos desarrollado un programa informático que describe fielmente el coportamiento de objetos en el espacio, lo que complementa de gran manera y pone en práctica todo el conocimiento adquirido, dándo así desidad y completitud al trabajo.

Los agujeros negros tienen mucha más relevancia más allá del interés académico. Estos nos hacen cuestionar los límites de los conocimientos válidos, exponiéndonos a los límites de la mecánica clásica y la cuántica, de lo que podemos o no podemos saber. El universo se comporta en si mismo como el laboratorio por defecto donde la física se pone a prueba en condiciones extremas, e incluso llegaron a convertirse en la herramienta fundamental para poner a prueba y ajustar nuestras teorías más fundamentales. La extrema dificultad de agujeros negros, como la singularidad que esconden en su interior, invita a hacernos preguntas filosóficas y científicas acerca de la naturaleza de nuestro universo, del tiempo y de la materia.

Agradecimientos

Me gustaría agradecer a María Teresa Fernández Jambrina y a Juan Luis Cánovas Pérez, que han sido mis tutores principales del instituto por estos dos años. Además, agradecer a Antonio Garrigós Escudero, profesor de la asignatura de investigación, que ha ayudado a mejorar la estructura y los aspectos formales de este trabajo.

Referencias

B. P. Abbott, T. A., R. Abbott. (2016). Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger. *Phys. Rev. Lett.*, *116*, 061102. https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.116.061102

Bardeen, J. M. (2020). Black holes to white holes I. A complete quasi-classical model. https://arxiv.org/abs/2006.16804

Bekenstein, J. D. (1973). Black Holes and Entropy. *Phys. Rev. D*, *7*, 2333-2346. https://doi.org/10.1103/PhysRevD.7.2333

Einstein, A. (1916). Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie. *Annalen der Physik*, *49*, 769-822. https://doi.org/10.1002/andp.19163540702

Gaur, R., & Visser, M. (2024). Black holes, white holes, and near-horizon physics. *Journal of High Energy Physics*, *2024*. https://doi.org/10.1007/JHEP05(2024)172

Hawking, S. W. (1974). Black hole explosions? *Nature*, *248*, 30-31. https://doi.org/10.1038/248030a0

Hawking, S. W. (1975). Particle Creation by Black Holes. *Communications in Mathematical Physics*, *43*(3), 199-220. https://doi.org/10.1007/BF02345020

Hawking, S. W. (2005). Information loss in black holes. *Physical Review D*, *72*(8). https://doi.org/10.1103/physrevd.72.084013

Hawking, S. W., & Ellis, G. F. R. (1973). *The Large Scale Structure of Space-Time*. Cambridge University Press.

Hawking, S. W. (1966). *Properties of expanding universes* [Tesis doctoral, Apollo - University of Cambridge Repository]. https://doi.org/10.17863/CAM.11283

Hawking, S. W. (1976). Breakdown of Predictability in Gravitational Collapse. *Physical Review D*, *14*(10), 2460-2473. https://doi.org/10.1103/PhysRevD.14.2460

Kerr, R. P. (1963). Gravitational field of a spinning mass as an example of algebraically special metrics. *Physical Review Letters*, *11*(5), 237-238. https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.11.237

Kruskal, M. D. (1960). Maximal Extension of Schwarzschild Metric. *Physical Review*, *119*, 1743-1745. https://doi.org/10.1103/PhysRev.119.1743

OpenGL. (2025). Consultado el 14 de noviembre de 2025, desde www.opengl.org

Penrose, R. (1965). Gravitational Collapse and Space-Time Singularities. *Phys. Rev. Lett.*, *14*, 57-59. https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.14.57

Szekeres, G. (1960). On the Singularities of a Riemannian Manifold. *Publications of the Mathematical Institute of the Hungarian Academy of Sciences*, *5*, 197-206.

Figuras

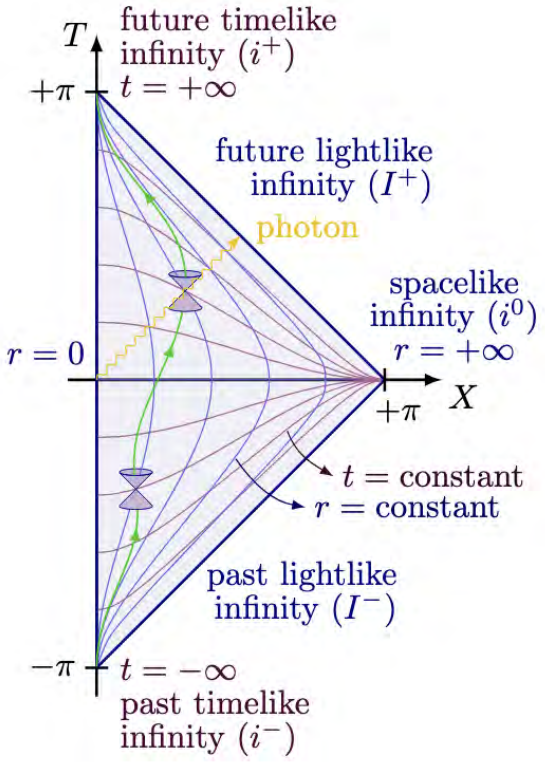


Figura 1: Boceto del diagrama de Penrose.

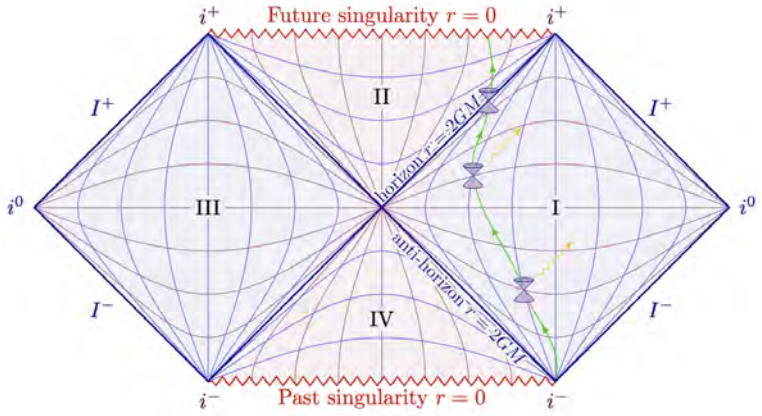


Figura 2: Boceto del diagrama de Penrose extendido al máximo.

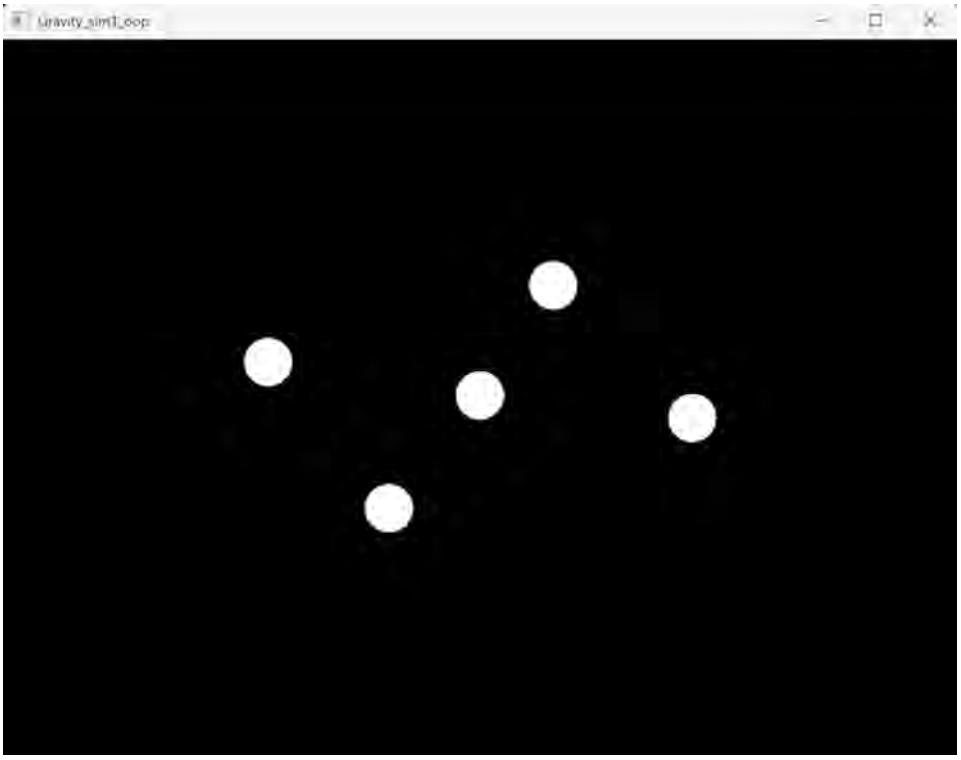


Figura 3: Captura de pantalla simulador 1: prueba del coportamiento de cinco objetos de igual masa.

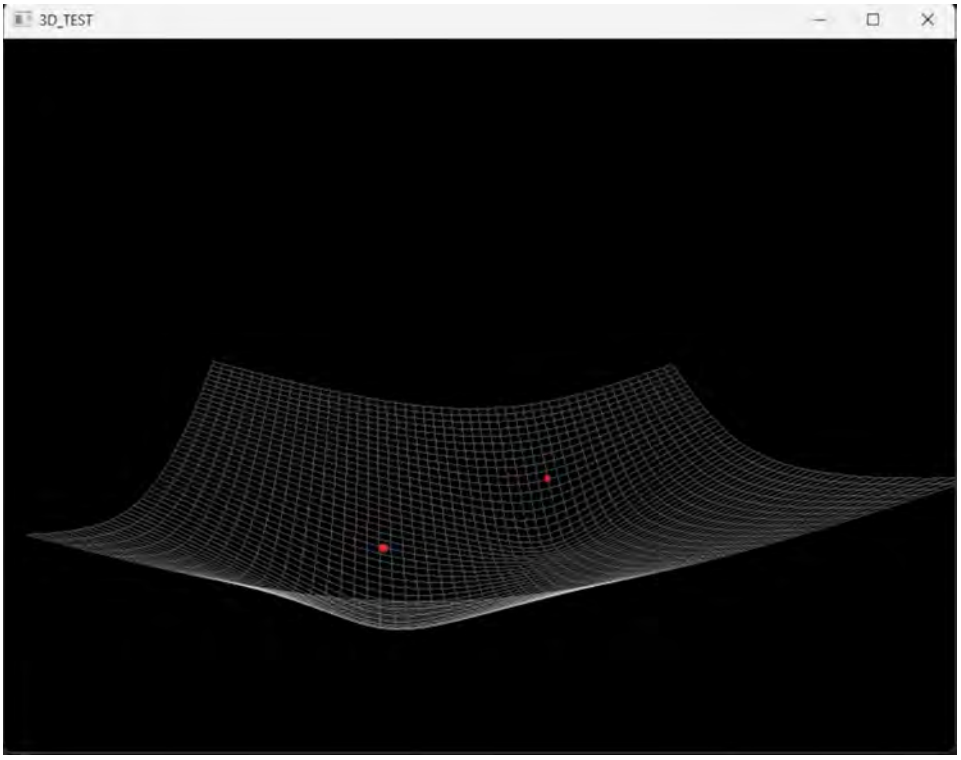


Figura 4: Captura de pantalla simulador 2: prueba de la deformación del espacio-tiempo por dos objetos en el espacio.

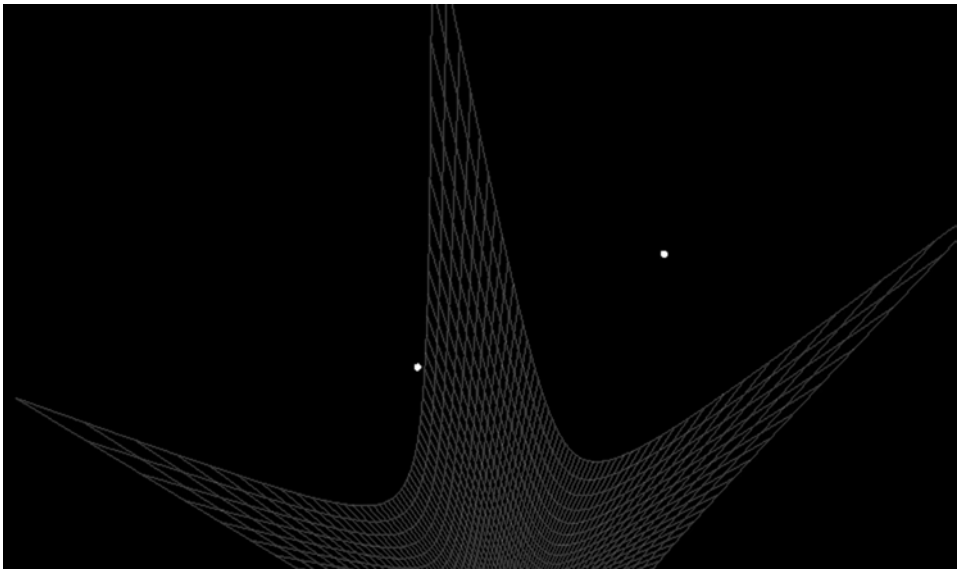


Figura 5: Captura de pantalla simulador 2: deformación del espacio tiempo producida por un agujero negro y dos cuerpos de la misma masa orbitando alrededor.

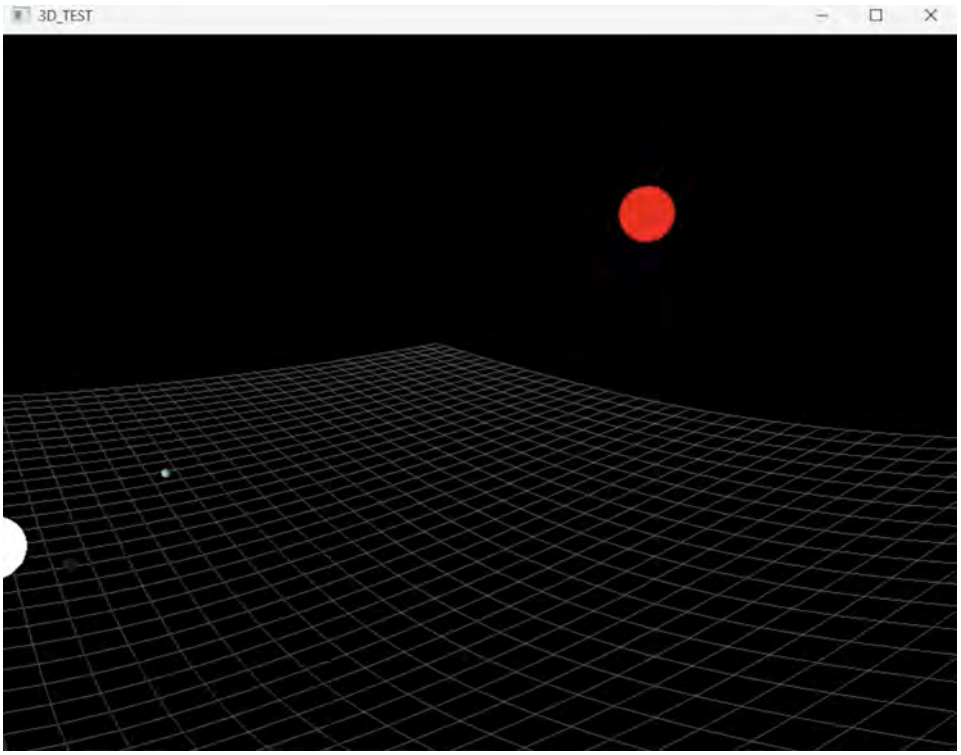


Figura 6: Captura de pantalla simulador 2: prueba con un sistema solar completo.

Referencias de imágenes

Figura 1. Diagrama de Penrose (2024). *Realización mediante LaTeX* [Imagen].

Figura 2. Diagrama de Penrose extendido al máximo (2024). *Realización mediante LaTeX* [Imagen].

Figura 3. Captura de pantalla simulador 1: prueba del comportamiento de cinco objetos de igual masa (2026). *Realización propia* [Imagen].

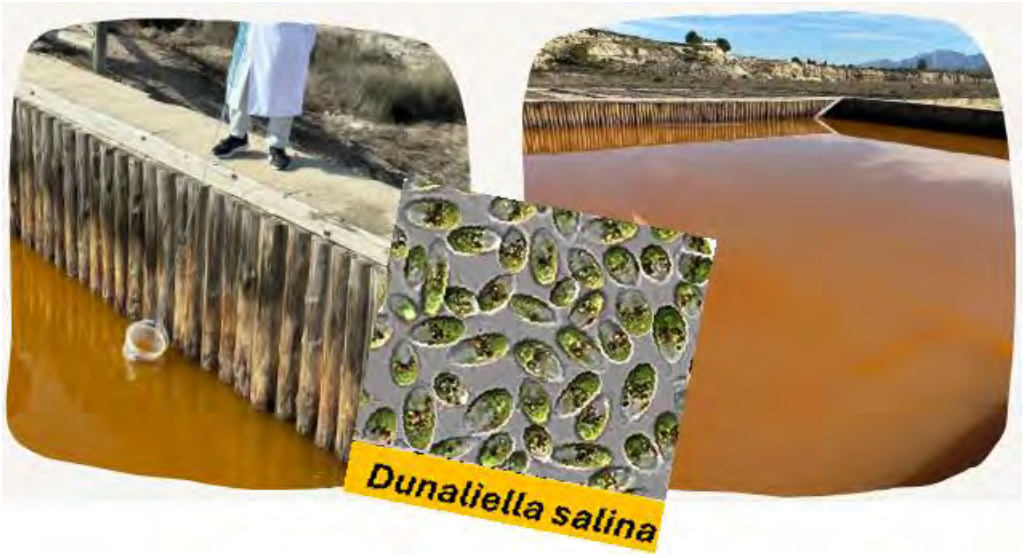
Figura 4. Captura de pantalla simulador 2: deformación del espacio tiempo por un objeto en el espacio (2025). *Realización propia* [Imagen].

Figura 5. Captura de pantalla simulador 2: deformación del espacio tiempo producida por un agujero negro (2025). *Realización propia* [Imagen].

Figura 6. Captura de pantalla simulador 2: prueba con un sistema solar completo (2026). *Realización propia* [Imagen].

Curso 2025-26

β−caroteno: de las salinas al plato



Autores: Alba Caravaca Moya, Sofía María Ruíz Sáez y Raúl Serrano Manzano.

Coordinador: Pedro Ginés Melgarejo Belmonte.

Centro docente: IES Sanje de Alcantarilla (Murcia).

Curso académico: 2º Bachillerato.

ÍNDICE

Resumen....3
Abstract....3
1. INTRODUCCIÓN....3
2. ANTECEDENTES....4
3. HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS....5
4. MATERIALES Y MÉTODOS....5
4.1. Revisión Bibliográfica....6
4.2. Estudio Experimental....6
4.2.1. Recolección de Dunaliella salina....6
4.2.2. Extracción del β-Caroteno....6
4.2.3. Análisis espectrofotométrico....7
5. RESULTADOS....7
5.1. Estudio Bibliográfico....7
5.2. Estudio Experimental....8
6. CONCLUSIONES....8
6.1. Búsqueda Bibliográfica....8
6.2. Estudio Experimental....9
7. AGRADECIMIENTOS....9
8. REFERENCIAS....9
9. TABLAS Y GRÁFICAS....11

Resumen

La presente investigación evalúa la viabilidad técnica y la rentabilidad industrial del proceso de extracción de β-caroteno a partir de la microalga Dunaliella salina, un microorganismo halotolerante con una capacidad biosintética superior a las fuentes vegetales convencionales. El estudio se fundamenta en la valorización de esta especie en el entorno hipersalino de Rambla Salada (Fortuna, Murcia), donde las condiciones de estrés ambiental promueven la bioacumulación de pigmentos. Las muestras fueron recolectadas durante los periodos de máxima irradiación solar de marzo, junio y octubre de 2025, obteniéndose un volumen de 8 L para su procesamiento. Se implementaron protocolos experimentales de deshidratación mediante floculación química —empleando sulfato de aluminio y quitosano— y centrifugación, seguidos de una extracción selectiva con disolventes orgánicos (acetona y hexano) para la recuperación del β-caroteno. La cuantificación analítica se realizó mediante espectrofotometría UV-Visible a 450 nm, fundamentada en la ley de Lambert-Beer. Los resultados revelaron una riqueza de β-caroteno ligeramente superior al 6,3% en peso seco de biomasa. Este hallazgo no solo supera los rangos documentados en la literatura científica para cultivos bajo estrés (2-5%), sino que representa una eficiencia productiva 525 veces mayor que la de la zanahoria (Daucus carota). Se concluye que *Dunaliella salina* constituye una materia prima de alto rendimiento, económica y sostenible para la producción de suplementos nutricionales, colorantes naturales y agentes fotoprotectores en las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética.

Palabras clave: β-caroteno*, Dunaliella salina,* vitamina A, microalga*.*

Abstract

The present investigation evaluates the technical feasibility and industrial profitability of extracting β-carotene from the microalga Dunaliella salina, a halotolerant microorganism with a biosynthetic capacity superior to conventional plant sources. The study is based on the valorization of this species in the hypersaline environment of Rambla Salada (Fortuna, Murcia), where environmental stress promotes pigment bioaccumulation. Samples were collected during periods of maximum solar irradiation between March, June and October 2025, obtaining a volume of 8 L for processing. Experimental dehydration protocols were implemented using chemical flocculation—employing aluminum sulfate and chitosan—and centrifugation, followed by selective extraction with organic solvents (acetone and hexane) for β-carotene recovery. Analytical quantification was performed using UV-Vis spectrophotometry at 450 nm, based on the Lambert-Beer law. The results revealed a β-carotene content slightly exceeding 6.3% by dry weight of biomass. This finding not only surpasses the ranges documented in the scientific literature for crops under stress (2-5%), but also represents a productive efficiency 525 times greater than that of carrots (Daucus carota). It is concluded that Dunaliella salina constitutes a high-yield, economical, and sustainable raw material for the production of nutritional supplements, natural colorants, and photoprotective agents in the food, pharmaceutical, and cosmetic industries.

Keywords: β-carotene, *Dunaliella salina*, vitamin A, microalgae.

1. INTRODUCCIÓN

La vitamina A es una biomolécula fundamental para el metabolismo de los seres humanos que debemos incorporar en la dieta. Existen carencias en su incorporación debido a enfermedades congénitas o gastrointestinales o por desnutrición infantil en países en vía de desarrollo; aquí surge la importancia en la búsqueda de moléculas precursoras de la vitamina A como el β-caroteno.

El β-caroteno es un pigmento vegetal de color rojo anaranjado intenso con potentes propiedades antioxidantes. Pertenece al grupo de los carotenoides, un tetraterpeno sintetizado bioquímicamente a partir de ocho unidades de isopreno ($C_{40}H_{56}$). Se trata de un precursor de la vitamina A e interviene en importantes funciones en el organismo como el crecimiento óseo, la producción de anticuerpos, la prevención de ciertos cánceres y enfermedades cardíacas, etc. Por todas estas razones, el β-caroteno debe formar parte de la alimentación diaria, ya que el organismo humano no puede sintetizar carotenoides, aunque sí es capaz de transformar algunos de ellos. Este compuesto está presente en productos farmacéuticos y cosméticos, pero principalmente en ciertos alimentos como frutas y verduras (Shanaida et al., 2025), siendo la zanahoria una de las fuentes más destacadas. Sin embargo, la microalga *Dunaliella salina* contiene cantidades de β−caroteno hasta mil veces superiores a las de estas fuentes naturales.

El β-caroteno, es un pigmento altamente demandado en el área alimenticia y aún más en el sector farmacéutico y cosmético, debido a su capacidad fotoprotectora, elevado poder antioxidante y a sus propiedades anticancerígenas (Siqueiros, 2017). Además de sus beneficios nutricionales como compuesto antioxidante y sus efectos en la salud, presenta aplicaciones en la industria de alimentos, como colorante natural, suplemento vitamínico y compuesto activo para medicamentos (Otálora-Orrego, 2020).

El presente trabajo se enfoca en evaluar la rentabilidad de producir β−caroteno a partir de microalgas, con especial atención en el proceso de extracción. Aunque existen otros métodos extractivos, su viabilidad económica es limitada debido a su complejidad y alto coste. Por ello, se está explorando un nuevo procedimiento de extracción del β−caroteno utilizando la microalga *Dunaliella salina*. Este proceso implica varias etapas clave para optimizar el rendimiento y preservar la integridad del compuesto; entre ellas se encuentran el cultivo en condiciones controladas (alta salinidad y exposición a la luz) y la recolección celular de la microalga, llevada a cabo en la “Rambla Salada” en Fortuna, donde se obtuvieron las muestras. También incluye la ruptura celular (facilitada por la ausencia de una pared celular rígida) y la extracción posterior de los carotenoides. Para ello se emplearon diferentes técnicas de laboratorio, enfocadas sobre todo a la deshidratación de la muestra mediante floculación química y centrifugación, para finalizar con la extracción del β−caroteno utilizando diferentes disolventes orgánicos como el hexano y la acetona. La última parte del trabajo consistió en evaluar la concentración en tanto por ciento del β−caroteno sobre peso seco extraído, mediante técnicas espectrofotometría en colaboración con la Universidad de Murcia.

Además, el proyecto incluye un estudio finalista en el uso del β-caroteno. Gracias a las beneficiosas características de este carotenoide es un gran candidato para ser la base de suplementos alimenticios y una alternativa como colorante natural frente a los colorantes artificiales perjudiciales para la salud (Bachmann, 2014). También ha generado un notable interés en la industria cosmética por su origen natural y por sus propiedades hipoalergénicas (Marino et al., 2020), además de ser altamente valorado por su biocompatibilidad y versatilidad funcional, es decir, es seguro para el organismo y útil para diversos fines, diferenciándose claramente de las versiones sintéticas. Estudios recientes han comprobado su efectividad en productos antienvejecimiento (anti-aging) y protectores solares, donde actúa tanto como filtro UV natural como agente que combate los radicales libres (Souza et al., 2017). Gracias a su perfil hipoalergénico se considera una opción segura para pieles sensibles.

Recientes investigaciones han demostrado que en personas que consumen β−caroteno desaparece la pigmentación anormal y podría disminuir el riesgo de desarrollar ciertos tipos de cáncer de piel. También se están explorando nuevas aplicaciones, como el desarrollo de cosméticos con efectos reparadores a nivel celular (López-Hortas et al., 2021). Sin embargo, aún existen desafíos importantes, como la competencia con otros pigmentos naturales y la necesidad de establecer métodos estándar que aseguren la pureza y efectividad del compuesto.

2. ANTECEDENTES

El β-caroteno es un carotenoide lipofílico ampliamente distribuido en vegetales, microalgas, hongos y algunos microorganismos. Debido a su sensibilidad a la luz, al oxígeno y a las altas temperaturas, los métodos de extracción deben minimizar la degradación oxidativa. Tradicionalmente, la extracción se ha realizado mediante disolventes orgánicos, aunque en las últimas décadas se han desarrollado tecnologías más sostenibles y eficientes.

La extracción con disolventes es el método más utilizado a nivel de laboratorio e industrial. Los disolventes más empleados incluyen hexano, acetona, etanol, éter de petróleo y mezclas de estos, seleccionados según la polaridad del carotenoide y la matriz vegetal. Para el β-caroteno, que es un compuesto no polar, se utilizan principalmente hexano y éter de petróleo. Este método presenta la ventaja de ser simple y económico, aunque requiere tiempos prolongados de extracción y genera residuos de disolventes potencialmente tóxicos. Además, la exposición a la luz y al oxígeno puede reducir el rendimiento del carotenoide (Zhao et al., 2024).

La extracción Soxhlet constituye una variante convencional que permite una extracción continua mediante recirculación del disolvente caliente. Se caracteriza por ofrecer altos rendimientos de recuperación de carotenoides, aunque presenta desventajas importantes como elevado consumo

energético, largos tiempos de operación y posible degradación térmica del β-caroteno debido a la exposición prolongada al calor (Saini & Keum, 2017).

La extracción asistida por ultrasonido utiliza ondas ultrasónicas que generan fenómenos de cavitación en el medio líquido. Estas microburbujas producen la ruptura de las paredes celulares y facilitan la liberación de carotenoides hacia el disolvente. Entre sus ventajas destacan la reducción del tiempo de extracción, menor consumo de solventes y mayores rendimientos respecto a métodos convencionales. Esta tecnología se considera una alternativa sostenible para la recuperación de β-caroteno a partir de residuos agroindustriales y biomasa vegetal (Kultys & Kurek, 2022).

La extracción asistida por microondas emplea energía electromagnética para calentar rápidamente el interior de las células vegetales, provocando su ruptura y favoreciendo la difusión del β-caroteno al solvente. Esta técnica disminuye significativamente los tiempos de extracción y el volumen de solventes requeridos. Sin embargo, el control de la temperatura es fundamental para evitar la degradación de los carotenoides termo sensibles (Kultys & Kurek, 2022).

La extracción con dióxido de carbono supercrítico (SC-CO_2) es actualmente una de las tecnologías más prometedoras para la obtención de β-caroteno. El CO_2 supercrítico posee propiedades intermedias entre líquido y gas, lo que le permite penetrar eficientemente en la matriz vegetal y disolver compuestos lipofílicos. Entre sus ventajas destacan la ausencia de residuos tóxicos, la facilidad de separación del solvente y la obtención de extractos de alta pureza. Diversos estudios reportan rendimientos superiores a los obtenidos con hexano, especialmente cuando se emplean codisolventes como etanol (Zhao et al., 2024).

La extracción enzimática utiliza enzimas como celulasas, pectinasas y hemicelulasas para degradar la pared celular vegetal y facilitar la liberación intracelular del β-caroteno. Este método permite trabajar bajo condiciones suaves de temperatura y pH, reduciendo el deterioro del compuesto. Además, puede combinarse con ultrasonido o fluidos supercríticos para incrementar la eficiencia del proceso (Saini & Keum, 2017)

3. HIPÓTESIS DE TRABAJO Y OBJETIVOS

Nos planteamos la siguiente hipótesis de trabajo: "El proceso de extracción de β-caroteno a partir de la microalga *Dunaliella salina* en las salinas de Rambla Salada es técnicamente viable y económicamente rentable, constituyendo una fuente industrial sostenible debido al alto rendimiento biomasa-pigmento adaptado a las condiciones extremas locales."

El objetivo general es estudiar la rentabilidad y viabilidad del proceso de extracción de β-caroteno a partir de la microalga invasora *Dunaliella salina* en las salinas terrestres de Rambla Salada (Fortuna, Murcia), evaluando su potencial como fuente industrial sostenible. Para la consecución de este objetivo general se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Determinar la concentración de β-caroteno en peso seco de la biomasa mediante análisis espectrofotométrico.
- Estudiar la importancia del β−caroteno natural en contraste con el sintético, valorando si es más eficaz y útil, y por tanto más saludable.
- Evaluar la efectividad del compuesto obtenido para su integración en suplementos alimenticios destinados a mitigar la deficiencia de vitamina A.
- Proponer el uso del β-caroteno de origen microalgal como alternativa natural a colorantes sintéticos, como la tartrazina.
- Analizar la relevancia y los beneficios antioxidantes y fotoprotectores del pigmento en el sector cosmético.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la ejecución de este proyecto se combinó un diseño cuantitativo-experimental, con el objetivo de evaluar y optimizar la extracción de β-caroteno a partir de la microalga halotolerante *Dunaliella salina*, y un diseño cualitativo-documental mediante la revisión sistemática de literatura técnica y bases de datos académicas para el contraste de resultados.

4.1. Revisión Bibliográfica

El estudio documental se realizó a través del análisis de documentos y materiales existentes, como libros, artículos, páginas web, etc. a través de Google Académico, para recopilar información y conocimientos sobre la extracción de β-caroteno y su relevancia en la industria alimenticia, farmacéutica y cosmética. Esta etapa fue fundamental para poder conocer más a fondo el tema antes de realizar el estudio experimental.

4.2. Estudio Experimental

Para el estudio experimental se realizaron procedimientos de floculación, concentración de biomasa y extracción con disolventes orgánicos, seguidos de análisis espectrofotométrico.

4.2.1. Recolección de Dunaliella salina

Dunaliella salina es una microalga caracterizada por su elevada tolerancia a condiciones ambientales extremas y por su capacidad de sintetizar carotenoides en altas concentraciones (Romero et al., 2008). En ambientes hipersalinos, la microalga puede alcanzar aproximadamente un 10 % de carotenoides en peso seco (Siqueiros, 2017).

Las muestras se recolectaron en la Rambla Salada (Fortuna, Murcia, España), donde la microalga se desarrolla de manera natural en balsas exteriores. Se realizaron tres campañas de colecta, en marzo, junio y octubre de 2025, coincidiendo con periodos de alta irradiación solar, lo cual favorece la acumulación de carotenoides. Se obtuvieron 8 L de la balsa con mayor salinidad. Las muestras se transportaron bajo estrictas condiciones de refrigeración y oscuridad total para evitar la degradación térmica y fotoquímica de los carotenoides.

La muestra tomada en junio de 2025 a las 11:00 h, en Rambla Salada presentó 24 ºBé y una temperatura del agua cercana a 20 ºC. Según tablas técnicas de salmueras de NaCl, esta lectura corresponde aproximadamente a una salmuera hipersalina, con elevada concentración de cloruro sódico. La propia producción de flor de sal confirma que el sistema alcanza concentraciones próximas a la cristalización. Estas condiciones favorecen a organismos halófilos como *Dunaliella salina*, microalga adaptada a ambientes con alta salinidad; la FAO sitúa su crecimiento óptimo en torno al 18–22 % de NaCl y el máximo rendimiento de β-caroteno cerca del 24 %. Por ello, la salinidad medida justifica un ambiente adecuado para su desarrollo. Esta muestra fue la que se utilizó para la extracción del β-caroteno ya que es la muestra que mayor salinidad tenía y por tanto mayor concentración de microalga con un alto contenido de β-caroteno.

4.2.2. Extracción del β-Caroteno

Para llevar a cabo la extracción, se emplearon dos procesos principales: floculación y centrifugación, destinados a concentrar y deshidratar la biomasa de *Dunaliella salina*. La floculación consiste en la aglomeración de partículas pequeñas presentes en un líquido mediante agentes químicos denominados floculantes, formando flóculos de mayor tamaño. La centrifugación permite separar sólidos y líquidos de diferente densidad, facilitando la eliminación del agua y la recuperación de la biomasa con β-caroteno.

Primer Procedimiento. Se empleó sulfato de aluminio ($Al_2(SO_4)_3$) como floculante, para la neutralización de las cargas negativas de los grupos amino ($-NH_2$) y carboxilo ($-COOH$) presentes en la superficie celular de la microalga, y hexano y acetona como disolventes. Para comenzar se pesó el $Al_2(SO_4)_3$ en un vidrio de reloj tarado y se transfirió a un vaso de precipitados con 50 mL de agua destilada. La solución se transfirió a un matraz aforado, realizando lavados exhaustivos para evitar pérdidas de masa, y se procedió a enrasar a 100 mL para garantizar una concentración 0.5 M. La homogeneización se realizó mediante agitación magnética durante 5 minutos. Para la floculación se mezcló la disolución con la muestra de microalgas en una proporción volumétrica de 2:8. Tras la centrifugación, se recuperó el sedimento. El pellet se trató con acetona bajo agitación constante (30-60 min) para la solubilización de los pigmentos. Posteriormente, se añadió hexano, facilitando una partición líquido-líquido donde el β-caroteno migra selectivamente a la fase orgánica apolar (hexano), separándose de las impurezas polares

retenidas en la fase acetónica. Los disolventes se eliminaron por evaporación a temperatura ambiente, obteniendo un residuo sólido con β-caroteno.

Segundo Procedimiento. En este procedimiento se utilizaron sulfato de aluminio y quitosano como floculantes, y hexano, etanol y agua como disolventes. Este protocolo incluyó una fase de acondicionamiento térmico a 36 °C durante 24 horas para incrementar la densidad de la biomasa sin comprometer la integridad estructural del carotenoide. La floculación con sulfato de aluminio se preparó una disolución 0,5 M igual a la del procedimiento anterior y se añadió a 250 mL de agua con *Dunaliella salina*. Para la floculación con quitosano, se preparó una solución con 0,05 g ± 0,01 g de quitosano en 100 mL de agua. Para superar su naturaleza hidrofóbica, se acidificó con ácido acético al 6% hasta alcanzar un *pH* ≈ 6, condición óptima para solvatar el quitosano y permitir su interacción electrostática con la microalga. Se añadieron exactamente 20 mL de la solución de quitosano a 230 mL de muestra hidratada de *Dunaliella salina*, completando un volumen total de 250 mL. El pellet obtenido tras centrifugación (5000 rpm por 10 min) se procesó con la siguiente mezcla de disolventes: 60% hexano, 32% etanol y 8% agua destilada, utilizando 10 mL de disolvente por cada gramo de biomasa seca. La mezcla se agitó en un vortex durante 2 minutos.

El contenido se transfirió a un embudo de decantación. La fase superior (orgánica), rica en *β*-caroteno, se recuperó y la fase inferior se reextrajo dos veces más con hexano. Todas las fases orgánicas obtenidas se evaporaron hasta sequedad, obteniendo el residuo seco con carotenoides.

4.2.3. Análisis espectrofotométrico

La cuantificación de β-caroteno se realizó mediante espectrofotometría UV-Visible aplicando la ley de Lambert-Beer, la cual postula que “la absorción de luz aumenta cuando hay más partículas que puedan absorberla”, estableciendo una relación lineal y directa entre la absorbancia y la concentración del soluto de interés. Se utilizó un espectrofotómetro UV-Visible configurado a 450 nm (máximo de absorción del β-caroteno en disolventes orgánicos). El sistema fue calibrado con cubetas de cuarzo, empleando hexano puro como blanco analítico con la finalidad de corregir la absorción del disolvente. Se preparó una disolución madre de 54 ppm (5,4 mg de β-caroteno en 0,1 L de hexano) utilizando un patrón certificado de pureza al 99% de *Thermo Scientific Chemicals*. Para poder realizar los puntos correspondientes a la recta de calibrado se prepararon varias disoluciones con diferentes concentraciones (tabla 1). A partir de esta, se generó la curva de calibrado con un coeficiente de correlación.

Se observó que las disoluciones presentaron un aumento lineal de la absorbancia conforme se incrementa la concentración (Fig. 1), logrando una recta ajustada a través de regresión lineal de la forma: A= mC + b, donde m representa la pendiente, relacionada con el coeficiente de extinción molar y b la absorbancia residual del sistema de medición o nivel base de señal.

5. RESULTADOS

5.1. Estudio Bibliográfico

La función más destacada del β-caroteno es actuar como el principal precursor de la vitamina A (retinol), la cual es esencial para el organismo humano. Según De Alencar et al., (2011) el β-caroteno es una fuente excelente y útil de vitamina A debido a que el cuerpo lo convierte en retinol según sus necesidades, por lo que es en una fuente segura y eficiente para evitar deficiencias que podrían causar efectos negativos en la salud. Además, participa activamente en la regulación del crecimiento, la diferenciación celular y el fortalecimiento de las funciones inmunitarias y la visión (Hidalgo Olmedo, 2022).

En los últimos años se ha empezado a cuestionar los colorantes artificiales que se utilizan en la industria alimenticia, siendo la tartrazina (E-102) un colorante artificial que se encuentra en una gran variedad de alimentos y bebidas como caramelos, pasteles y refrescos. Mientras que la tartrazina se asocia con riesgos de reacciones alérgicas, ansiedad e hiperactividad en niños, el β-caroteno es de origen natural, no presenta toxicidad ni carcinogenicidad, y es estable al calor sin alterar el sabor u olor de los alimentos (Pacheco et al., 2024).

Otro de sus beneficios es su carácter antioxidante, capacidad que le permite proteger a las células del cuerpo del daño oxidativo provocado por los radicales libres, los cuales dañan el ADN y aceleran el

envejecimiento. Al contrarrestar estas moléculas, el b-caroteno ayuda a reducir el riesgo de aparición de tumores y mejora la longevidad celular (Ortega, 2021).

También presenta propiedades fotoprotectoras, pues algunos carotenoides se acumulan en la piel y actúan como protección frente a la radiación ultravioleta, ayudando a prevenir quemaduras solares y enfermedades graves como el melanoma. Asimismo, posee propiedades antiinflamatorias, pues contribuyen a aliviar la piel irritada o inflamada, disminuyendo el enrojecimiento, la picazón o la sensibilidad. Finalmente potencia un bronceado saludable al aumentar la pigmentación de la piel y proporcionar cierta protección contra los efectos nocivos del sol.

Tras una búsqueda bibliográfica se pudo comprobar un estudio que evalúa los efectos fotoprotectores de la suplementación oral con carotenoides frente a los daños cutáneos inducidos por radiación ultravioleta. La evidencia científica previa indica que los carotenoides orales aumentan la resistencia de la piel al eritema provocado por radiación UVB, pero su efecto sobre la pigmentación inducida por UVA se desconocía. Es por ello, que los autores investigaron si la suplementación diaria con carotenoides protege tanto del eritema por UVB como de la pigmentación causada por UVA (Basman et al., 2020, 219-225).

Para ello llevaron a cabo un ensayo clínico aleatorizado, doble ciego y controlado con placebo, en el que participaron 60 individuos con fototipos cutáneos II a IV según la clasificación de Fitzpatrick (una escala de tipos de piel según su reacción a la exposición solar). Los participantes fueron asignados de forma aleatoria en dos grupos, uno que recibió el suplemento Nutrilite Multi Caroteno y el otro un placebo, durante 12 semanas. La evaluación de la fotoprotección se realizó mediante la medición de tres parámetros principales en el inició del estudio y en las semanas 4, 8 y 12: la dosis eritematosa mínima (DEM) inducida por UVB, dosis mínima de pigmentación persistente (DMP) inducida por UVA y finalmente los niveles de carotenoides en la piel, determinados mediante el dispositivo Biozoom®. Se evaluó el color cutáneo mediante observadores clínicos expertos y técnicas de colorimetría objetiva. Los resultados de este estudio mostraron que los participantes que recibieron la suplementación con carotenoides presentaron aumentos significativos en los parámetros analizados en comparación con el grupo placebo; se observó un incremento en los niveles de carotenoides en la piel confirmando su absorción, un aumento de la DEM provocado por la radiación UVB, y en los valores de DMP inducidos por UVA. Estos efectos se detectaron a través de mediciones de colorimetría.

5.2. Estudio Experimental

La regresión lineal de los datos experimentales arrojó un coeficiente de correlación (R^2) de aproximadamente 0,98. Este valor ratifica la robustez y fiabilidad del modelo de Beer-Lambert para este carotenoide, asegurando que el error analítico es mínimo dentro del rango de concentraciones evaluado. El análisis de la muestra de pellet disuelta en hexano proporcionó una lectura de absorbancia de 0,017. Al normalizar este valor respecto al peso seco total, se determinó una riqueza de β-caroteno superior al 6,3%.

Desde una perspectiva técnica, el rendimiento de la microalga aislada en Rambla Salada es excepcional. El valor obtenido (6,3%) no solo supera los rangos documentados en literatura para cultivos bajo estrés lumínico o salino (2–5%) (Ben-Amotz & Avron, 1990), sino que posiciona a *Dunaliella salina* como una fuente masivamente más eficiente que las terrestres. En comparación con la zanahoria (*Daucus carota*), que presenta una concentración de apenas 0,012%, los resultados de este estudio representan un incremento de rendimiento superior a 500 veces, validando la rentabilidad industrial de este sistema biológico.

6. CONCLUSIONES

6.1. Búsqueda Bibliográfica

Tras la búsqueda bibliográfica realizada se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. El β-caroteno al ser un precursor de la vitamina A es un compuesto ideal para elaborar suplementos alimenticios y así prevenir los problemas de salud que provoca la deficiencia de la vitamina A.

2. Además, puede ser utilizado como colorante natural en sustitución de algunos colorantes artificiales como la tartrazina que, aunque en su dosis máxima diaria no presenta carcinogenicidad, ni toxicidad, en dosis altas puede presentar efectos neuroconductuales, conductas antisociales, reacciones hipoalérgicas, etc.
3. Su carácter antioxidante le permite proteger a las células del cuerpo del daño oxidativo causado por los radicales libres, reduciendo el riesgo de producir tumores y el envejecimiento.
4. El β-caroteno presenta efectos fotoprotectores por lo que se posiciona como un ingrediente muy valorado debido a los beneficios que le aporta a la piel. No sustituyen a los protectores solares, sino que ofrecen una protección adicional desde el interior del cuerpo.
5. El estudio del ensayo clínico concluyó que la suplementación diaria con carotenoides aporta fotoprotección frente a las radiaciones UVB y UVA, reduciendo el eritema y la pigmentación, y puede complementar la fotoprotección tópica como los protectores solares.

6.2. Estudio Experimental

Con los resultados obtenidos del análisis de los métodos empleados para la extracción del β-caroteno a partir de la microalga *Dunaliella salina*, fue posible llegar a las siguientes conclusiones:

1. Se valida la espectrofotometría UV-Visible a 450 nm como un método analítico preciso, rápido y eficaz para la cuantificación de carotenoides, ya que el resultado obtenido fue el máximo porcentaje de este pigmento en seco de *Dunaliella salina*.
2. Los protocolos de extracción, permitieron alcanzar un porcentaje de pigmento (>6.3%) que excede los estándares biotecnológicos habituales.
3. La *Dunaliella salina* es una fuente muy rentable pues otorga una gran proporción β-caroteno; en comparación con la zanahoria, que contiene un 0,012 %, los resultados de este estudio representan un incremento de rendimiento superior a 500 veces, lo que demuestra que la cepa de Dunaliella salina analizada demuestra ser la fuente biológica más rentable para la producción de β-caroteno a escala industrial.
4. Debido a su alto rendimiento y rentabilidad, se identifica a la zona de Rambla Salada en Fortuna (Murcia) como un enclave geográfico estratégico para la producción biotecnológica de β-caroteno, debido a su gran acumulación de la microalga cuyo aprovechamiento podría generar grandes beneficios.

7. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, dar las gracias a nuestro tutor del proyecto, Rubén Serradilla Amarilla, por estar con nosotros en todo momento y por ayudarnos cuando lo hemos necesitado durante estos dos años.

A nuestros profesores de la materia de Metodología de la Investigación en 1º y 2º de Bachillerato, Juana Fernández Vicente, Encarna Isabel Gómez Campoy, Francisca Vicente Martínez y Pedro Ginés Melgarejo Belmonte, por estar siempre pendiente y ayudarnos en cada paso del camino.

Además, nos gustaría agradecer a Miguel Ángel Núñez Herrero de Rambla Salada, a Marina Perán García y Emilia González Gómez de Planta Química en el IES Sanje y a Guillermo Díaz Baños, Decano de la Facultad de Química, por sus aportaciones al trabajo que han resultado de mucha ayuda.

A nuestros compañeros de clase, por hacer el trabajo más llevadero durante estos dos años.

Por último, nos gustaría agradecer a nuestra familia por haber sido nuestro apoyo incondicional en el día a día y por habernos ayudado en todo lo que hemos necesitado.

8. REFERENCIAS

Bachmann, C. (2014). Comparación de vitaminas sintéticas y naturales ¿Existen diferencias? Mdizinonline. https://medizinonline.com/es/existen-diferencias/

Basman, S. M., Marini, A., Klosner, A. E., Jaenicke, T., Leverett, J., Murray, M., Gellenbeck, K. W., & Krutmann, J. (2020). Orally administered mixed carotenoids protect human skin against ultraviolet A-induced skin pigmentation: A double-blind, placebo-controlled, randomized clinical

trial. *Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine*, 36(3), 219-225. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32072695/

Ben-Amotz, A., & Avron, M. (1990). The biotechnology of cultivating the halotolerant alga Dunaliella. Trends in Biotechnology, 8(5), 121–126. https://doi.org/10.1016/0167-7799(90)90152-N

De Alencar, D. B., Pires-Cavalcante, K. M. D. S., De Souza Saboya, J. P., De Sousa, M. B., Farias, W. R. L., & Saker-Sampaio, S. (2011). Teores de β-caroteno em suplementos e biomassa de Spirulina. *Ciência E Agrotecnologia, 35*(2), 386-391. https://doi.org/10.1590/S1413-70542011000200021

Hidalgo Olmedo, B. G. (2022). *Uso de colorantes alimentarios (artificiales y naturales) y su impacto en la salud: revisión de la literatura* [Tesis de Licenciatura, Riobamba, Universidad Nacional de Chimborazo]. http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/9714

Kultys, E. and Kurek, M.A. (2022) 'Green Extraction of Carotenoids from Fruit and Vegetable Byproducts: A Review', Molecules, 27(2), p. 518. Available at: https://doi.org/10.3390/molecules27020518.

López-Hortas, L., Flórez-Fernández, N., D. Torres, M., Ferreira-Anta, T., P. Casas, M., Balboa, E. M., Falqué, E., & Domínguez, H. (2021). Applying Seaweed Compounds in Cosmetics, Cosmeceuticals and Nutricosmetics. *Marine Drugs*, *19*(10). https://doi.org/10.3390/md19100552

Marino, T., Casella, P., Sangiorgio, P., Verardi, A., Ferraro, A., Hristoforou, E., Molino, A., & Musmarra, D. (2020). Natural Beta-carotene: a Microalgae Derivate for Nutraceutical Applications. *Chem Eng*, *79*(1), 5.https://doi.org/10.3303/cet2079018

Ortega, T. (2021, marzo 10). *Betacaroteno frente al sol.* Cuidate plus. https://cuidateplus.marca.com/enfermedades/dermatologicas/2002/06/13/betacaroteno-frente-sol-6586.html

Otálora-Orrego, Daniel; Martin-G, D.A (2020). Técnicas emergentes de extracción de β-caroteno para la valorización de subproductos agroindustriales de la zanahoria (Daucus carota L.): una revisión. *Informador Técnico*, *85*(1), 83-106. https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/7868821.pdf

Pacheco et al, 2024 Estudio comparativo del uso del betacaroteno y tartrazina como colorantes alimenticios. https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/9ae45d11-6922-4485-b404-e9e5bf4326c9

Romero, L., Guevara, M., Armas, H., & Lodeiros, C. (2008). Cuantificación de carotenoides totales y β-caroteno en dos cepas de Dunaliella salina (Chlorophyta, Volvocales) aisladas de lagunas hipersalinas de Venezuela. *Boletín del Instituto Oceanográfico de Venezuela*, *47*(1), 67-76.https://www.academia.edu/download/53415275/837-2229-1-SM.pdf

Saini, R. K., & Keum, Y. S. (2017). Carotenoid extraction methods: A review of recent developments. *Food chemistry*, *240*, 90-103. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.07.099

Shanaida, M., Mykhailenko, O., Lysiuk, R., Hudz, N., Balwierz, R., Shulhai, A., Shapovalova, N., Shanaida, V., & Bjørklund, G. (2025). Carotenoids for Antiaging: Nutraceutical, Pharmaceutical, and Cosmeceutical Applications. pharmaceuticals, 18(3). https://doi.org/10.3390/ph18030403

Siqueiros Vargas, F. (2017). *Caracterización de los genes que codifican para las enzimas involucradas en la bioacumulación de β – caroteno en Dunaliella salina y Dunaliella bardawil.* [Tesis doctoral, Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California].1 - 58. https://cicese.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1007/1890/1/tesis_Siqueiros_Vargas_Fabi%C3%A1n_24_nov_2017.pdf

Souza, C., Maia, P., Schanzer, S., Albrecht, S., B, S., Lademann, J., E, M., & C, M. (2017). Radical-Scavenging Activity of a Sunscreen Enriched by Antioxidants Providing Protection in the Whole Solar Spectral Range. *Skin Pharmacol Physiol*, *30*(2), 81-89. https://doi.org/10.1159/000458158

Zhao, T., He, X., Yan, X., Xi, H., Li, Y., & Yang, X. (2024). Recent advances in the extraction, synthesis, biological activities, and stabilisation strategies for β-carotene: A review. *International Journal of Food Science and Technology*, *59*(4), 2136-2147. https://doi.org/10.1111/ijfs.16986

9. TABLAS Y GRÁFICAS

Tabla 1

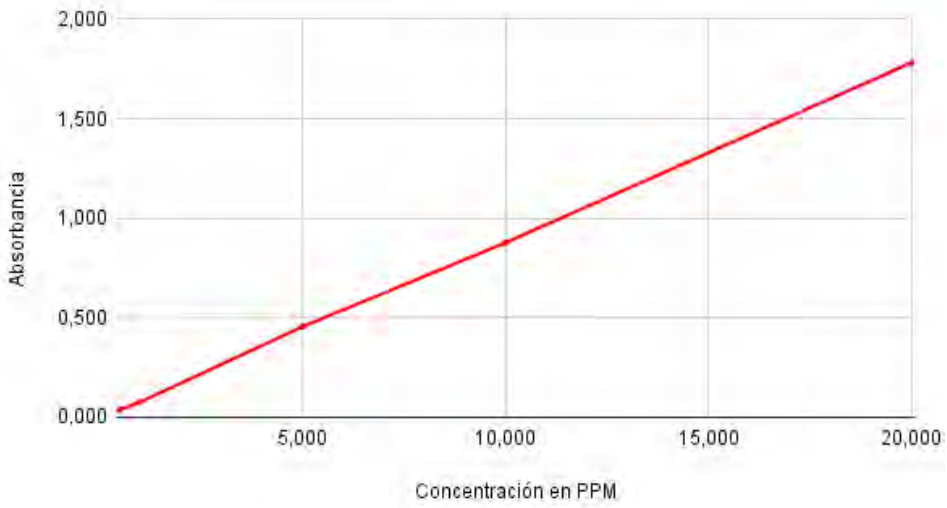
Absorbancia en función de los PPM de disolución

PPM	Absorbancia
0,5	0,037 abs
1	0,076 abs
5	0,455 abs
10	0,877 abs
20	1,782 abs

Nota. Diferentes disoluciones preparadas con sus correspondientes absorbancias.

Figura 1

Absorbancia frente a concentración en PPM



Nota. Se produce un aumento lineal de la absorbancia conforme se incrementa la concentración

I.E.S. Ruiz de Alda

Flexión de vigas.
Modelos matemáticos y simulación

Ariadna García Huertas y Albert Murillo Sanmartín

Coordinadora: María Teresa Fernández Jambrina

Curso 2025/26

1º Bachillerato

Indice

1 Introducción **1**
1.1 ¿Qué es una viga? 1
1.2 Modelo de Euler-Bernoulli 1
1.3 Tensiones 3
1.4 Condiciones de contorno 3

2 Antecedentes **4**

3 Objetivos **5**

4 Materiales y métodos **5**
4.1 Problema auxiliar 6
4.2 Solución aproximada del problema de contorno 6

5 Resultados **8**
5.1 Viga empotrada/libre 8
5.2 Viga empotrada/muelle 9

6 Conclusiones **9**

Resumen

El objetivo de este proyecto es realizar un estudio detallado de la flexión de una viga sometida a cargas verticales. Para ello se analizará el modelo matemático clásico de Euler-Bernoulli para vigas elásticas esbeltas con diferentes condiciones en los extremos. A continuación se introducirá un algoritmo numérico de aproximación mediante la adaptación del método de tiro lineal, usando el método de Runge-Kutta de orden cuatro para aproximar el problema auxiliar de Cauchy. Dicho algoritmo se programará e implementará en el entorno Maxima. Finalmente se realizarán simulaciones de casos reales en las que se obtendrán la configuración de equilibrio de la viga y las tensiones que se generan.

Palabras clave: *Viga, deformación, flexión, carga, Maxima, ecuación diferencial, modelo matemático, aproximación numérica.*

1 Introducción

Las vigas constituyen elementos estructurales esenciales en la ingeniería civil y mecánica, ya que permiten soportar las cargas en cualquier tipo de infraestructura como edificaciones, puentes, etc y también forman parte de dispositivos como grúas, suspensiones de vehículos o brazos robóticos.

1.1 ¿Qué es una viga?

Se denomina *viga* a un sólido rígido cuya longitud supera ampliamente las dimensiones de sus secciones transversales que, al contrario de lo que ocurre con los cables, no pueden considerarse despreciables. Esto obliga a usar tres coordenadas cartesianas para situar la posición de cada punto, complicando la descripción de su comportamiento, lo que se conoce como *modelo matemático* del fenómeno (Velten, 2009). Para simplificar el modelo matemático de una viga horizontal en equilibrio, fijado un sistema de referencia tridimensional, supondremos que la *luz* (el lado de mayor longitud) está situado sobre el eje X, siendo su eje central es de la forma

$$\mathcal{E}_0 = \{(x, 0, 0) : 0 \leq x \leq \ell\} \tag{1}$$

con $\ell > 0$ la longitud de la viga, y que las secciones transversales son simétricas. En este modelo se incluyen las vigas en forma de prima, que son las más habituales en ingeniería civil, pero también objetos con otras geometrías, ver Figura 1.

1.2 Modelo de Euler-Bernoulli

El objetivo de este trabajo es analizar el comportamiento de una viga, inicialmente en posición horizontal, cuando es sometida a la acción de fuerzas (que en este contexto denominaremos *cargas*). Para ello se ha utilizado el modelo clásico, denominado de Euler-Bernoulli, que se basa fundamentalmente en suponer que las secciones transversales de la viga solamente cambian de posición (manteniendo su forma original) y permanecen perpendiculares al eje central de la viga deformada (Bauchau y Craig, 2009). Estas hipótesis son válidas cuando se consideran vigas relaticamente largas y estrechas, *vigas esbeltas*.

Si cada punto de la viga, de coordenadas cartesianas (x, y, z), se desplaza a un punto $(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$, un análisis cinemático del fenómeno, teniendo en cuenta las hipótesis del modelo de Euler-Bernoulli, permite obtener las ecuaciones

de deformación

$$\begin{cases} \bar{x} - x = u(x) - y\, v'(x) - z\, \omega'(x) \\ \bar{y} - y = v(x) \\ \bar{z} - z = \omega(x) \end{cases} \tag{2}$$

donde las funciones $u(x), v(x), \omega(x)$ describen traslaciones a lo largo de los ejes principales de la viga.

Si se consideran únicamente fuerzas verticales es razonable suponer que no se producen traslaciones axiales o laterales en la viga, es decir, $u = v = 0$ en (2). Lo que se produce es una traslación vertical, *flexión*, que origina tensiones internas en las secciones transversales de la viga. Si se considera además que la viga tiene un comportamiento elástico, usando la Ley de Hooke y los principios básicos de la resistencia de materiales (Mujika, 2024) se llega a la ecuación

$$\big(E(x)I(x)\omega''(x)\big)'' = q(x) \tag{3}$$

conocida como *ecuación de Euler-Bernoulli de una viga*, donde:

- $q(x)$ describe la carga vertical que actúa sobre cada sección transversal. Dicha carga puede ser puntual o distribuida.
- $E(x)$ es el *módulo de elasticidad de Young*, constante que relaciona las tensiones con los desplazamientos axiales de las secciones transversales y que depende del material del que está hecha la viga (se asume que las secciones transversales en cada punto x del eje axial son homogéneas).
- $I(x)$ es el *momento de inercia* de la sección respecto del plano XY. Su valor depende de la forma de dicha sección.

El producto $E(x)I(x)$ se denomina *coeficiente de rigidez*. Cuando es constante, lo que ocurre en el caso de vigas homogéneas cuyas secciones transversales no varían a lo largo del eje axial, la ecuación de estado, que describe la flexión de la viga es de la forma

$$EI\omega^{(iv)}(x) = q(x) \tag{4}$$

Esta es la casuística que se considera en este trabajo.

1.3 Tensiones

La flexión de la viga genera fuerzas internas. Se denominan *tensiones* a dichas fuerzas por unidad de superficie. En cada sección transversal de la viga estas tensiones pueden descomponerse en una componente axial o longitudinal σ_X y una componente tangencial, cortante o de cizalladura τ_X, que se relacionan con la deformación vertical y la forma de las secciones mediante las fórmulas

$$\sigma_X = -E(x)z\,\omega''(x) \tag{5}$$

y

$$\tau_X = \big(E(x)I(x)\omega''(x)\big)'\,J(z)/\left(A(x)I(x)\right) \tag{6}$$

donde $J(z)$ depende de la forma de la sección transversal por encima de z y $A(x)$ es la anchura de la sección. Los valores de σ_X y τ_X son relevante ya que permiten identificar las zonas de la viga sometidas a tensiones elevadas, lo que puede derivar en posibles fracturas y riesgo de colapso.

1.4 Condiciones de contorno

Para determinar la deformación de una viga, aparte de la ecuación de estadora es necesario conocer qué ocurre en los extremos de la viga, es decir, en $x_{ext} = 0.\ \ell$, es lo que se conoce como *condiciones de contorno*. Básicamente existen tres tipos de condiciones:

- La viga está *empotrada* si

$$\omega(x_{ext}) = 0, \quad \omega'(x_{ext}) = 0 \tag{7}$$

  Físicamente esto significa que la viga está fija en dicho punto (no hay desplazamiento vertical, luego $\omega(x_{ext}) = 0$), de modo que no se dobla demasiado, ya que la tangente se mantiene horizontal, $\omega'(x_{ext}) = 0$.

- La viga está *apoyada* cuando

$$\omega(x_{ext}) = 0, \quad \omega''(x_{ext}) = 0 \tag{8}$$

  Esta condición corresponde a una viga fija en el extremo x_{ext}, que sin embargo puede doblarse de forma arbitraria (por ejemplo cuando está sujeta mediante un dispositivo articulado o en algunos puentes en los que las vigas horizontales se apoyan sobre pilastras verticales). La segunda condición implica que el momento flector (el asociado a q) es nulo,

- La viga está en *voladizo* o *libre* si

$$\omega''(x_{ext}) = 0, \quad \left.\frac{d\left(E(x)I(x)\omega''(x)\right)}{dx}\right|_{x=x_{ext}} = 0 \tag{9}$$

  Es decir, puede moverse libremente (no está sometida a ninguna clase de fijación). Las restricciones indican que en x_{ext} el momento flector es nulo, así como la tensión interna vertical cortante.

La segunda condición en (9) puede modificarse para considerar el caso en que actúa una fuerza cortante de magnitud conocida. Por ejemplo cuando el extremo de la viga está unido a un muelle elástico de constante k, de la Ley Hooke se deduce que

$$\left.\frac{d\left(E(x)I(x)\omega''(x)\right)}{dx}\right|_{x=x_{ext}} - k\,\omega(x_{ext}) = 0 \tag{10}$$

Las condiciones de contorno en cada uno de los extremos de la viga pueden combinarse de forma arbitraria, originando múltiples tipologías, como se observa en la Figura 2.

2 Antecedentes

El comportamiento de una viga sometida a carga es uno de los problemas que seguramente se plantearon los primeros constructores muchos siglos atrás. El tratamiento matemático de la cuestión fue iniciado por el científico italiano Galileo Galilei en la primera mitad del siglo XVII. Otros muchos autores como Robert Hooke realizaron aportaciones, aunque el modelo matemático clásico que describe el comportamiento de una viga es debido a los trabajos de Jacques y Daniel Bernoulli y Leonhard Euler entre 1694 y 1750. El uso de las novedosas técnicas del *Cálculo diferencial* desarrollado por Isaac Newton y Gottfried Leibniz les permitió describir la flexión vertical de una viga mediante la ecuación que actualmente de denomina de Euler-Bernoulli en su honor.

A principios del siglo XX, Stephen Timoshenko, un ingeniero de origen ucraniano que desarrolló gran parte de su carrera en Estados Unidos, demostró experimentalmente que el modelo de viga de Euler-Bernoulli tiende a infravalorar la tensión de cizalladura, lo que afecta especialmente a vigas en que la relación entre la longitud y el área de las secciones es pequeña (*vigas gruesas*). Para corregir este defecto, Timoshenko desarrolló un nuevo

modelo de viga en que, tras la deformación, las secciones no permanecen necesariamente perpendiculares al eje central.

La aparición de ordenadores potentes y relativamente baratos a partir de década de los 70 del siglo XX hizo posible la generalización de la simulación matemática como herramienta imprescindible en el diseño y la planificación de obras e infraestructuras. Hoy en día es inimaginable un proyecto de ingeniería que no incluya detalladas simulaciones numéricas.

3 Objetivos

Los objetivos de este trabajo son

1. Entender el modelo matemático de Euler-Bernoulli de flexión de una viga elástica sometida a cargas verticales y ser capaces de manejarlo con soltura.

2. Diseñar un procedimiento numérico que permita implementar de forma práctica el modelo matemático para obtener valores concretos tanto de la deformación de la viga como de las tensiones internas que se generan.

3. Simular en el ordenador el comportamiento de una viga, programando los algoritmos en el entorno Maxima y implementándolos. Es importante procesar los resultados numéricos y generar salidas gráficas que permitan visualizarlos e interpretarlos.

4. Realizar simulaciones de casos reales para validar los algoritmos.

4 Materiales y métodos

La solución general de la ecuación de Euler-Bernoulli de la viga homogénea (4) suele ser difícil de calcular, es más, puede ocurrir que sea imposible escribirla en forma explícita o cerrada, incluso cuando la expresión de $q(x)$ es relativamente sencilla. Es por ello que se recurre a métodos numéricos para obtener aproximaciones de la solución.

Como se ha visto en la introducción, para describir el comportamiento de una viga, a la ecuación diferencial de Euler-Bernoulli se le añaden condiciones de contorno en los extremos. Esto complica el cálculo de la solución aproximada, dado que los métodos numéricos usuales están diseñados para resolver problemas de valores iniciales (o de Cauchy). El algoritmo que

hemos usado en este trabajo está inspirado en el método de tiro lineal y consta de dos fases: en primer lugar se resuelve numéricamente un problema auxiliar de Cauchy y a continuación se modifican los resultados para obtener una aproximación del problema de contorno.

4.1 Problema auxiliar

Se considera el siguiente problema de Cauchy,

$$\begin{cases} EI\omega_0^{(iv)}(x) = q(x) \\ \omega_0(0) = \omega_0'(0) = \omega_0''(0) = \omega_0'''(0) = 0 \end{cases} \tag{11}$$

Definiendo el vector $\boldsymbol{u} = (\omega_0, \omega_0', \omega_0'', \omega_0''')$ y la función,

$$\mathbf{F}(x, \boldsymbol{u}) = (u_2, u_3, u_4, q(x)/EI)$$

es inmediato comprobar que (11) es equivalente al siguiente problema vectorial de Cauchy

$$\begin{cases} \boldsymbol{u'}(x) = \mathbf{F}(x, \boldsymbol{u}(x)) \\ \boldsymbol{u}(0) = \mathbf{0} \end{cases} \tag{12}$$

Usamos el método de Runge-Kutta de orden cuatro (Mathews y Fink, 1999) para obtener una solución aproximada de (12). Notar que con ello estamos obteniendo aproximaciones de la solución ω_0 de (11) y de sus tres primeras derivadas.

4.2 Solución aproximada del problema de contorno

Se define la función

$$\omega(x) = \omega_0(x) + \underbrace{Ax + Bx(x-\ell) + Cx^2(x-\ell)}_{P_0(x)} \tag{13}$$

con $\omega_0(x)$ la solución de (11) y A, B, C constantes. Dado que

$$\begin{aligned} \omega'(x) &= \omega_0'(x) + A + B\,(2x-\ell) + C\left(3x^2 - 2\ell x\right) \\ \omega''(x) &= \omega_0''(x) + 2B + C\,(6x - 2\ell) \\ \omega'''(x) &= \omega_0'''(x) + 6C \\ \omega^{(iv)}(x) &= \omega_0^{(iv)} = q(x) \end{aligned} \tag{14}$$

vemos que $\omega(x)$ es solución de la ecuación de Euler-Bernoulli (4), independientemente del valor de las constantes. Por tanto, si tenemos una aproximación de $\omega_0(x)$, disponemos de una aproximación de $\omega(x)$.

El valor de las constantes A, B, C se ajusta para que (13) verifique las condiciones de contorno que se consideran en cada caso. Este proceso genera el siguiente algoritmo, que proporciona aproximaciones de la solución de (4) y sus derivadas.

Algoritmo (Aproximación viga homogénea)

---

1. Inicialización:
Longitud: ℓ Módulo de Young: E Momento de inercia: I
Cargas: $q(x)$
Función vectorial: $\mathbf{F}(x, \boldsymbol{u}) = (u_2,\, u_3,\, u_4,\, q(x)/(EI))$
Cantidad de nodos: m Longitud de paso: $h = \ell/m$

2. Construcción de los nodos y las aproximaciones del problema auxiliar de Cauchy:

- $x_{0,m} = 0 \qquad \boldsymbol{u}_{0,m} = (0, 0, 0, 0)$
- Para cada $j = 0, \ldots, m-1$ se define: $x_{j+1,m} = (j+1)h$

$$\begin{aligned}
\boldsymbol{\kappa}_1 &= \mathbf{F}(x_{j,m}, \boldsymbol{u}_{j,m}) \\
\boldsymbol{\kappa}_2 &= \mathbf{F}\left(x_{j,m} + h/2, \boldsymbol{u}_{j,m} + h\,\boldsymbol{\kappa}_1/2\right) \\
\boldsymbol{\kappa}_3 &= \mathbf{F}\left(x_{j,m} + h/2, \boldsymbol{u}_{j,m} + h\boldsymbol{\kappa}_2/2\right) \\
\boldsymbol{\kappa}_4 &= \mathbf{F}\left(x_{j,m} + h, \boldsymbol{u}_{j,m} + h\,\boldsymbol{\kappa}_3\right) \\
\boldsymbol{u}_{j+1,m} &= \boldsymbol{u}_{j,m} + \frac{h}{6}\left(\boldsymbol{\kappa}_1 + 2\boldsymbol{\kappa}_2 + 2\boldsymbol{\kappa}_3 + \boldsymbol{\kappa}_4\right)
\end{aligned}$$

3. Aproximaciones del problema original:

- Para cada $j = 1, \ldots, m$ se tiene: $\boldsymbol{u}_{j,m} = \left(u^1_{j,m},\, u^2_{j,m},\, u^3_{j,m},\, u^4_{j,m}\right)$
- Se calculan las constantes: $A_m\ B_m\ C_m$
- Para cada $j = 0, \ldots, m$ se define:

$$\omega_{j,m} = u^1_{j,m} + A_m x_{j,m} + B_m x_{j,m}(x_{j,m} - \ell) + C_m x^2_{j,m}(x_{j,m} - \ell)$$

$$d\omega_{j,m} = u^2_{j,m} + A_m + B_m(2x_{j,m} - \ell) + C_m\left(3x^2_{j,m} - 2\ell x_{j,m}\right)$$

$$d^2\omega_{j,m} = u^3_{j,m} + 2B_m + C_m\left(6x_{j,m} - 2\ell\right)$$

$$d^3\omega_{j,m} = u^4_{j,m} + 6C_m$$

---

5 Resultados

Hemos usado el algoritmo anterior para simular el comportamiento de vigas con diferentes materiales y geometrías, variando las condiciones de contorno y sometidas a diferentes cargas. En este apartado expondremos el caso de una viga de acero de sección rectangular con las características que se indican en la tabla.

Parámetros viga	
Longitud	$\ell = 10$ m
Anchura	$2a = 0.5$ m
Canto (altura)	$2b = 1$ m
Densidad	$\rho_{\text{acero}} = 7850$ kg/m^3
Módulo de Young	$E = 2 \cdot 10^{11}$ N/m^2
Momento de inercia	$I = 4ab^3/3 \approx 0.04167$ m^4

Sobre la viga, aparte de su propio peso (descrito como una carga distribuida a lo largo de la misma), se consideran dos cargas de $5 \cdot 10^5$ kg distribuidas en dos regiones de 20 cm alrededor de los puntos $x = 8$ m y $x = 9$ m.

5.1 Viga empotrada/libre

Se considera en primer lugar el caso de una viga empotrada en $x = 0$ y libre en $x = \ell$, Figura 4, es decir, con

$$\omega(0) = \omega'(0) = 0, \quad \omega''(\ell) = \omega'''(\ell) = 0 \tag{15}$$

Bajo estas condiciones se obtiene que, para asegurar que (13) verifica las identidades anteriores, las constantes deben ser de la forma

$$A = \frac{\ell^2 \omega_0'''(\ell)}{3} - \frac{\ell \omega_0''(\ell)}{2}, \qquad B = \frac{B}{\ell}, \qquad C = \frac{-\omega_0''(\ell)}{6} \tag{16}$$

Esto indica que en el algoritmo de aproximación debemos tomar

$$A_m = \ell^2 u_{m,m}^4/3 - \ell u_{m,m}^3/2, \qquad B_m = A_m/\ell, \qquad C_m = -u_{m,m}^3/6 \tag{17}$$

Ejecutando el código com $m = 500$ puntos se obtiene que el máximo desplazamiento vertical (flecha) se produce, como es lógico, en el extremo $x = 10$ m, con una magnitud de $\omega_{\max} = 26.4752$ cm. En la Figura 5 se muestra el desplazamiento vertical de la viga. La simulación nos proporciona también los valores de las tensiones en las secciones transversales de la viga, que se muestran en las Figuras 6 y 7 mediante un código de colores.

5.2 Viga empotrada/muelle

Supongamos ahora que se incorpora un muelle en el extremo $x = \ell$, lo que provoca que la última condición en (15) se convierta en

$$EI\omega'''(\ell) - k\omega(\ell) = 0 \tag{18}$$

En este caso las constantes de (13) son de la forma $A = \ell B$,

$$B = \frac{-\omega_0''(\ell)}{2} - 2\ell C, \quad C = \frac{k\omega_0(\ell) - EI\omega_0'''(\ell) - k\ell^2\omega_0''(\ell)/2}{6EI + 2k\ell^3} \tag{19}$$

Si el muelle está hecho de un alambre de acero con las características que se indican en la tabla se tiene que $k = 9.2 \cdot 10^7$ N/m.

Parámetros muelle	
Módulo de cizalladura	$M_c = 84 \cdot 10^9$ N/m^2
Diámetro alambre	$d = 0.2$ m
Espiras	$N_e = 2$
Diámetro espiras	$D = 0.45$ m

Modificamos el código Maxima, incorporando las nuevas constantes, y calculamos la solución aproximada con $m = 500$ puntos. Se observa una sustancial reducción del desplazamiento vertical máximo, $\omega_{\max} = 5.6484$ cm, por el efecto amortiguador del muelle. También se observa un cambio en la forma de la curva que describe el eje central de la viga desplazada, Figura 8. En cuanto a las tensiones se aprecian importantes diferencias:

- La tensión axial, Figura 9, es menor y está más distribuida a lo largo del perfil longitudinal de la viga.
- La tensión cortante, Figura 10, se reduce a la mitad, especialmente en el eje central. No obstante el efecto del muelle genera una fuerte tensión de cizalladura en en el extremo derecho de la viga.

6 Conclusiones

Como primera conclusión del proyecto cabe decir que se han alcanzado los objetivos marcados en la memoria inicial: se ha analizado en profundidad el modelo clásico de Euler-Bernoulli para la deformación de vigas elásticas esbeltas, se ha obtenido un algoritmo numérico para aproximar la solución de este problema, inspirado en el método de tiro lineal combinado en el

método de Runge-Kutta de orden cuatro, que se ha programado de forma satisfactoria en el entorno Maxima y se ha usado para simular problemas reales, obteniendo resultados acordes con los que pueden consultarse en la bibliografía especializada.

Indicar adems que este proyecto nos ha permitido ser conscientes de la importancia de la modelización matemática y la simulación numérica en ciencia e ingeniería, en particular para optimizar el diseño de estructuras y garantizar su seguridad.

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a María Teresa Fernández por haber sido una magnífica tutora en este trabajo, a nuestro profesor de Investigación, Antonio Garrigós, y a José Alberto Murillo, por su ayuda a lo largo del proyecto. También nos gustaría agradecer a nuestros compañeros de la clase OB1I del IES Ruiz de Alda.

Bibliografía

[1] Bauchau, O.A. y Craig, J.I. (2009) *Structural Analysis. With Applications to Aerospace Structures*, Springer.

[2] Mathews, J.H. y Fink, K.D. (1999) *Métodos Numéricos con Matlab*, Prentice Hall.

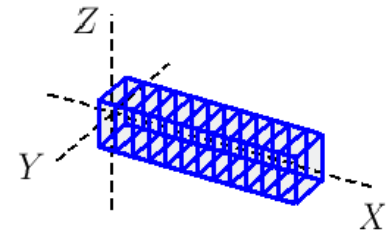
[3] Mujika, F. (2024) *Mecánica Aplicada*, (apuntes disponibles en) https://www.ehu.eus/es/web/mecmat/faustino-mujika.

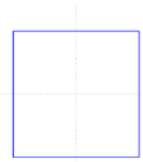
[4] Rodríguez, M. (2015) *Primeros pasos en Maxima*, (manual disponible en) https://maxima.sourceforge.io/docs/tutorial/es/max.pdf.

[5] Velten, K. (2009) *Mathematical Modeling and Simulation. Introduction for Scientists and Engineers*, Wiley-VCH.

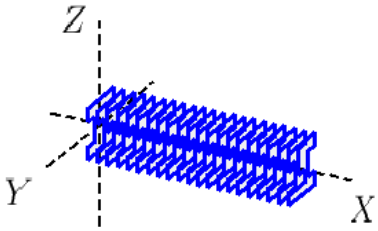
[6] Cálculo de muelles helicoidales. Tutorial 129, (documento en línea accesible en) https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn129.html

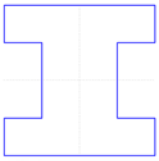
Figuras



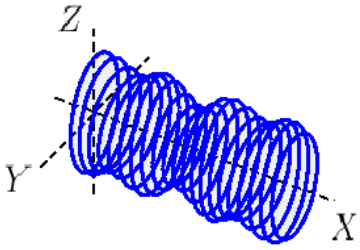


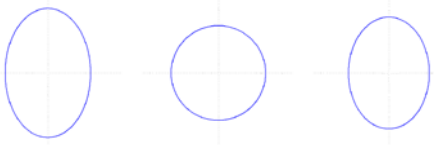
(a) Viga de sección rectangular





(b) Viga de sección doble T





(c) Viga de sección variable

Figura 1: Ejemplos de vigas (Realización propia)

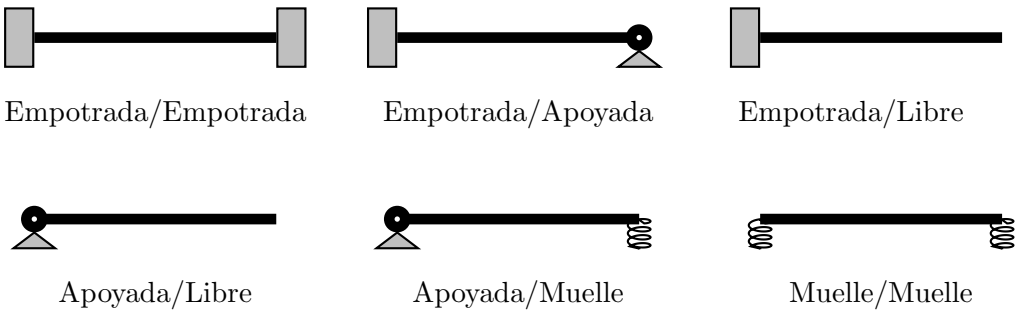


Figura 2: Diferentes condiciones de contorno en los extremos de una viga (Realización propia)

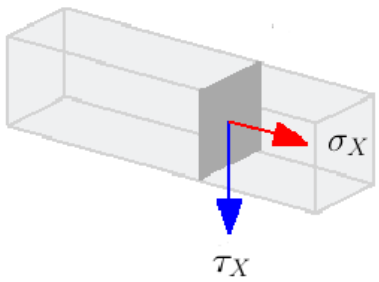


Figura 3: Tensiones internas en una sección (Realización propia)

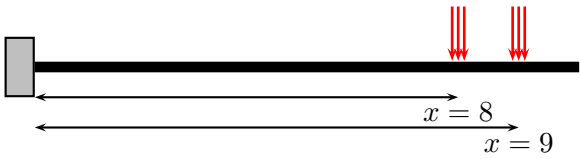
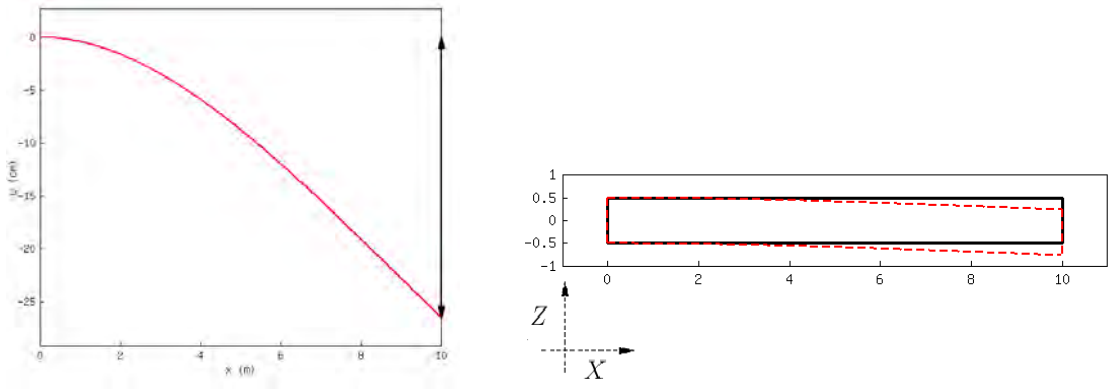


Figura 4: Viga empotrada/libre con carga asimétrica (Realización propia)



(a) Eje central (b) Vista lateral

Figura 5: Flexión viga de acero empotrada/libre con carga (Realización propia)

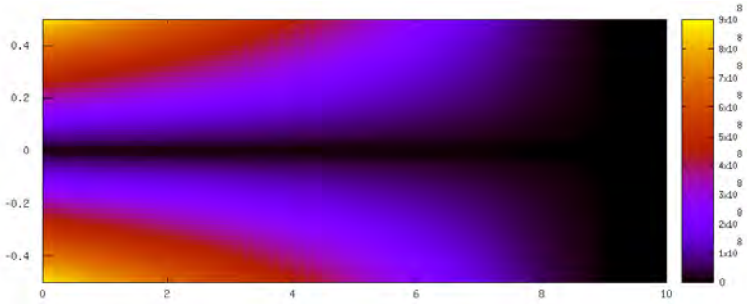


Figura 6: Tensión axial, $|\sigma_X|$, en las secciones transversales de una viga de acero empotrada/libre con carga (Realización propia)

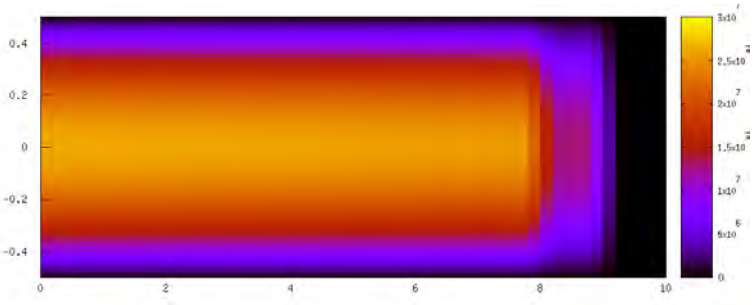
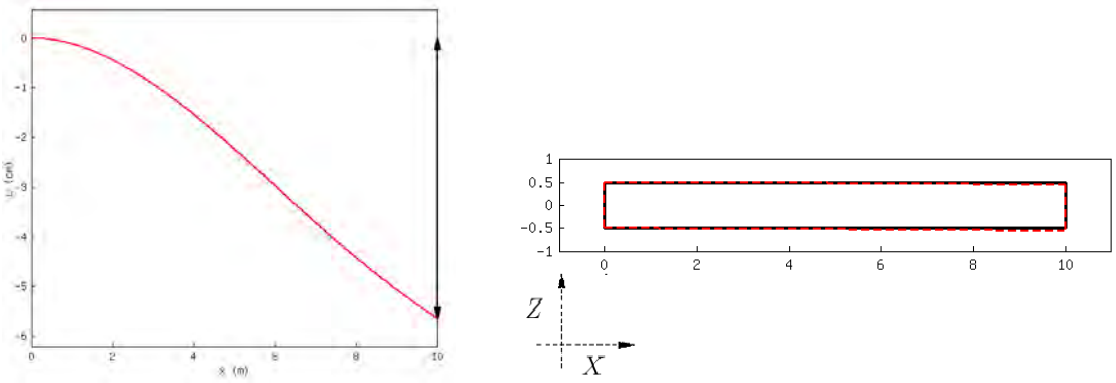


Figura 7: Tensión de cizalladura, $|\tau_X|$, en las secciones transversales de una viga de acero empotrada/libre con carga (Realización propia)



(a) Eje central (b) Vista lateral

Figura 8: Flexión viga de acero empotrada/muelle con carga (Realización propia)

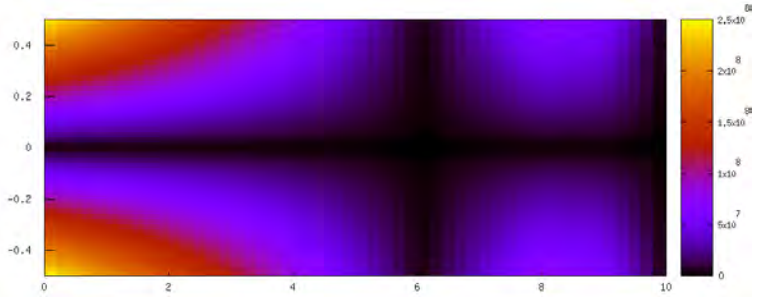


Figura 9: Tensión axial, $|\sigma_X|$, en las secciones transversales de una viga de acero empotrada/muelle con carga (Realización propia)

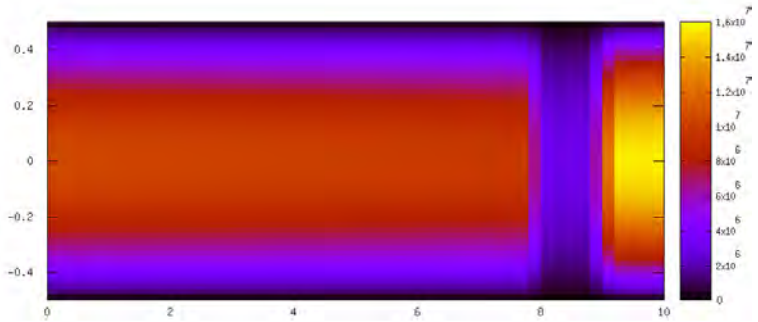


Figura 10: Tensión de cizalladura, $|\tau_X|$, en las secciones transversales de una viga de acero empotrada/muelle con carga (Realización propia)

Título del trabajo:

Pérdida de las capacidades cognitivas. ¿Cómo nos afectan las nuevas tecnologías?

Autor (nombre y apellidos del alumno o alumnos) Curso Académico y Nivel

Jesús Meseguer Belmonte. Curso 25/26. 2º de Bachillerato

Datos de Tutor:

Jesús Carrillo González. Profesor de Biología y Geología. IES Floridablanca.

Centro docente:

IES Floridablanca

Índice con los epígrafes de los trabajos y su paginación

Resumen del tema a desarrollar / Abstract — pág. 3

1. Introducción — pág. 4

2. Antecedentes y estado de la cuestión — pág. 4
   2.1 Contexto histórico — pág. 4
   2.2 Investigaciones previas — pág. 4

3. Hipótesis de trabajo y objetivos de la investigación — pág. 5

4. Materiales y métodos — pág. 5

5. Resultados — pág. 5
   5.1 Uso de la calculadora y cálculo mental — pág. 5
   5.2 Uso del GPS y orientación — pág. 5
   5.3 Uso digital para escribir y número de faltas — pág. 6
   5.4 Visión global de los resultados — pág. 6

6. Conclusiones — pág. 6

7. Agradecimientos — pág. 7

8. Bibliografía — pág. 7

9. Anexo — pág. 9

Resumen del Tema a desarrollar (250 palabras máximo, en castellano)

Actualmente, el uso de tecnologías forma parte de nuestra vida cotidiana, transformando la forma en que las personas procesan la información y realizan tareas cognitivas básicas. Este estudio analiza la relación entre el uso de dispositivos tecnológicos y el posible deterioro de tres capacidades cognitivas fundamentales: cálculo mental, escritura y orientación espacial.

Se empleó una metodología cuantitativa de tipo correlacional basada en encuestas y pruebas aplicadas a una muestra de 72 estudiantes de educación secundaria y bachillerato. Las variables independientes fueron el grado de uso de herramientas tecnológicas (calculadora, GPS y dispositivos digitales para escribir), mientras que las variables dependientes corresponden a los resultados obtenidos en pruebas de cálculo mental, orientación y escritura.

Los resultados muestran una relación negativa entre el uso frecuente de la calculadora y el rendimiento en cálculo mental, así como una relación positiva entre el uso de dispositivos digitales para escribir y el número de errores ortográficos. En cambio, no se encontró una relación significativa entre el uso del GPS y la capacidad de orientación.

Estos hallazgos sugieren que el uso intensivo de determinadas tecnologías puede estar asociado a un menor desarrollo o práctica de algunas habilidades cognitivas, aunque esta relación no es uniforme en todos los casos. Se concluye la necesidad de fomentar un uso equilibrado de la tecnología, especialmente en el ámbito educativo, para evitar la posible pérdida de capacidades cognitivas fundamentales.

Resumen del Tema en inglés (250 palabras)

Currently, the use of technology is part of our daily lives, transforming the way people process information and perform basic cognitive tasks. This study analyzes the relationship between the use of technological devices and the possible deterioration of three fundamental cognitive abilities: mental calculation, writing, and spatial orientation.
A quantitative correlational methodology was employed, based on surveys and tests applied to a sample of 72 secondary school and high school students. The independent variables were the degree of use of technological tools (calculator, GPS, and digital writing devices), while the dependent variables corresponded to the results obtained in tests of mental calculation, orientation, and writing.
The results show a negative relationship between frequent calculator use and performance in mental calculation, as well as a positive relationship between the use of digital writing devices and the number of spelling errors. In contrast, no significant relationship was found between GPS use and spatial orientation ability.
These findings suggest that the intensive use of certain technologies may be associated with reduced development or practice of some cognitive skills, although this relationship is not consistent in all cases. The study concludes that it is necessary to promote a balanced use of technology, especially in the educational context, in order to prevent the potential loss of fundamental cognitive abilities.

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1. Introducción

En las últimas décadas, el desarrollo de las tecnologías digitales ha provocado una transformación profunda en la forma en que los seres humanos interactúan con su entorno, procesan la información y llevan a cabo tareas cotidianas. Dispositivos como teléfonos móviles, ordenadores portátiles y asistentes virtuales han pasado de ser simples herramientas de apoyo a convertirse en elementos prácticamente integrados en la vida diaria. Como consecuencia, muchas actividades que anteriormente requerían un esfuerzo cognitivo significativo, como orientarse, realizar cálculos mentales, escribir correctamente o memorizar información, han sido progresivamente delegadas en aplicaciones digitales como GPS, calculadoras y correctores automáticos. Este cambio ha generado un intenso debate en ámbitos como la educación, la psicología y la neurociencia acerca de si el uso intensivo de estas tecnologías contribuye al desarrollo de habilidades cognitivas superiores o, por el contrario, está favoreciendo un deterioro progresivo de capacidades básicas. La motivación de este trabajo surge precisamente de esta problemática, ya que resulta necesario comprender hasta qué punto la comodidad y eficiencia que ofrecen las herramientas digitales pueden estar afectando a la autonomía cognitiva de las personas. En un contexto especialmente relevante como el educativo, donde los estudiantes crecen rodeados de tecnología desde edades tempranas, se plantea la necesidad de analizar cómo lograr un equilibrio entre el aprovechamiento de los avances tecnológicos y el mantenimiento de habilidades mentales fundamentales que sustentan el aprendizaje significativo y el pensamiento crítico.

2. Antecedentes y estado de la cuestión

2.1. Contexto histórico

Las capacidades cognitivas humanas, como la orientación, el cálculo y la escritura, han evolucionado a lo largo de la historia en estrecha relación con el desarrollo de herramientas tecnológicas. En las sociedades antiguas, estas habilidades eran esenciales para la supervivencia y la organización social: la orientación se basaba en la observación del entorno y de los astros, el cálculo se realizaba mediante sistemas rudimentarios como el conteo o el ábaco, y la escritura se desarrolló progresivamente desde pictogramas hasta sistemas complejos que permitieron la transmisión del conocimiento. Con el paso del tiempo, avances como la brújula, la imprenta, la calculadora mecánica o los primeros ordenadores fueron transformando estas capacidades, facilitando las tareas pero también modificando la forma en que se ejercitaban. En la actualidad, la revolución digital ha llevado este proceso a un nuevo nivel, caracterizado por la sustitución masiva de funciones cognitivas en dispositivos tecnológicos. Este cambio ha dado lugar a una "sociedad red", en la que la tecnología no solo facilita la vida cotidiana, sino que también influye directamente en la manera de pensar, aprender y relacionarse con el entorno.

2.2. Investigaciones previas

Las investigaciones científicas han abordado el impacto de la tecnología en las capacidades cognitivas desde diferentes perspectivas. Por un lado, estudios como el del "efecto Google" de Sparrow, evidencian que las personas tienden a recordar menos información cuando saben que pueden acceder a ella fácilmente en internet, lo que plantea dudas sobre la memoria y el pensamiento crítico. Por otro lado, investigaciones como las de Hartley han demostrado que el entrenamiento cognitivo de la orientación, como en el caso de los taxistas, fortalece estructuras cerebrales relacionadas con la memoria espacial, lo que sugiere que la falta de uso puede tener el efecto contrario. En el ámbito educativo, investigaciones como las de Boaler señalan que el uso excesivo de herramientas digitales puede limitar la comprensión profunda y el razonamiento matemático. Asimismo, estudios sobre la escritura, como los de Berninger, indican que escribir a mano activa más áreas cerebrales que el uso del teclado, favoreciendo un aprendizaje más significativo. Investigaciones más recientes también han confirmado que el uso frecuente de tecnologías como el GPS o los correctores automáticos puede afectar a la orientación espacial y a la competencia lingüística. No obstante, algunos estudios destacan que estos efectos varían según las diferencias individuales, lo que indica que el impacto de la tecnología no es uniforme y depende del uso que cada persona haga de ella.

A partir de este marco histórico y científico, la presente investigación plantea analizar cómo el uso cotidiano de las tecnologías digitales influye en el desarrollo y mantenimiento de estas capacidades cognitivas. Se parte de la idea de que, aunque la tecnología ofrece ventajas evidentes, su uso continuado puede generar cambios significativos en la forma en que las personas procesan la información. En este sentido, se busca comprender mejor el equilibrio entre los beneficios y los posibles efectos negativos derivados de la dependencia tecnológica.

3. Hipótesis de trabajo y objetivos de la investigación

Hipótesis: Existe una relación entre el uso excesivo de los dispositivos tecnológicos y el deterioro de capacidades cognitivas como la orientación, el cálculo y la escritura.

El objetivo principal del trabajo es estudiar la relación entre el uso excesivo de dispositivos tecnológicos y el deterioro de las capacidades cognitivas fundamentales como la orientación, el cálculo y la escritura. Para ello, se plantean los siguientes objetivos específicos:

Evaluar el posible deterioro de las capacidades cognitivas mediante encuestas y diversas pruebas.

Determinar en qué medida los adolescentes dependen de los dispositivos tecnológicos para procesos cognitivos como la escritura, el cálculo mental y la orientación.

Tras plantear estos objetivos se postuló la siguiente hipótesis: Existe un deterioro cognitivo significativo entre quienes utilizan frecuentemente herramientas tecnológicas para resolver tareas cotidianas.

4. Materiales y métodos

Para abordar el fenómeno de la pérdida de capacidades cognitivas asociado al uso de la tecnología, se diseñó una metodología cuantitativa-correlacional basada en encuestas y pruebas cognitivas, con el objetivo de recoger datos sobre percepciones, comportamientos y habilidades de los participantes con la tecnología, relacionando sus resultados con las pruebas de cálculo, orientación y escritura. El análisis se estructuró a partir de dos tipos de variables: las variables independientes, correspondientes al porcentaje de uso de distintas herramientas tecnológicas (calculadora, GPS y la escritura digital), y las variables dependientes, resultados en la prueba de cálculo mental, orientación y el número de faltas ortográficas en un dictado. El proceso de investigación se desarrolló en cuatro fases secuenciales: primero, una revisión bibliográfica para establecer el marco teórico; segundo, el diseño de los instrumentos de evaluación (encuestas mediante Google Forms con escalas Likert y pruebas cognitivas específicas), realizando a cada participante 3 encuestas con 10 preguntas acerca del uso de las tecnologías (una para la calculadora, otra para el GPS y otra para el uso de escritura digital) (ANEXO figuras I, II, III), y se hicieron 3 tipos diferentes de pruebas, siendo una de cálculo mental con 12 operaciones mentales, otra de orientación con 7 preguntas de múltiple opción y otra de escritura a través de un dictado; tercero, la recolección de datos en una muestra aleatoria de 72 estudiantes del IES Floridablanca (cuatro grupos de 1º de Bachillerato y uno de 4º de la ESO); finalmente, un análisis descriptivo y correlacional mediante gráficos de dispersión e histogramas. Este enfoque permitió cuantificar la relación entre la dependencia tecnológica y el rendimiento de las capacidades cognitivas, aportando información valiosa para futuras investigaciones y para orientar posibles intervenciones educativas.

5. Resultados

En el análisis de resultados se examina la relación existente entre el uso de distintas herramientas tecnológicas y las capacidades cognitivas, utilizando porcentajes de uso de los dispositivos tecnológicos, las calificaciones en pruebas y el número de errores en la prueba de escritura. En todos los casos, es importante tener en cuenta que los resultados muestran correlaciones y no permiten establecer relaciones de causa-efecto.

5.1. Uso de la calculadora y cálculo mental

El análisis muestra que cuanto más se utiliza la calculadora, peores suelen ser los resultados en cálculo mental. Las personas con un menor uso de esta herramienta obtienen generalmente mejores notas, mientras que quienes dependen más de ella presentan puntuaciones más bajas. Esto sugiere que el uso frecuente de la calculadora podría reducir la práctica del cálculo mental (ANEXO, figura IV).

El uso de la calculadora refleja que la mayoría de los participantes se concentra en valores medios y altos de uso, lo que indica una dependencia relativamente elevada de esta herramienta para la realización de operaciones matemáticas. Además, el histograma de los resultados de la prueba de cálculo mental muestran que las notas altas y bajas son menos frecuentes y que predominan notas medias (ANEXO, figuras V, IV).

5.2. Uso del GPS y orientación

En este caso no se observa una relación clara entre el uso del GPS y la capacidad de orientación. Los resultados son muy variados, ya que personas con un uso similar del GPS obtienen puntuaciones muy diferentes. Esto indica que la orientación depende más de otros factores, como la experiencia o las estrategias personales (ANEXO, figura VII).

El histograma del uso del GPS muestra que la mayoría de los participantes se sitúa en valores intermedios de uso, mientras que el histograma de los resultados de orientación presenta una distribución relativamente equilibrada, con predominio de puntuaciones medias y altas. Esto indica que, a pesar del uso habitual del GPS, muchas personas mantienen una capacidad de orientación adecuada (ANEXO, figuras VIII, IX).

5.3. Uso digital para escribir y número de faltas

Los resultados muestran que un mayor uso del ordenador para escribir se relaciona con un mayor número de faltas ortográficas. Las personas que utilizan más herramientas digitales suelen cometer más errores en dictados, posiblemente debido a la dependencia de los correctores automáticos (ANEXO, figura X).

El histograma del uso digital para escribir muestra una concentración de participantes en valores medios y altos, lo que refleja, el uso generalizado de esta herramienta en tareas de escritura. Por otro lado, el histograma del número de faltas evidencia que, la mayoría de los participantes comete un número reducido de errores, entre 1 y 4 errores (ANEXO, figuras XI, XII).

5.4. Visión global de los resultados

En conjunto, los datos indican que cada herramienta tecnológica influye de forma distinta en las habilidades analizadas. La calculadora presenta una relación negativa con el cálculo mental, el GPS no parece afectar a la orientación y el uso digital para escribir se relaciona con un aumento de faltas ortográficas. Sin embargo, estas conclusiones representan tendencias generales y no relaciones absolutas.

6. Conclusiones

Esta investigación analiza cómo el uso excesivo de dispositivos tecnológicos impacta en la orientación, el cálculo mental y la escritura, todo esto a través de una serie de encuestas y pruebas prácticas evaluando la dependencia de los participantes hacia las herramientas digitales y sus capacidades cognitivas reales.

Los resultados respaldan la hipótesis en ciertos aspectos y en otros no, ya que se pudo observar el deterioro de las capacidades cognitivas en el cálculo mental y escritura, pero en la orientación no. Se observó que una mayor dependencia de la calculadora se asocia con un peor desempeño en cálculo mental, y que el uso de correctores ortográficos en ordenadores coincide con un incremento en las faltas de ortografía. Por el contrario, el uso del GPS no mostró una relación directa con la capacidad de orientación, sugiriendo que esta última depende de factores externos como la experiencia personal. Además, también se pudo observar cómo se cumplieron todos los objetivos planteados, tanto en principal como los específicos.

Pese a estos resultados, la investigación tuvo una serie de limitaciones, como una muestra reducida, la subjetividad de las encuestas que genera inseguridad en los resultados (ocasionada ya que a veces los estudiantes no saben qué responder y lo hacen aleatoriamente), y finalmente, pruebas prácticas que resultaron demasiado sencillas debido a las altas calificaciones obtenidas, mostrando una dispersión de datos clara. Además, se centró solo en tres habilidades, dejando fuera otras capacidades cognitivas como la memoria o la atención, lo que abre futuras líneas de investigación para muestras más amplias con diversos rangos de edad, estudiando más capacidades cognitivas. También se recomienda para una futura investigación, hacer un estudio a largo plazo para saber si no es solo una correlación y saber si las tecnologías causan realmente el deterioro de nuestras capacidades.

En cuanto al marco ético y metodológico, el trabajo cumplió con las normas APA de citación y garantizó el anonimato de los participantes. Se realizó una prueba piloto para asegurar la claridad de los instrumentos y se mitigaron errores técnicos en el procesamiento de datos digitales. También, al hacer este trabajo, se usó la inteligencia artificial con cuidado y como ayuda, solo para buscar datos, organizar ideas y mejorar la claridad al escribir. La IA nunca reemplazó el pensar por cuenta propia, el análisis crítico de los datos, ni el escribir el contenido uno mismo, lo cual fue hecho por completo por el autor del estudio. Esto ayudó a que el trabajo fuera original y aseguró que las ideas finales muestren un pensar propio con sus respectivas bases.

En conclusión, el estudio data que, aunque la tecnología es beneficiosa, su abuso puede sustituir las capacidades cognitivas, evidenciando la necesidad de un uso equilibrado y consciente para preservar nuestras capacidades.

7. Agradecimientos

En el contexto de este estudio, deseo expresar mi sincero agradecimiento a aquellos individuos e instituciones cuya valiosa colaboración ha sido fundamental para el desarrollo y culminación de esta investigación.

En primer lugar, deseo extender mi gratitud al Sr. Jesús Carrillo González, quien desempeñó el rol de tutor de contenido, y a la Sra. Nieves Soriano Nieto, quien brindó orientación como tutora de Metodología de la Investigación II, por guiarme a lo largo de todo el proceso de investigación. Asimismo, debo agradecer a los profesores que me han dado la oportunidad de realizar las encuestas en horas lectivas como la Sra. María Dolores Martínez García y la Sra. Esther Larrosa Pérez. De igual manera, me gustaría agradecer a todas las personas que participaron en las encuestas, por dedicar su tiempo y compartir sus experiencias, sus respuestas fueron la clave para comprender mejor la realidad de este fenómeno y enriquecer el análisis

Por último, deseo expresar mi profundo agradecimiento a mis familiares y amigos, cuyo apoyo incondicional y ánimo constante han sido un sostén fundamental a lo largo de todo el proceso de elaboración de esta investigación. Su respaldo emocional ha sido verdaderamente invaluable.

8. Bibliografía

- Berninger, V. (2012) *Strengthening the mind's eye*. National Association of Elementary School Principals. Disponible en: https://openbooksopendoors.com/wp-content/uploads/2018/09/berninger-minds_eye_handwriting_2012.pdf (Accedido: 9 mayo 2026).

- Boaler, J. (2008) *What's Math Got to Do with It?* New York: Penguin Books.

- Сердалиева, Б. y Шарибаева, С. (2025) 'Errores gramaticales en la comunicación digital: causas, impacto y soluciones', *BalTIyskii Nauchnyi Tsentr*, 1(1), pp. 134–135. Disponible en: https://inlibrary.uz/index.php/btsircad/article/view/99455 (Accedido: 9 mayo 2026).

- Granados Ortiz, C. (2019) 'Dificultades de aprendizaje en la utilización de las calculadoras para el desarrollo del cálculo mental en la resolución de problemas aritméticos', *Enfoque Latinoamericano*, 2(1), pp. 57–68. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/341729739_Dificultades_de_aprendizaje_en_la_utilizacion_de_las_calculadoras_para_el_desarrollo_del_calculo_mental_en_la_resolucion_de_problemas_aritmeticos (Accedido: 9 mayo 2026).

- Hartley, T. (2003) 'Navigation expertise and the human hippocampus: a structural brain imaging analysis', *Hippocampus*, 13(2), pp. 250–259. doi: 10.1002/hipo.10087.

- Lee, G. (2023) *Sigamos siendo humanos: cómo recuperar las 12 habilidades esenciales que estás perdiendo a manos de la tecnología*. Barcelona: Diana.

- Lin, J. y Li, Y. (2024) 'Cognitive styles and GPS navigation: Effects of map orientation on wayfinding performance', *Applied Sciences*, 14(10), p. 4012. doi: 10.3390/app14104012.

- Mendoza Alonzo, D.R. (2018) *Ventajas y desventajas del uso de la calculadora en Matemática*. Tesis doctoral. Universidad Galileo. Disponible en: http://159.203.148.56/xmlui/handle/123456789/896 (Accedido: 9 mayo 2026).

- Oliva, J. (2012) 'El impacto de la tecnología en la gramática'. *The Professional Writing Portfolio of Jon Oliva*. Disponible en: https://jonpoliva.wordpress.com/academic-works/articles/the-impact-of-technology-on-grammar/ (Accedido: 9 mayo 2026).

- Pew Research Center (2013) ‘Part III: Teachers see digital tools affecting student writing in myriad ways’. Pew Research Center. Disponible en: https://www.pewresearch.org/internet/2013/07/16/part-iii-teachers-see-digital-tools-affecting-student-writing-in-myriad-ways/ (Accedido: 9 mayo 2026).

- Sparrow, B., Liu, J. y Wegner, D.M. (2011) ‘Google effects on memory: Cognitive consequences of having information at our fingertips’, *Science*, 333(6043), pp. 776–778. doi: 10.1126/science.1207745.

- Tahang, H., Yuliana, A., Oratmangun, E., Syahira, S. y Shoheh, S. (2024) ‘Errores gramaticales de los estudiantes en el uso de las características lingüísticas al componer textos narrativos’, *JLE: Revista del Programa de Estudios de Educación Literaria en Inglés*, 5(1), pp. 31–48. Disponible en: https://www.journal.uiad.ac.id/index.php/jle/article/view/2945 (Accedido: 9 mayo 2026).

- Tian, Y., Zhao, Y., Lv, F., Qin, N. y Chen, P. (2021) ‘Associations among the Big Five personality traits, maladaptive cognitions, and internet addiction across three time measurements in 3 months during the COVID-19 pandemic’, *Frontiers in Psychology*, 12, p. 654825. doi: 10.3389/fpsyg.2021.654825.

ANEXO

Figura I

USO DE LA CALCULADORA		
ITEM	**MEDIA**	**DESVIACIÓN TÍPICA**
Cuando haces cuentas rápidas como calcular descuentos, ¿usas la calculadora?	1,35	0,47
Cuándo haces cuentas largas como calcular el dinero que has gastado en un mes, ¿usas la calculadora	1,17	0,37
Si te dan la opción de utilizar la calculadora en un ejercicio fácil de clase, ¿la utilizarías?	1,47	0,50
Si te dan la opción de utilizar la calculadora en un ejercicio difícil de clase, ¿la utilizarías?	1,04	0,2
En un examen, ¿utilizarías la calculadora?	1,01	0,12
Cuando haces tareas o trabajos con números, ¿siempre tienes una calculadora a mano?	1,38	0,48
Si vas de compras, ¿usas la calculadora para sumar los precios?	1,73	0,44
Si alguien te pide una cuenta rápida, ¿prefieres sacar la calculadora antes de responder?	1,72	0,45
¿Te resulta más rápido hacer cálculos con la	1,24	0,42

USO DE LA CALCULADORA		
ITEM	**MEDIA**	**DESVIACIÓN TÍPICA**
Cuando haces cuentas rápidas como calcular descuentos, ¿usas la calculadora?	1,35	0,47
Cuándo haces cuentas largas como calcular el dinero que has gastado en un mes, ¿usas la calculadora	1,17	0,37
Si te dan la opción de utilizar la calculadora en un ejercicio fácil de clase, ¿la utilizarías?	1,47	0,50
Si te dan la opción de utilizar la calculadora en un ejercicio difícil de clase, ¿la utilizarías?	1,04	0,2
calculadora, o hacerlo mentalmente?		

Figura II

USO DIGITAL PARA ESCRIBIR		
ITEM	**MEDIA**	**DESVIACIÓN TÍPICA**
Si tienes que redactar un texto largo, ¿prefieres hacerlo en formato digital?	1,42	0,49
¿Sueles tomar apuntes digitales en lugar de escribirlos a mano?	1,83	0,37
Cuando necesitas entregar un trabajo, ¿lo haces directamente en formato digital?	1,40	0,49
¿Te resulta más cómodo escribir con el	1,53	0,50

teclado que con papel y lápiz?		
¿Te cuesta mantener la letra entendible cuando escribes a mano?	1,78	0,42
¿Te parece más rápido escribir con el teclado que a mano?	1,32	0,47
¿Te sientes más organizado(a) al escribir en formato digital?	1,49	0,50
Si tienes que hacer una lista o tomar notas, ¿prefieres hacerlo digitalmente?	1,69	0,46
Cuando estudias o preparas un documento, ¿usas programas como Word o Google Docs?	1,26	0,44
Si te piden escribir algo extenso, ¿lo haces directamente en formato digital?	1,38	0,53

Figura III

USO DEL GPS		
ITEM	**MEDIA**	**DESVIACIÓN TÍPICA**
Si tienes que ir a un lugar nuevo, ¿prefieres usar una aplicación de GPS?	1,11	0,31
¿Sueles revisar la ruta de tu destino antes de salir de casa en una app de GPS?	1,43	0,50
¿Te resulta más cómodo seguir indicaciones del GPS que preguntar a alguien?	1,22	0,42

¿Te sientes inseguro(a) si tienes que llegar a un lugar sin GPS?	1,60	0,49
¿Te cuesta orientarte si no puedes usar el GPS?	1,63	0,48
¿Prefieres usar el GPS incluso en lugares que ya conoces?	1,92	0,28
¿Alguna vez te has perdido por no seguir el GPS?	1,42	0,50
Si visitas una nueva ciudad, ¿usas el GPS para moverte?	1,15	0,36
Cuando caminas, ¿usas el GPS para saber cuánto falta para llegar?	1,58	0,50
Sabes ubicar el norte, sur, este y oeste	1,51	0,49

Figura IV

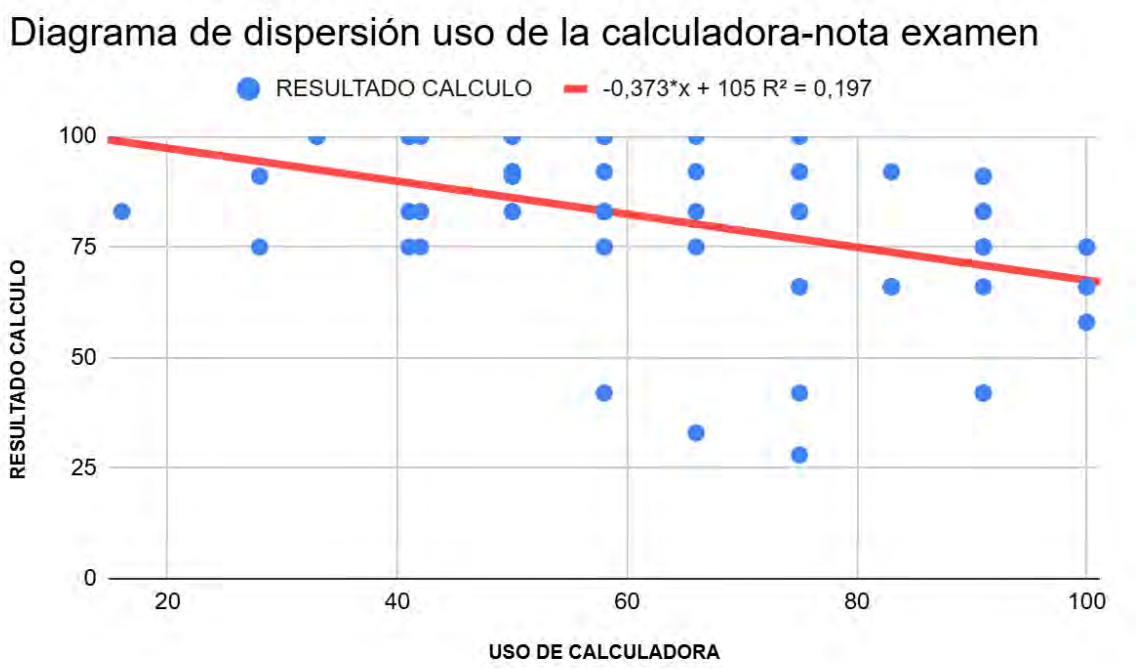


Figura V

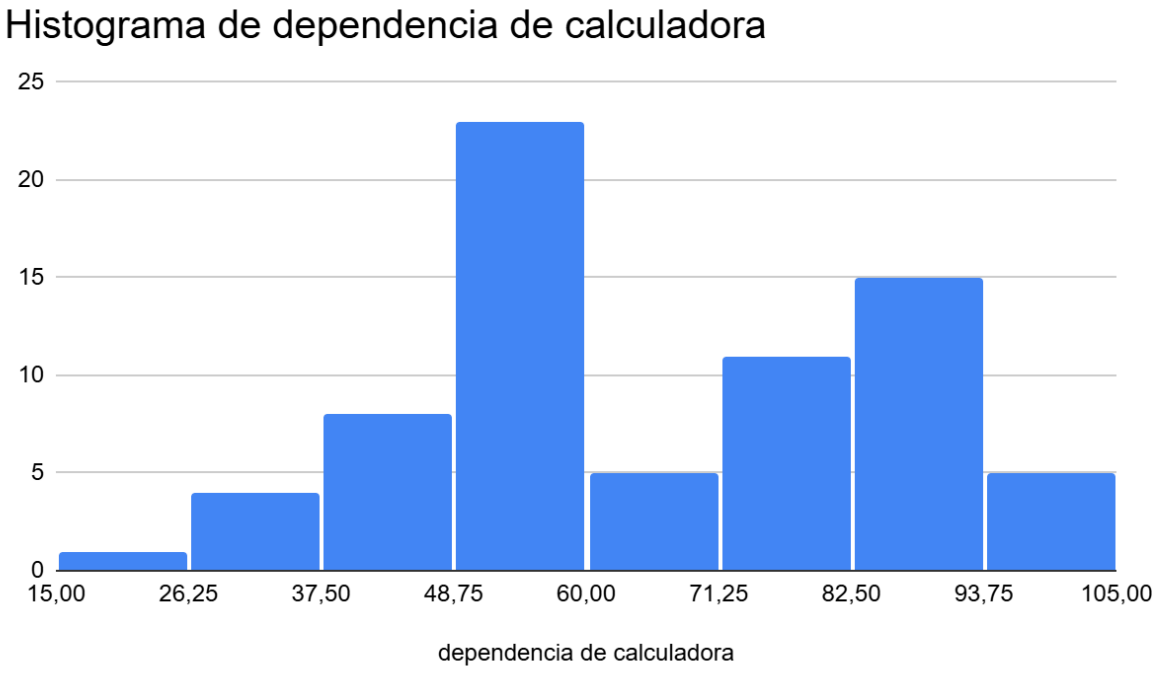


Figura VI

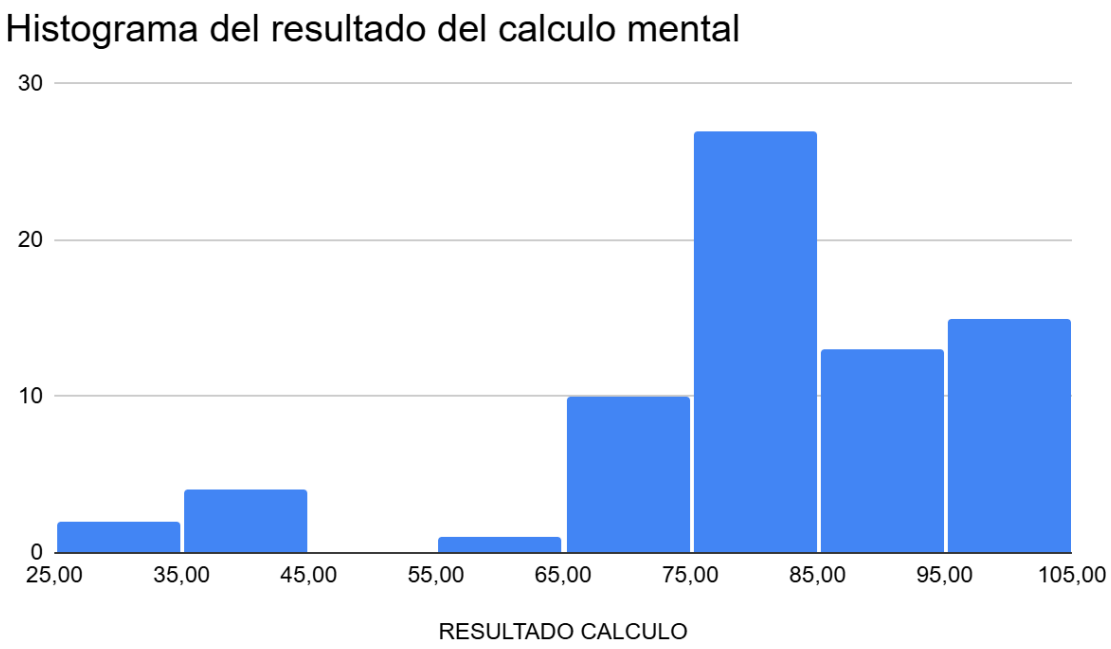


Figura VII

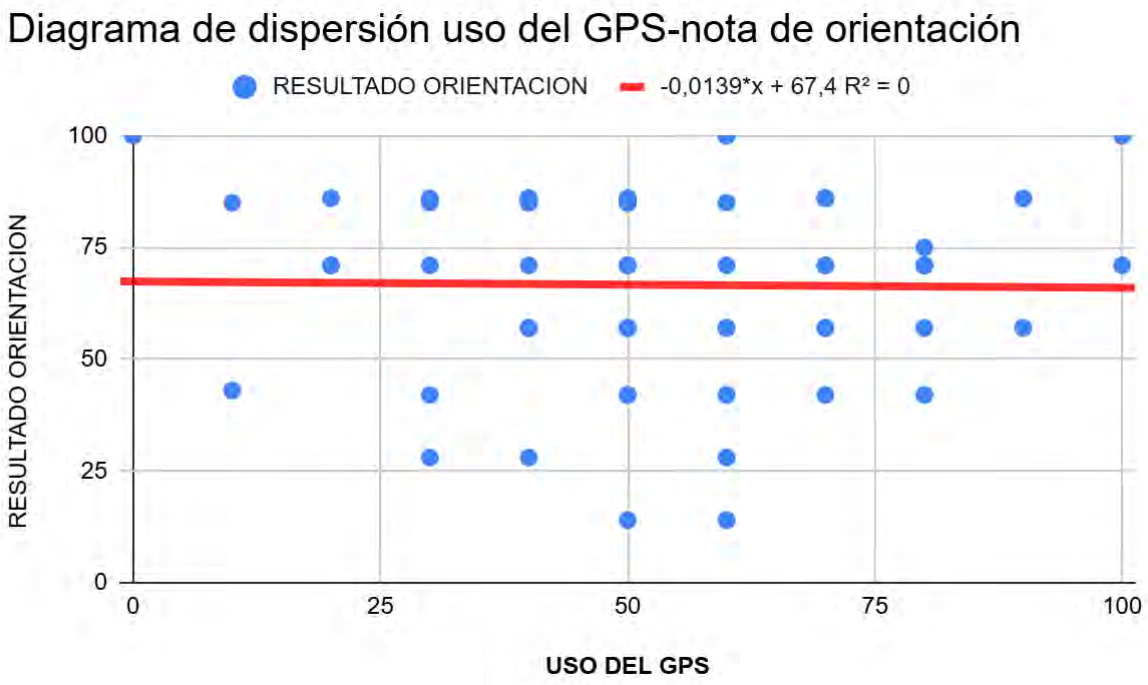


Figura VIII

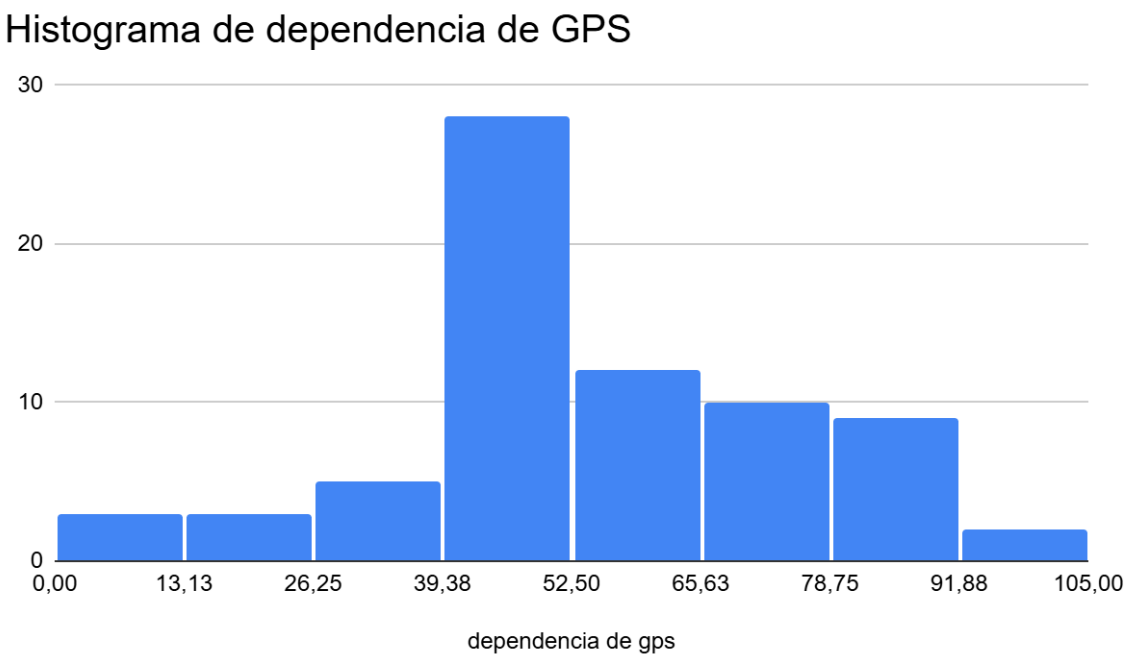


Figura IX

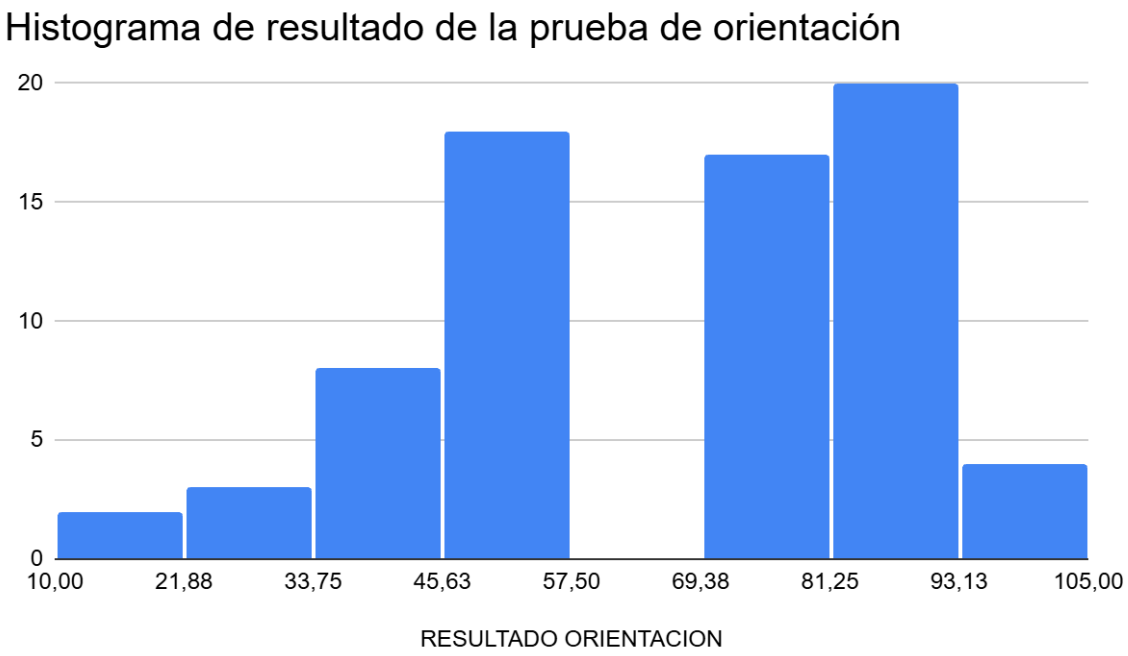


Figura X

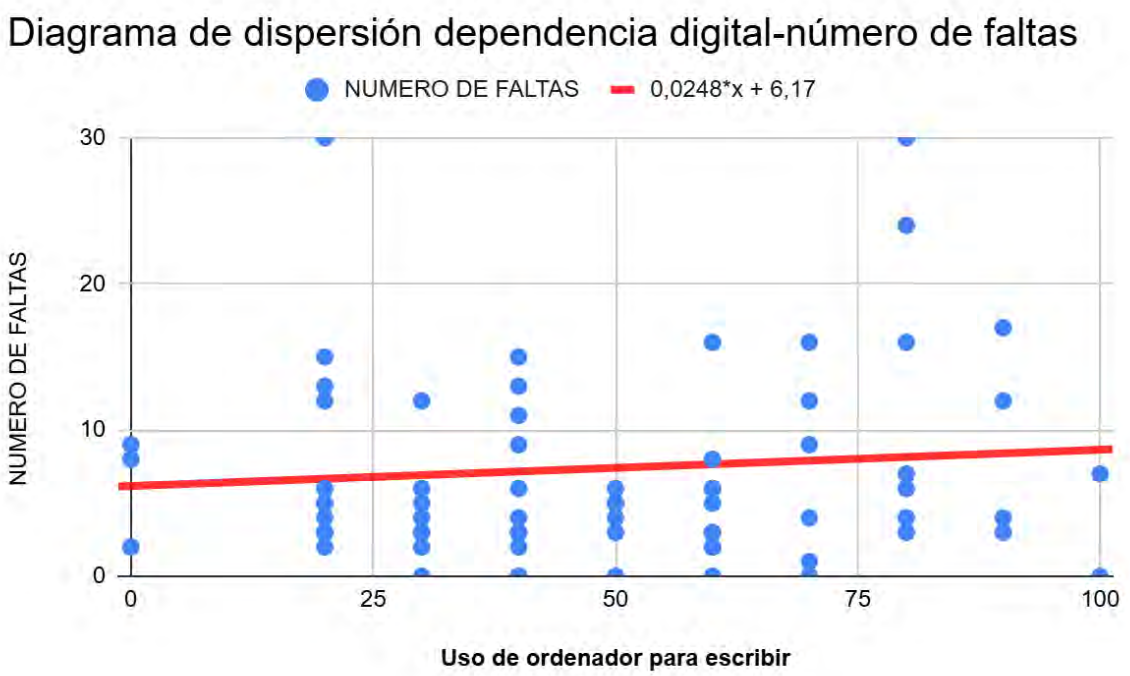


Figura XI

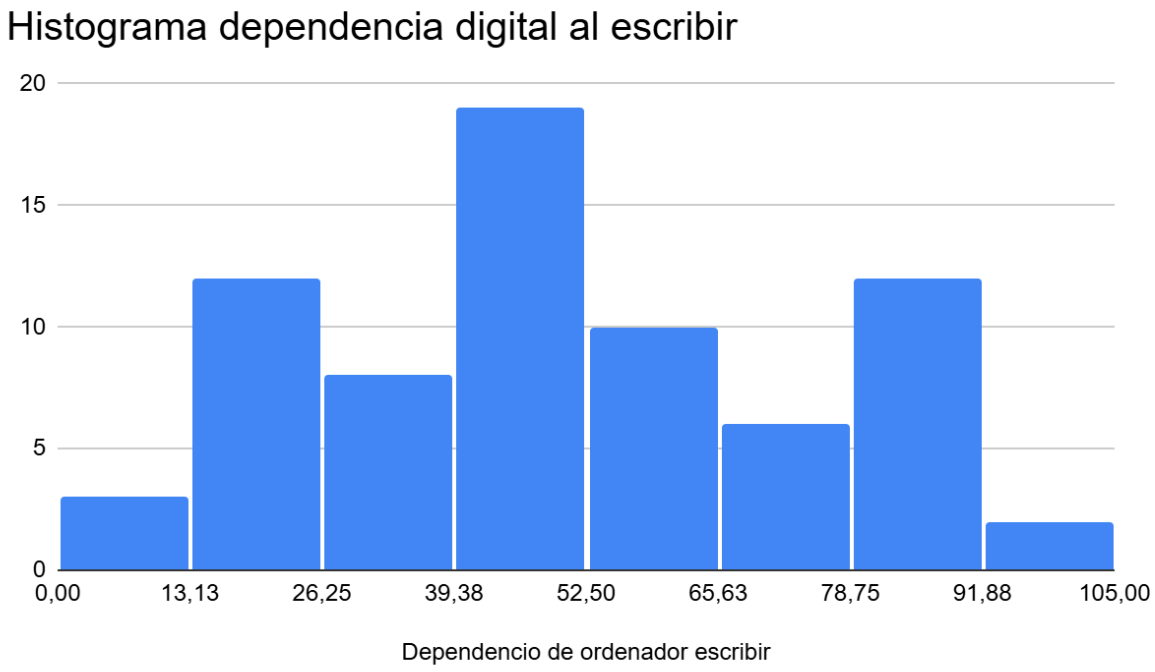
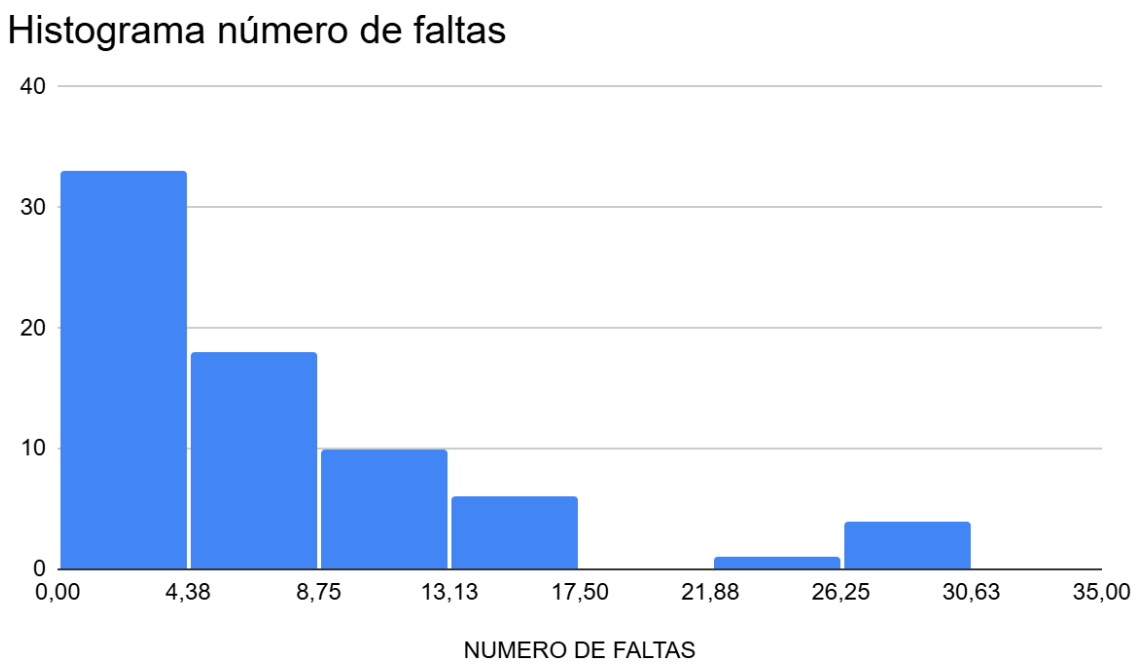


Figura XII



*(TODAS LAS FIGURAS HAN SIDO REALIZADOS POR EL AUTOR DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN)

Título del trabajo:

Los beneficios del *Fidgeting*

Autora (nombre y apellidos del alumno o alumnos) Curso Académico y Nivel

Irene Moreno Alonso. Curso 25/26. 2º de Bachillerato

Datos del Tutor:

Jesús Carrillo González. Profesor de Biología y Geología. IES Floridablanca.

Centro docente:

IES Floridablanca

Índice con los epígrafes de los trabajos y su paginación

Resumen del tema a desarrollar / Abstract — pág. 3

1. Introducción — pág. 4

2. Antecedentes y estado de la cuestión — pág. 4
    2.1 ¿Qué es el fidgeting? — pág. 4
    2.2 Tipos de fidgeting — pág. 4
    2.3 Efectos del fidgeting en personas con TDAH — pág. 4
    2.4 Beneficios del fidgeting en la salud — pág. 5

3. Hipótesis de trabajo y objetivos de la investigación — pág. 6

4. Materiales y métodos — pág. 6
    4.1 Participantes — pág. 6
    4.2 Diseño experimental — pág. 6
    4.3 Instrumentos de evaluación — pág. 6

5. Resultados — pág. 7

6. Conclusiones — pág. 8

7. Agradecimientos — pág. 8

8. Bibliografía — pág. 8

9. Anexo — pág. 10

Resumen del Tema a desarrollar (250 palabras máximo, en castellano)

Este trabajo de investigación analiza la relación entre el fidgeting —movimientos motores repetitivos de baja intensidad— y la capacidad de concentración en el ámbito escolar. A diferencia de la literatura tradicional que vincula estas conductas exclusivamente con el TDAH, este estudio amplía el foco a la totalidad del alumnado de educación secundaria (3º ESO a 1º Bachillerato). La investigación se fundamenta en la hipótesis de que el fidgeting actúa como una herramienta de autoestimulación para regular el nivel de alerta y mejorar el rendimiento cognitivo.
La metodología empleó un diseño experimental de dos fases: una primera de observación con libertad de movimiento y una segunda con restricción motora absoluta. Se aplicó una batería de pruebas neuropsicológicas (BTA, WAIS-III, Test de Benton y Test de la "A"). Los resultados globales muestran una variación mínima del 0,14% en el número total de errores entre ambas fases. Sin embargo, el análisis detallado revela que en pruebas de atención sostenida y vigilancia, la prohibición del movimiento incrementó significativamente la tasa de error (del 15% al 51%). Se concluye que, si bien el fidgeting no altera el rendimiento en todas las áreas cognitivas, desempeña un papel crucial en tareas que requieren vigilancia prolongada.

Resumen del Tema en inglés (250 palabras)

This research paper analyzes the relationship between "fidgeting"—low-intensity repetitive motor movements—and concentration levels within the school environment. Unlike traditional literature that links these behaviors almost exclusively to ADHD, this study expands the scope to the general student population in secondary education (grades 9th to 11th). The research is based on the hypothesis that fidgeting serves as a self-stimulation tool to regulate arousal levels and enhance cognitive performance.
The methodology utilized a two-phase experimental design: an initial observation phase with freedom of movement and a second phase with absolute motor restriction. A battery of neuropsychological tests was administered (BTA, WAIS-III, Benton Visual Retention Test, and "A" Test). Global results show a minimal variation of 0.14% in the total number of errors between both phases. However, detailed analysis reveals that in tasks involving sustained attention and vigilance, prohibiting movement significantly increased the error rate (from 15% to 51%). The study concludes that while fidgeting does not affect performance across all cognitive areas, it plays a crucial role in tasks requiring prolonged vigilance.

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1. Introducción

En el ámbito escolar es frecuente observar pequeños movimientos repetitivos realizados por el alumnado, como mover las piernas, jugar con un bolígrafo, golpear los dedos sobre la mesa o garabatear en un papel. Estas conductas, conocidas como fidgeting, suelen interpretarse como señales de nerviosismo, distracción o falta de interés. Sin embargo, investigaciones recientes han comenzado a cuestionar esta visión tradicional.

El interés por este tema surge de la observación cotidiana de dichos comportamientos dentro del aula y de la posibilidad de que no sean simples hábitos involuntarios, sino mecanismos relacionados con la autorregulación de la atención. Estudios previos han señalado que el movimiento corporal leve puede contribuir a mantener un nivel óptimo de activación fisiológica y cognitiva, especialmente en personas con TDAH (Hartanto et al., 2015).

Además de sus posibles implicaciones cognitivas, el fidgeting también ha sido relacionado con beneficios para la salud física, como la mejora de la circulación sanguínea y el aumento del gasto energético asociado al movimiento espontáneo (Levine, Schleusner y Jensen, 2000).

La motivación principal de esta investigación es analizar si estos movimientos tienen realmente una función útil dentro del contexto educativo y si podrían considerarse una herramienta de apoyo para la concentración y el aprendizaje. Para ello, se ha desarrollado un estudio experimental centrado en alumnado de educación secundaria y bachillerato.

2. Antecedentes y estado de la cuestión

2.1 ¿Qué es el fidgeting?

El fidgeting es un término inglés que, aunque no tiene una traducción exacta, hace referencia a pequeños movimientos repetitivos e involuntarios asociados a estados de ansiedad, nerviosismo, aburrimiento o concentración. Se manifiesta mediante acciones como mover las piernas o los dedos, jugar con un bolígrafo o garabatear en un papel. Aunque a simple vista pueden parecer movimientos sin utilidad, en realidad cumplen una función importante de autorregulación, ayudando a controlar el estrés, la ansiedad, el exceso de energía y a mantener la atención durante determinadas tareas o explicaciones.

La palabra proviene del verbo inglés to fidget, cuyo origen se remonta probablemente entre los siglos XV y XVI y se relaciona con términos que significaban “moverse nerviosamente” o “inquietarse”. Desde el siglo XVI se utilizaba para describir estados de inquietud, aunque su incorporación al ámbito psicológico se produjo especialmente entre los siglos XIX y XX, cuando comenzó a relacionarse con la hiperactividad, las neurosis y los trastornos de atención.

Uno de los primeros usos documentados del término en un contexto cercano a la psicología aparece en el estudio The Measure of Fidget de Francis Galton, publicado en 1885 en la revista Nature, donde observó que una audiencia aburrida realizaba aproximadamente un movimiento inquieto por minuto. Además, Charles Darwin mencionó los “fidgets” en The Expression of the Emotions in Man and Animals (1872) para referirse a movimientos corporales nerviosos, y el médico James Goodhart utilizó el término en 1891 para describir conductas de inquietud en pacientes ingleses. Desde finales del siglo XVIII también se relacionaba este comportamiento con niños que presentaban síntomas similares al actual TDAH.

2.2 Tipos de fidgeting

El fidgeting engloba movimientos pequeños, repetitivos e inconscientes que pueden clasificarse en movimientos corporales y manipulación de objetos. Entre los movimientos corporales más comunes se encuentran mover la pierna o el pie, tamborilear con los dedos, balancearse, manipular el cabello o la cara y caminar de forma repetitiva.

En cuanto a la manipulación de objetos, destacan acciones como hacer clic con un bolígrafo, girar anillos o lápices y garabatear. También existen juguetes específicos, conocidos como fidget toys, como los fidget spinners, cubos fidget, plastilinas moldeables, pelotas antiestrés y resortes.

Estos comportamientos pueden surgir como respuesta al aburrimiento, estrés o ansiedad, aunque también pueden funcionar como mecanismos de autorregulación que ayudan a mantener la atención y la concentración, especialmente en personas con TDAH.

2.3 Efectos del fidgeting en personas con TDAH

El TDAH se caracteriza por niveles clínicamente significativos de inatención, impulsividad e hiperactividad-motora, los cuales interfieren con el funcionamiento diario del individuo. Por ejemplo, se ha documentado que los

niños y adultos con TDAH presentan mayor variabilidad en los tiempos de reacción, dificultades en el control cognitivo y en sostener la atención.

Se ha visto la evidencia empírica que tienen los comportamientos propios del fidgeting en las personas con este diagnóstico, destacando dos estudios llevados a cabo de este ámbito realizados en dos tipos distintos de población.

Estudio en población infantil:

A trial-by-trial analysis reveals more intense physical activity is associated with better cognitive control performance in ADHD (Hartanto et al., 2016).

Este estudio examinó 44 niños entre 10 y 17 años, con diagnóstico de TDAH o desarrollo típico, midiendo su actividad motora mediante un dispositivo en el tobillo mientras realizaban una tarea de tipo flanker (control cognitivo). Los resultados mostraron que, en el grupo TDAH, los ensayos con un mejor resultado se asociaron con mayor intensidad de movimiento que los ensayos erróneos, mientras que ese patrón no se observó en el grupo típico.

Estudio en población adulta:

A quantitative analysis of fidgeting in ADHD and its relation to performance and sustained attention on a cognitive task (Son et al., 2024)

Este estudio involucró 70 adultos con diagnóstico de TDAH (18-50 años) y midió fidgeting mediante dispositivos de actigrafía (muñeca y tobillo) durante la realización de la tarea flanker. Los principales hallazgos fueron:

Se observó mayor fidgeting en ensayos con un mejor resultado, lo que sugiere una asociación entre fidgeting y mejor desempeño en la tarea.

Las diferencias en fidgeting entre los primeros ensayos y los últimos sugieren que el fidgeting podría jugar un papel en la atención sostenida a lo largo del tiempo de la tarea.

Se podría concluir que el fidgeting podría funcionar como un mecanismo compensatorio para personas con TDAH, ayudando a sostener la atención en tareas que exigen control cognitivo.

2.4 Beneficios del fidgeting en la salud

El término Non-exercise activity thermogenesis (NEAT) engloba la energía gastada en actividades no estructuradas, que incluye el fidgeting. Como señalan James A. Levine, Sara J. Schleusner y Michael D. Jensen (2000), en su estudio “Energy expenditure of non-exercise activity” (2000) observaron que el gasto energético durante movimientos de tipo fidgeting mientras se está sentado se incrementó un 54 % frente a estar sentado inmóvil.

Esto sugiere que, aunque el fidgeting es de intensidad baja, su efecto acumulativo puede tener relevancia en el balance energético y por lo tanto en el control del peso corporal. Estudios de revisión señalan que las variaciones interindividuales en NEAT pueden explicar diferencias significativas en la ganancia de peso.

Así, el fidgeting puede considerarse como una estrategia pasiva de aumento del gasto calórico, lo que podría tener implicaciones en el manejo de la obesidad o la prevención del aumento ponderal.

Salud vascular y función endotelial

El comportamiento de fidgeting también ha sido evaluado como contramedida frente a los efectos adversos del sedentarismo, especialmente del estar sentado de forma prolongada. En el estudio de Takuma Morishima et al. (2016) “Prolonged sitting-induced leg endothelial dysfunction is prevented by fidgeting”, se encontró que al permanecer 3 horas sentado, una pierna que permanecía inmóvil mostró deterioro de la dilatación mediada por flujo (FMD) de la arteria poplítea, mientras que la otra pierna, que realizó movimientos de fidgeting intermitentes (1 min de movimiento / 4 min de reposo) mejoró su FMD.

Este hallazgo indica que incluso pequeños movimientos de las extremidades inferiores pueden generar suficiente estímulo de flujo sanguíneo para preservar la función endotelial en condiciones de sedentarismo. Es decir, el fidgeting tiene un efecto protector vascular en contextos de inmovilidad prolongada.

Metabolismo glucémico y respuestas postprandiales

Más recientemente, el fidgeting ha sido examinado en población con obesidad para evaluar sus efectos en el metabolismo glucémico. En el estudio de Ryan J. Pettit-Mee, Sean T. Ready, Jaume Padilla y Jill A. Kanaley (2021), “Leg fidgeting during prolonged sitting improves postprandial glycemic control in people with obesity”, se observó que los sujetos que realizaron fidgeting en las piernas mientras estaban sentados tras una carga de glucosa mostraron menores valores de área bajo la curva tanto de glucosa como de insulina.

Esto plantea que el fidgeting podría contribuir a mejorar la sensibilidad metabólica, particularmente en condiciones de riesgo.

Mortalidad y comportamiento sedentario

Otro aspecto relevante es la asociación entre fidgeting, tiempo de sedentarismo y mortalidad. En el estudio de Gareth Hagger-Johnson et al. (2016) “Sitting time, fidgeting and all-cause mortality in the UK Women 's Cohort Study” se investigó cómo los niveles de fidgeting podrían moderar el riesgo asociado al tiempo prolongado de estar sentado. Aunque el diseño es observacional y no puede determinar causalidad, los resultados apuntan a que un mayor fidgeting podría mitigar en cierta medida los riesgos del sedentarismo prolongado.

Este hallazgo refuerza la idea de que el fidgeting no es un mero comportamiento anecdótico, sino que puede tener implicaciones de salud de amplio alcance.

En conjunto, los estudios analizados sugieren que el fidgeting tiene efectos saludables en las personas que lo realizan.

3. Hipótesis de trabajo y objetivos de la investigación

La hipótesis principal de esta investigación plantea que el fidgeting puede contribuir a mejorar la concentración y la atención sostenida en el alumnado.

Objetivo principal:

Analizar la relación entre el fidgeting y la concentración dentro del aula.

Objetivos específicos:

Estudiar cómo afecta la restricción del movimiento a la atención de los estudiantes.

Determinar si existen diferencias en el rendimiento de distintas pruebas cognitivas cuando se permite o se limita el fidgeting.

Analizar qué tipos de movimientos son más frecuentes en el alumnado observado

4. Materiales y métodos

4.1 Participantes

La muestra estuvo formada por estudiantes de 3º y 4º de Educación Secundaria Obligatoria y 1º de Bachillerato del IES Floridablanca. En total participaron 33 alumnos seleccionados tras una fase inicial de observación conductual en el aula.

Durante dicha observación se identificaron distintos comportamientos asociados al fidgeting, como movimiento continuo de piernas, manipulación de bolígrafos, garabateo o juego con el cabello.

4.2 Diseño experimental

La investigación se desarrolló mediante un diseño experimental de dos fases.

En la primera fase, los alumnos realizaron las pruebas de manera habitual, sin restricciones de movimiento. En la segunda fase, realizada dos semanas después, se les indicó que debían evitar cualquier movimiento relacionado con el fidgeting.

Las pruebas se realizaron en sesiones de aproximadamente 45 minutos y en ambos casos se aplicaron los mismos tipos de ejercicios, aunque con contenidos diferentes para evitar la memorización directa.

4.3 Instrumentos de evaluación

Para evaluar la atención y la concentración de los alumnos se utilizaron distintas pruebas neuropsicológicas adaptadas al trabajo grupal y a la limitación de tiempo.

El BTA o Test Breve de Atención evalúa la memoria de trabajo y la capacidad de atención mediante listas de letras y números que los alumnos debían separar mentalmente. Debido al tiempo disponible, se redujo la prueba a cinco listas por apartado, denominadas “Números”, “Números 2”, “Letras” y “Letras 2”.

La prueba de dígitos directos e indirectos del WAIS-III analiza la memoria inmediata, la concentración y la atención ejecutiva. Los estudiantes debían repetir series de números en orden directo o inverso. La prueba se adaptó leyendo 10 series de entre tres y seis dígitos para poder realizarla colectivamente, identificándose en el análisis como “Test números” y “Test números 2”.

El Test de la “A” evalúa la atención sostenida y la vigilancia. Originalmente consistía en reaccionar al escuchar una letra concreta, pero se modificó para que los alumnos escribieran la letra objetivo cada vez que aparecía. En la primera prueba se utilizó la letra A y en la segunda la letra E, permitiendo analizar omisiones y confusiones.

El Test de Retención Visual de Benton mide la memoria visual y la percepción visoespacial mediante la reproducción de figuras observadas durante unos segundos. Debido al gran número de participantes, todos los tipos de error se contabilizaron conjuntamente. Las pruebas se identificaron como “Figuras” y “Figuras 2”.

Por último, la prueba de matrices de números, basada en el modelo de Benton, evaluó la memoria visual y la atención sostenida. Los alumnos debían recordar la posición de números en una cuadrícula tras observarla durante

siete segundos. Para simplificar el procedimiento, únicamente tenían que identificar un número concreto señalado posteriormente. Estas pruebas se denominaron “Recuadro” y “Recuadro 2”.

5. Resultados

Tras la realización de las pruebas y la corrección de todas las respuestas obtenidas, se analizaron los resultados de los 33 alumnos participantes en el estudio. El análisis se dividió en dos partes: un análisis global de errores entre ambas condiciones experimentales y un análisis específico de cada prueba realizada.

En la primera prueba, realizada permitiendo a los estudiantes moverse libremente y realizar comportamientos de fidgeting, se registraron un total de 317 errores. En la segunda prueba, en la que se restringieron los movimientos corporales y se controló el comportamiento de los participantes, se registraron 315 errores.

Apartado	Fallos	% sobre total (632)
TOTAL TEST 1	317	50,14%
TOTAL TEST 2	315	49,86%
TOTAL GLOBAL	632	100%

La diferencia entre ambas pruebas fue únicamente de dos errores, equivalente a una variación del 0,14 %. Estos resultados muestran que, de forma general, la presencia o ausencia de fidgeting no produjo cambios significativos en el rendimiento cognitivo de los participantes.

Con el objetivo de realizar un análisis más detallado, se calculó el porcentaje de error de cada prueba en relación con el número total de ejercicios realizados.

		Prueba 1		Prueba 2	
Apartado	**Ejercicios**	**Fallos**	**% Error**	**Fallos**	**% Error**
Números	5	20	20 / 165 ≈ 12,12 %	11	11 / 165 ≈ 6,67 %
Letras	6	48	48 / 165 ≈ 29,09 %	48	48 / 165 ≈ 29,09 %
Test números	10	95	95 / 330 ≈ 28,79 %	102	102 / 330 ≈ 30,91 %
Letra A	1	5	5 / 33 ≈ 15,15 %	17	17 / 33 ≈ 51,52 %
Figuras	8	67	67 / 264 ≈ 25,38 %	55	55 / 264 ≈ 20,83 %
Recuadro	5	82	82 / 165 ≈ 49,70 %	82	82 / 165 ≈ 49,70 %

Gracias al segundo análisis, se puede ver que los apartados “Letras” y “Recuadro” mantienen el mismo porcentaje de fallos en ambos test. Otros, como “Letra A” tienen una variación significativa de 12 fallos más en el segundo test, y “Números” tiene una disminución de 9 fallos en el segundo test.

La prueba con mayor porcentaje de fallo es “Letra A” de la segunda prueba, y la que menor porcentaje de fallo tiene es la prueba “Números” de la segunda prueba también.

Los resultados de los parámetros analizados nos dan a entender que no existe variación en la atención entre los dos test realizados, siendo incluso las variaciones entre porcentaje de errores poco notorios como para ser analizados de forma más exhaustiva.

6. Conclusiones

El objetivo principal de esta investigación era estudiar la relación entre el fidgeting y la concentración dentro del aula. Tras el análisis, los resultados obtenidos indican que el fidgeting no influye significativamente en el rendimiento cognitivo general del alumnado.

Los resultados globales mostraron una diferencia mínima entre ambas condiciones experimentales, registrándose 317 errores en la primera prueba y 315 errores en la segunda. Esta variación del 0,14 % indica que permitir o restringir los movimientos relacionados con el fidgeting no produce cambios importantes en la mayoría de las tareas evaluadas.

Sin embargo, el análisis individual de las pruebas sí permitió observar diferencias concretas en tareas relacionadas con la atención sostenida y la vigilancia. En la prueba "Letra A/E", la restricción del movimiento provocó un aumento considerable del porcentaje de error, pasando del 15,15 % al 51,52 %. Esto sugiere que el movimiento corporal leve podría ayudar a mantener la atención en actividades prolongadas.

Por tanto, aunque no puede afirmarse que el fidgeting mejore el rendimiento académico general, sí existen indicios de que podría desempeñar una función autorreguladora en determinadas funciones atencionales.

Asimismo, este trabajo permite cuestionar la idea tradicional de que el fidgeting constituye únicamente una distracción dentro del aula. En algunos casos, estos movimientos podrían formar parte de estrategias inconscientes de regulación cognitiva y mantenimiento de la atención.

Entre las principales limitaciones de la investigación destacan la adaptación grupal de las pruebas, la ausencia de instrumentos tecnológicos para medir el movimiento y el posible efecto de aprendizaje entre sesiones. Por ello, futuras investigaciones podrían ampliar la muestra, utilizar pruebas individualizadas y aplicar sistemas de medición más precisos.

En conclusión, el estudio demuestra que el fidgeting no perjudica significativamente la concentración global y que, en determinadas tareas de atención sostenida, podría incluso tener un efecto beneficioso.

7. Agradecimientos

Este trabajo no habría sido posible sin la colaboración y el apoyo de numerosas personas.

En primer lugar, me gustaría agradecer a todos los alumnos que participaron voluntariamente en las pruebas realizadas y que mostraron disposición y paciencia durante las sesiones de evaluación.

También quiero agradecer al profesorado y al equipo docente del IES Floridablanca por facilitar el desarrollo de la investigación y permitir la realización de las pruebas durante el horario escolar.

Agradezco especialmente a mi tutor, Jesús Carrillo González, por su ayuda, dedicación y orientación durante todo el proceso de elaboración del trabajo. Sus correcciones y aportaciones han sido fundamentales para el desarrollo de esta investigación.

8. Bibliografía

- Andrade, J. (2010) 'What does doodling do?', *Applied Cognitive Psychology*, 24(1), pp. 100–106. doi: 10.1002/acp.1561.
- Biel, L. (2017) 'Fidget toys or focus tools', *Autism File*, 74, pp. 12–13.
- Cloud, J. (2009) 'Better learning through fidgeting', *Time*, 173(14), p. 61.
- Farley, J., Risko, E.F. y Kingstone, A. (2013) 'Everyday attention and lecture retention: the effects of time, fidgeting, and mind wandering', *Frontiers in Psychology*, 4, p. 619.
- Frankenthal, P. (2019) *Can fidgeting help students maintain attention? How restricting movement and varying cognitive load relate to attention on reading comprehension task*. Tesis de máster. Indiana State University.
- Grodner, K. (2015) *To fidget or not to fidget: The effect of movement on cognition*. Murray State University.
- Hagger-Johnson, G., Gow, A.J., Burley, V.J., Greenwood, D.C. y Cade, J.E. (2016) 'Sitting time, fidgeting and all-cause mortality in the UK Women's Cohort Study', *American Journal of Preventive Medicine*, 50(2), pp. 154–160. doi: 10.1016/j.amepre.2015.06.025.

- Hartanto, T.A., Krafft, C.E., Iosif, A.M. y Schweitzer, J.B. (2015) 'A trial-by-trial analysis reveals more intense physical activity is associated with better cognitive control performance in attention-deficit/hyperactivity disorder', *Child Neuropsychology*, 22(5), pp. 618–626. doi: 10.1080/09297049.2015.1044511.

- Hayward, R. (2005) 'Fidgeting', *The Lancet*, 366(9486), p. 627. doi: 10.1016/S0140-6736(05)67125-5.

- Levine, J.A., Schleusner, S.J. y Jensen, M.D. (2000) 'Energy expenditure of nonexercise activity', *American Journal of Clinical Nutrition*, 72(6), pp. 1451–1454. doi: 10.1093/ajcn/72.6.1451.

- Morishima, T., Restaino, R.M., Walsh, L.K., Kanaley, J.A., Fadel, P.J. y Padilla, J. (2016) 'Prolonged sitting-induced leg endothelial dysfunction is prevented by fidgeting', *American Journal of Physiology – Heart and Circulatory Physiology*, 311(1), pp. H177–H182. doi: 10.1152/ajpheart.00297.2016.

- Pettit-Mee, R.J., Ready, S.T., Padilla, J. y Kanaley, J.A. (2021) 'Leg fidgeting during prolonged sitting improves postprandial glycemic control in people with obesity', *Obesity*, 29(7), pp. 1146–1154. doi: 10.1002/oby.23173.

- Son, H.M., Calub, C.A., Fan, B., Dixon, J.F., Rezaei, S., Borden, J., Schweitzer, J.B. y Liu, X. (2024) 'A quantitative analysis of fidgeting in ADHD and its relation to performance and sustained attention on a cognitive task', *Frontiers in Psychiatry*, 15, p. 1394096. doi: 10.3389/fpsyt.2024.1394096.

- Swartz, A.M., Tokarek, N.R., Strath, S.J., Lisdahl, K.M. y Cho, C.C. (2020) 'Attentiveness and fidgeting while using a stand-biased desk in elementary school children', *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(11), p. 3976. doi: 10.3390/ijerph17113976.

ANEXO

OBSERVACIÓN 3º ESO A/B:

		Prueba 1						Prueba 2					
Alumno	Observación conductual	N	L	T.N	A	F	R	N2	L2	T.N2	E2	F2	R2
1	Mov. piernas leve y poco frecuente	1	Bien	4	Bien	4	2	Bien	2	6	1	3	3
2	Mov. piernas casi continuo, bolígrafo	1	3	4	1	4	3	2	6	6	Bien	3	2
3	Mov. piernas, bolígrafo, garabatos (posible superdotación)	1	1	4	Bien	1	5	Bien	2	3	Bien	Bien	3
4	Juego continuo con bolígrafo	Bien	2	4	Bien	1	4	1	3	6	2 omis.	Bien	3
5	Se muerde uñas, mov. piernas	1	1	6	Bien	Bien	3	Bien	1	5	3 omis.	Bien	2
6	Dedos, piernas, muerde bolígrafo	1	2	3	Bien	2	5	Bien	2	3	1	1	3
7	Mov. piernas y del hiyab	1	3	2	Bien	1	3	Bien	3	4	Bien	Bien	2
8	Mov. pierna, juega con el pelo	1	5	2	Bien	3	2	Bien	4	3	Bien	1	1

OBSERVACIÓN 4º ESO A/C:

		Prueba 1						Prueba 2					
Alumno	Observación conductual	N	L	T.N	A	F	R	N2	L2	T.N2	E2	F2	R2
9	Mov. piernas	Bien	2	4	Bien	3	3	Bien	1	5	Bien	1	2
10	Mov. pierna, mala postura	Bien	2	3	Bien	2	4	Bien	1	7	Bien	3	4
11	Mov. pierna	Bien	Bien	7	Bien	5	2	1	Bien	3	Bien	3	2

12	Mov. pierna continuo	Bien	1	2	Bien	1	2	Bien	1	3	1	2	4
13	Mov. pierna, chicle	Bien	1	Bien	Bien	2	3	1	2	1	Bien	3	1
14	Mov. pierna	Bien	1	2	1	Bien	4	Bien	Bien	3	Bien	Bien	3
15	Mov. pierna	Bien	1	1	Bien	1	3	Bien	1	1	Bien	1	3
16	Mov. pierna	Bien	Bien	3	Bien	Bien	1	Bien	2	2	Bien	Bien	2

OBSERVACIÓN 1º DE BACHILLERATO I:

		Prueba 1						Prueba 2					
Alumno	Observación conductual	N	L	T.N	A	F	R	N2	L2	T.N2	E2	F2	R2
17	Muy inquieta, piernas y bolígrafo	Bien	1	9	Bien	4	4	2	2	8	1	2	5
18	Mov. piernas	Bien	2	5	Bien	Bien	2	Bien	Bien	5	1 omis.	Bien	3
19	Muy inquieto, mov. piernas	Bien	2	4	Bien	Bien	2	Bien	Bien	4	Bien	1	4
20	Mov. piernas constante	Bien	2	3	Bien	1	3	Bien	Bien	1	Bien	Bien	4
21	Mov. piernas	Bien	1	4	Bien	Bien	1	Bien	2	1	Bien	2	2
22	Mov. piernas, muerde bolígrafo	Bien	1	1	Bien	1	1	Bien	Bien	2	Bien	2	3
23	Mov. piernas	Bien	4	3	Bien	2	3	Bien	Bien	2	Bien	Bien	1
24	Mov. piernas	Bien	3	3	Bien	Bien	3	Bien	Bien	2	1	1	4
25	Mov. piernas, garabateo	Bien	1	6	Bien	2	2	1	Bien	5	Bien	Bien	3
26	Mov. piernas	Bien	1	2	Bien	Bien	2	Bien	Bien	3	Bien	Bien	2
27	Mov. pies	Bien	Bien	5	Bien	1	3	Bien	1	5	Bien	Bien	4
28	Mov. piernas	1	Bien	2	Bien	3	4	1	Bien	4	1	Bien	2
29	Garabateo	Bien	1	3	Bien	1	4	Bien	Bien	2	1	2	4

30	Juego con el pelo	Bien	1	Bien	Bien	1	3	Bien	Bien	2	Bien	Bien	3
31	Mov. piernas	Bien	Bien	4	Bien	1	4	Bien	1	3	Bien	Bien	2
32	Mov. piernas	Bien	1	3	Bien	Bien	2	Bien	1	Bien	Bien	Bien	2
33	Mucho movimiento general	Bien	Bien	10	Bien	1	3	Bien	Bien	10	1	2	4

RESULTADOS:

Apartado	Fallos	% sobre total (632)
Números	20	3,16 %
Letras	48	7,59 %
Test números	95	15,03 %
Letra A	5	0,79 %
Figuras	67	10,60 %
Recuadro	82	12,97 %
Números 2	11	1,74 %
Letras 2	48	7,59 %
Test números 2	102	16,14 %
Letra E 2	17	2,69 %
Figuras 2	55	8,70 %
Recuadro 2	82	12,97 %
TOTAL TEST 1	317	50,14%
TOTAL TEST 2	315	49,86%
TOTAL GLOBAL	632	100%

Título del trabajo:

Variación del comportamiento de gansos según su interacción con humanos en el entorno

Autora (nombre y apellidos del alumno o alumnos) Curso Académico y Nivel

Alexandra Mishanova Vakula. Curso 25/26. 2º de Bachillerato

Datos del Tutor:

Jesús Carrillo González. Profesor de Biología y Geología. IES Floridablanca.

Centro docente:

IES Floridablanca

Índice con los epígrafes de los trabajos y su paginación

Resumen del tema a desarrollar / Abstract — pág. 3

1. Introducción — pág. 4

2. Antecedentes y estado de la cuestión — pág. 4
    2.1 Conceptos previos — pág. 4
    2.2 Antecedentes históricos — pág. 4
    2.3 Comportamientos básicos de los gansos domésticos — pág. 4
        2.3.1 Comportamientos relacionados con la alimentación — pág. 4
        2.3.2 Comportamientos grupales — pág. 5
        2.3.3 Comportamientos relacionados con la conflictividad — pág. 5
        2.3.4 Comportamientos relacionados con la reproducción — pág. 5

3. Hipótesis de trabajo y objetivos de la investigación — pág. 5

4. Materiales y métodos — pág. 5

5. Resultados — pág. 6
    5.1 Resultados cuantitativos — pág. 6
    5.2 Resultados cualitativos — pág. 7

6. Conclusiones — pág. 7

7. Agradecimientos — pág. 8

8. Bibliografía — pág. 8

9. Anexo — pág. 10

Resumen del Tema a desarrollar (250 palabras máximo, en castellano)

Viendo los comportamientos variados de los gansos, se pone en duda si varían dependiendo de cuánta interacción humana tienen en el medio. En esta investigación se establecieron los objetivos de observación y estudio de los comportamientos de estos gansos en los parques de la Ciudad de Murcia. Usando tanto una metodología cuantitativa de recopilación de datos numéricos como una cualitativa, los dos haciendo uso de observación presencial; se cumplieron los objetivos propuestos satisfactoriamente. Se concluyó que los comportamientos generales de agrupamiento, movimiento y tipo de movimiento dependen de la interacción humana con el medio; con una baja correlación entre agresión e interacción con humanos, y que según otras condiciones los gansos obtienen comportamientos variados y específicos.

Resumen del Tema en inglés (250 palabras)

In view of the varied behaviours of geese, it is put in doubt if they vary depending on how much human interaction they have in their medium. In this research there were established the objectives of observation and study of the behaviours of those geese in the parks of the city of Murcia. Using both a quantitative methodology of numerical data compilation and a qualitative methodology the objectives were achieved successfully. It has been concluded that general behaviours of group formation, aggression and movement depend on human interaction on their medium, and that with other conditions geese obtain varied and specific behaviours.

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1. Introducción

El ganso doméstico es un ave de gran importancia para el sector ganadero (como fuente de carne, huevos, plumas, etc.) tanto para el ecosistema.

Al observar mínimamente una de estas aves se pueden notar diferencias de comportamientos con respecto a sus parientes salvajes y aquellos individuos de misma especie pero distinto medio. Más aún por su falta de vuelo que les hace incapaces de migrar, y pues, son forzados a evolucionar y a adaptarse al medio de nacimiento. Partiendo de eso y con conocimientos de que seres humanos pueden tener interacción con estos animales, se plantea la duda de si esta interacción tiene posibilidades de haber cambiado el comportamiento de estos animales.

Otras investigaciones fueron hechas anteriormente, como las de Hamadani y Khan (2016), Lorenz (1979); Ramseyer, Petit y Thrierry (2009) y Ashton (1999 y 2012) , pero estos tenían como objetivo observar comportamientos generales con respecto a la alimentación, a la reproducción, comportamientos sociales, y, como máximo, comportamientos con respecto a los dueños de los gansos (granjeros, etc.) y no abarcando cómo varían estos comportamientos según la interacción con humanos en el medio.

Teniendo en cuenta lo anterior, considero esencial el estudio de cómo éste comportamiento puede variar o si varía siquiera; resulta útil desde un punto de vista evolutivo para ver cómo influye la urbanización en los animales y desde un punto de vista medioambiental al estudiar su comportamiento en cautiverio (ocurrida al no poder migrar). Este trabajo propone expandir los conocimientos ya adquiridos de estudios etológicos previos sobre los gansos, y usarlos para tratar de ver cómo el hombre ha influenciado y cambiado los comportamientos de estas aves.

2. Antecedentes y estado de la cuestión

2.1. Conceptos previos

Agresión: ocasión en la que un individuo conscientemente o inconscientemente actúa violentamente contra otro individuo.

Bandada: agrupación de aves de la misma especie, según la cuál se mueven en la tierra o en el agua.

Celo: período que puede ocurrir varias veces durante un año en el que un animal trata de reproducirse y dar crías. Normalmente sólo ocurre en las hembras.

Comportamiento: forma de actuar de un ser vivo cualquiera hacia un estímulo interno o externo.

Gansos: aves acuáticas parecidas a los gansos con cuellos largos, patas largas y un graznido que resulta molesto al oído de los seres humanos. Son conocidos por su territorialidad y agresividad.

Muda de plumas: período que puede ocurrir varias veces durante el año en el que un ave desprende todas sus plumas de forma instantánea o progresiva para que estas vuelvan a crecer de nuevo.

2.2. Antecedentes históricos

El ganso fue un animal que fue domesticado hace 7552 años (Wen J., et al, 2023), y desde ese momento fueron observados en otras épocas como Antiguo Egipto donde fue un ave sagrada (Wen J., et al, 2023 y Ashton C., 1999), y desde el siglo IV antes de Cristo era sacrificado por su carne, huevos, hígado y plumas. (Wen J., et al, 2023)

Tras esto, el ganso fue visto siendo criado por plebeyos, formando parte de la economía rural; en algún momento usado como moneda para pagar tierras (Ashton C., 1999). En el siglo XVIII los gansos fueron criados masivamente, pero esa práctica desapareció para finales del siglo XX.

Actualmente, siguen siendo de gran uso en la ganadería; aunque no tan frecuentemente debido a la mayor eficacia en criar pollos o patos por el bajo coste de su carne.

2.3. Comportamientos básicos de los gansos domésticos

2.3.1. Comportamientos relacionados con la alimentación

El ganso doméstico es casi exclusivamente herbívoro (Ashton, 2015), comiendo una gran variedad de pastos y hierbas, además de semillas y raíces. Aunque pueden ser vistos comiendo insectos, no forma parte de su dieta habitual

(Rodríguez de la Fuente, 1978; Ashton, 2015); y lo mismo ocurre con distintos cereales que se les puedan dar en granjas u hogares. (Ashton, 1999)

2.3.2. Comportamientos grupales

Entre la bandada, los gansos viven en parejas y en grupos familiares, pues aseguran la cooperación entre los miembros que garantiza la supervivencia (Ashton, 2012). Además, entre la bandada mantienen una jerarquía social en la cual pueden tener conflictos por ocupar posiciones mayores en esta (Lorenz, 1979). Entre esta jerarquía, las familias con crías dominan sobre las parejas, y las parejas tienen dominio sobre gansos solitarios (Ramseyer et al., 2009)

2.3.3. Comportamientos relacionados con la conflictividad

Según Hamadani et al., (2016), los gansos conviven pacíficamente con otros individuos en su medio. Sin embargo, otros estudios demuestran que los machos pueden pelear por cuestiones de jerarquía y estatus social (Lorenz, 1979) en cualquier momento del año (Ashton, 1999). Estas peleas ocurren más frecuentemente en el momento del celo de la hembra, donde los machos pelean por su pareja.

2.3.4. Comportamientos relacionados con la reproducción

Las parejas formadas en la bandada normalmente se mantienen juntos por el resto de sus vidas a menos que venga otro macho a cortejar a la hembra (Lorenz, 1979). Un ganso macho hará un "ritual de cortejo" para conquistar a una hembra (Rodríguez de la Fuente, 1978; Lorenz, 1979) y si ésta le corresponde estarán emparejados de por vida. Esta pareja será la que, en período de crías, se reproducirá y tendrá polluelos (Ashton, 1999).

Un comportamiento (o mejor dicho, proceso biológico) muy relacionado con la reproducción es la muda de las plumas. Un ganso cambia sus plumas una vez al año (Ashton, 2012), en unos cuantos días, y son incapaces de volar cuando lo hacen. Ashton (2012) también afirma que los gansos sin crías mudan antes sus plumas que los gansos con crías.

3. Hipótesis de trabajo y objetivos de la investigación

La hipótesis pensada para este trabajo fue: "Que los comportamientos básicos de los gansos si varían según la interacción humana que tengan".

Se establece el siguiente objetivo general:

Observar cualquier cambio en el comportamiento de los gansos en la ciudad de Murcia de zona en zona y relacionarlo con la cantidad de interacción con los seres humanos en el entorno.

Para cumplir con este objetivo general, se establecen unos cuántos objetivos específicos:

Investigar patrones de comportamiento en relación con la alimentación, reproducción, y relación con otros individuos de la misma especie y demás animales en su entorno.

Anotar comportamientos de los gansos relacionados con su agrupación, movimiento y momentos de agresión y analizar cómo varían de zona en zona.

4. Materiales y métodos

Materiales utilizados:

-Libreta
-Bolígrafo
-Teléfono
-Ordenador

Para este trabajo se ha realizado una metodología mixta en la que se hacía una recopilación de datos numéricos y de datos provenientes de la observación directa de los gansos. Esta observación se realizó en un período de tiempo del 16 de julio al 20 de agosto de 2025 en 11 días individuales (uno de ellos siendo de prueba en el 5 de junio de 2025 cuyos datos resultan útiles para el análisis). El tiempo de observación total de los gansos amontonó a 606 minutos (10 horas 6 minutos). Como lugares de observación, se eligieron tres parques en la Región de Murcia con presencia comprobada de gansos, ambiente y acceso humano distinto; estos siendo el Jardín de la Seda, el Parque de Fofó y el Paseo del Malecón (en el río Segura). Jardín de la Seda (120 minutos de observación) contaba con libertad total de movimiento por todo el área a los gansos y sin limitaciones del acceso humano, Parque de Fofó (293 minutos

de observación) contaba con un vallado que separaba los animales del medio pero con el cuál todavía se podía interactuar con estos, y en el Paseo del Malecón (184 minutos de observación) no había forma de interactuar con los gansos a no ser que fuera para lanzar alimento.

Para el proceso de observación fue usada una libreta A5 cuadriculada y un bolígrafo para apuntar datos cualitativos, junto con el móvil de uso personal para tomar fotos de los animales (ver anexos, figura 1). Además se hizo uso de una ficha de acontecimientos especialmente diseñada para este trabajo para recopilar datos cuantitativos sobre la movilidad, formación grupal, conflictividad (inter e intraespecie) y alimentación al momento de los gansos (ver anexos, figura 2).

Antes de la observación fue necesario aclarar conceptos para que los comportamientos de los animales pudieran ser apropiadamente cuantificados:

Movimiento → Desplazamiento de uno o varios individuos por una distancia de más de un metro

Formación → Grupo en el que se juntan uno o varios individuos. Puede ser individuo (un sólo ganso), pareja (dos gansos), grupo reducido (de 3 a 5 gansos) y grupo grande (más de 6 gansos). Los últimos dos se abrevian en tablas por G. red. y G. grande, respectivamente.

Agresión → gesto de hostilidad o golpe directo proporcionado por un ganso hacia otro animal, ya sea otro ganso (intraespecie) o un animal distinto (interespecie).

Adicionalmente, se hicieron unas preguntas al Área de Zoonosis del Ayuntamiento de Murcia en una llamada telefónica, específicamente a los encargados de dar alimento a los gansos para obtener más información sobre su cuidado y se anotaron los resultados.

Tras finalizar el período de observación, todos los datos tanto cuantitativos como cualitativos fueron procesados de forma apropiada, cada uno en su respectivo apartado.

5. Resultados

5.1. Resultados cuantitativos

El primer dato analizado fue la formación grupal de los gansos, que fue anotado de tal manera que cuando todos los números de individuos en cada formación fueran contados diera como resultado el número total. Tras realizar la tabla se creó un gráfico (ver anexos figuras 3 y 4).

Esta información sólo pudo ser recopilada gracias a que los gansos se mantenían en constante formación, excepto en el Malecón donde estos cambiaban de formación constantemente.

El análisis de este dato puede concluir en que aquellos lugares con mayor interacción de gansos con humanos éstos primeros se mantienen más juntos por mayor (mayor interacción mayor el grupo), mientras que en aquellos donde hay poca interacción los gansos se mantienen más dispersos. Aunque hay probabilidad que la agrupación se deba a su instinto de bandada y no tenga correlación con la interacción. Mayor estudio es necesario.

También se puede observar que, aunque los instintos de los gansos sean de emparejarse, en los medios con mayor interacción humana este instinto tiende a manifestarse menos.

Tras definir las poblaciones, se evaluaron los comportamientos de agresión: tanto inter como intra especie. Esto se tuvo que hacer creando una fórmula matemática para apropiadamente ponderar los datos (debido a la variación en población de gansos y tiempo de observación); la cuál es medida en agresiones por individuo por hora con las incógnitas a sustituir “A”, “a”, “i” y “t”, equivaliendo a agresiones ponderadas, agresiones sin ponderar, individuos y tiempo respectivamente.

$$A = ati = at \cdot 1i = at \cdot iA = at \cdot i$$

Tras calcular las tablas con los resultados ya ponderados y haciendo una limpieza de estos, se definieron gráficamente (ver anexo, figuras 5 y 6).

Según los datos, se puede observar claramente que aunque el Malecón tenga una población significativamente mayor, en el Parque de Fofó fue donde más agresiones se produjeron; liderando en el número de agresiones intraespecie que se exhibía mucho menos en otros parques. Esto indica una falta de correlación entre las agresiones de gansos y la interacción con humanos en el medio.

Finalmente, se analizó el dato de movimientos usando la misma estrategia que en el apartado de las agresiones y la misma fórmula, cambiando “A” y “a” por “M” y “m” (movimientos ponderados y sin ponderar, respectivamente). Tras el mismo proceso, se procesaron los resultados gráficamente (ver anexo, figuras 7 y 8).

Como se puede observar, se puede identificar una clara tendencia en los movimientos relacionada con la interacción humana en el medio; donde en medios con mayor interacción los movimientos eran menos frecuentes y de tipo grupal, mientras que en medios con menor interacción eran más frecuentes y de tipo individual y por pareja.

5.3. Resultados cualitativos

Los resultados numéricos analizados previamente fueron relacionados con los datos cualitativos obtenidos mediante la anotación de comportamientos.

En primer lugar, en referencia a las poblaciones, estas se mantuvieron estables durante todo el período de observación excepto en el Jardín de la Seda, donde disminuyó de 7 gansos a 6 por razones desconocidas. En cuanto a las formaciones, se mantuvieron constantes según los gráficos previamente mostrados excepto en el Malecón donde cambiaban de formaciones frecuentemente, impidiendo una anotación apropiada de ese dato.

En cuanto a la agresividad, los gansos del Parque de Fofó eran significativamente más agresivos contra otras especies (incluyendo humanos) sin razón aparente y entre sus propios también, aunque toda agresión iba dirigida hacia un sólo individuo marginado. En el Malecón, en cambio, toda agresión iba dirigida hacia patos (sólo aquellos de color marrón) y sólo por comida. En el Jardín de la Seda la única agresión observada fue hacia humanos.

En tercer lugar, el movimiento difería grandemente entre parque y parque. En aquellos con mayor interacción con humanos estos eran grupales y bien organizados, sobre todo en el Parque de Fofó donde los animales iban en fila india o en formación de “v”. En el Malecón, estos movimientos eran caóticos y desordenados, excepto a la hora de volver a su lugar común de descanso. (ver anexo, figura 9).

También se puede remarcar cómo su comportamiento puede variar debido al alimento dado. Mientras que los gansos de la Seda tenían hierba y pasto de su dieta habitual, los del Parque de Fofó no tenían comida aparentemente y se mantenían cerca de la valla para pedir comida; y los del Malecón fueron observados una sola vez yendo a lo largo del río a comer juncos. (ver anexo, figura 10).

Otro comportamiento de gran importancia fue la falta de reproducción o intentos de ésta en todos los parques. No se observaron ni crías presentes, ni nidos, ni huevos, aunque el período de observación involucró su época de reproducción debido a la muda de plumas. Más investigación es requerida para explicar esto.

Finalmente, de las preguntas hechas del ayuntamiento se descubrió que los gansos son alimentados con pienso de lunes a viernes, aunque pueden rehusarse a comer de este en relación con la comida que les puede ser dada por las personas en paso.

6. Conclusiones

Por último, este trabajo ha demostrado que los comportamientos de los gansos en la ciudad de Murcia sí varían según la interacción que tengan con los humanos en el medio. Se han cumplido todos los objetivos propuestos exitosamente y la hipótesis fue comprobada exitosamente.

Se ha descubierto que existen diferencias entre los comportamientos que exhiben individuos de un parque a otro, comprobándose de forma tanto cuantitativa como cualitativa, tanto apuntando comportamientos de forma numérica como de forma textual; y se han hecho preguntas al Ayuntamiento para saber más a fondo de sus condiciones tras lo ya observable.

Mediante la observación realizada, se ha concluido que la interacción con el medio humano afecta todos los comportamientos investigados: formación, movimiento y agresión. Se ha observado que el número de individuos en un solo grupo aumenta junto con la interacción humana, y se ha observado también una reducción en el movimiento de gansos con el aumento de interacción con el medio así como una mayor organización en la realización de este. En cambio, no se ha observado correlación entre agresión e interacción con el medio. Además, mediante la observación cualitativa se ha observado una falta de reproducción de los gansos en todos los parques observados, y comportamientos que dependían fuertemente del alimento que consumían.

Este trabajo realizado contribuye a los pocos conocimientos ya adquiridos sobre los gansos domésticos, y supone una de las muy pocas investigaciones hechas sobre los gansos de Murcia. Los resultados obtenidos tienen gran utilidad en el estudio medioambiental de la fauna en Murcia y ayudan a promover un mejor cuidado de los parques.

Con respecto a la ética, se ha asegurado de hacer el trabajo de forma respetuosa con los animales (sin sobrepasar su espacio ni comportarse tal que sean angustiados o estresados) y de forma ética evitando el plagio y el uso de IA generativa para obtener información. En caso de haber sido usada, su uso fue de manera instrumental para facilitar la comprensión de ciertos enunciados.

A la hora de realizar la investigación, se han observado dificultades como el limitado número de parques donde realizar la observación (truncando la significatividad de los resultados), una gran falta de información con respecto al tema (de etología, veterinaria y estudios previos para una mejor recolección de datos), la presencia del pública que impedía una recolección objetiva de información, y, sobre todo, una gran variación de poblaciones y condiciones medioambientales de los gansos de un parque a otro que dificultaba la obtención de datos sin necesidad de ponderación.

Finalmente, de cara a investigaciones futuras, se recomendaría usar un período más amplio de tiempo para abarcar todas las etapas de reproducción en los gansos, tener un mayor rango de parques de donde obtener los datos incluyendo reservas naturales y zonas con gansos salvajes y por último aumentar el número de sesiones realizadas y el tiempo de observación de cada una. Además, se podría profundizar en si su comportamiento varía en relación con el alimento dado, y también investigar su población de forma minuciosa y cómo es afectada por factores previamente mencionados.

7. Agradecimientos

Para finalizar, es necesario agradecer a todos los profesores que me han ayudado con este trabajo; Jesús Carillo como tutor de investigación y guía de mi trabajo, y Nieves Soriano Nieto y Ana María Machuca Reche como profesoras de investigación que me dieron todos los recursos y conocimientos necesarios para realizar este trabajo de forma correcta. Además, un gran agradecimiento se debe a todos aquellos amigos, familia y profesores que me acompañaron a lo largo de este trabajo y me dieron su apoyo incondicional y su interés en ver este trabajo tener éxito.

8. Bibliografía

- Ashton, C. (1999) *Domestic geese*. Wiltshire: The Crowood Press. doi: 10.5555/20113201134.
- Ashton, C. (2012) *Keeping geese: Breeds and management*. Crowood.
- Hamadani, H. y Khan, A.A. (2016) 'Documentation of the normally expressed behaviours of domestic geese', *International Journal of Agricultural Science and Research*, 6(1), pp. 261–266.
- Lorenz, K. (1979) *The year of the greylag geese*. Harcourt Brace Jovanovich.
- Ramseyer, A., Petit, O. y Thierry, B. (2009) 'Patterns of group movements in juvenile domestic geese', *Journal of Ethology*, 27, pp. 369–375. doi: 10.1007/s10164-008-0128-6.
- Rodríguez de la Fuente, F. (1978) *Cuadernos de campo. Cisnes y gansos*. Marín.
- Wen, J., Li, H., Wang, H. et al. (2023) 'Origins, timing and introgression of domestic geese revealed by whole genome data', *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 14, p. 26. doi: 10.1186/s40104-022-00826-9.

ANEXO

Día (Nº):	Fecha:
Lugar. Ob.:	Duración. Ses. (t):

Ficha de acontecimientos

V.0.2

Agresión (intraespecie)

Total:

Formación (especificar nº individuos)

Individuo (1)	Pareja (2)	G. red. (3-5)	G. grande (6+)

Total:

Movimiento

Individual (1)	Pareja (2)	G. red. (3-5)	G. grande (6+)

Acomp.:

Inicio Ob. (Hora):	Fin Ob. (Hora):

Agresión (interespecie)

Total:

Alimentación

Conflictos

Total:

Notas ob.

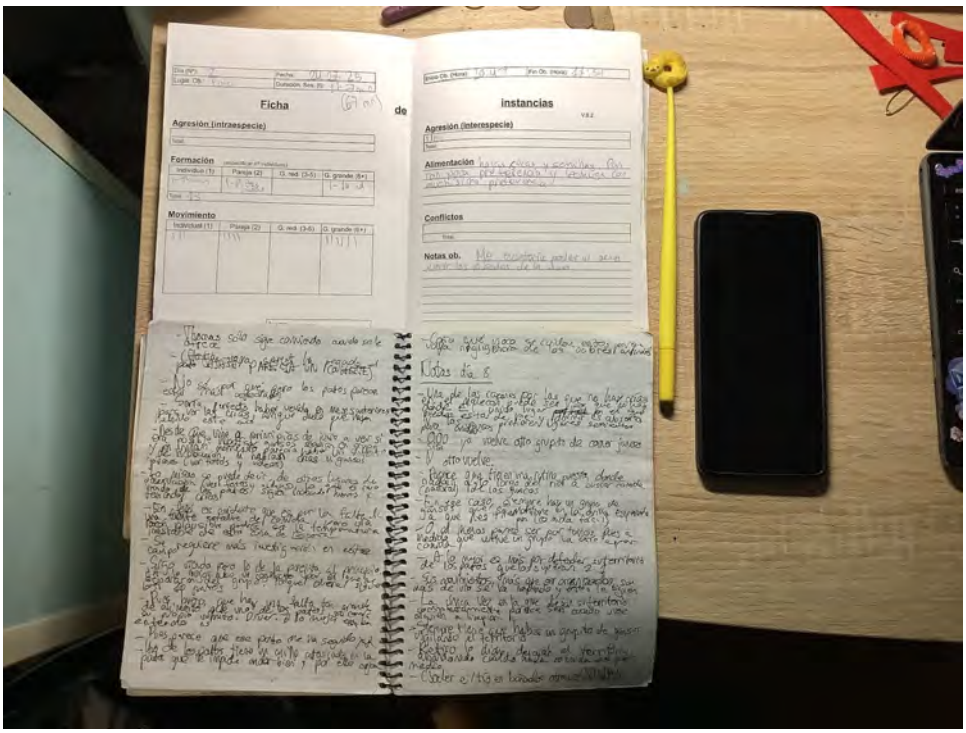


Figura 1 y 2: ficha de acontecimientos y herramientas de recolección de datos, respectivamente. Autoría propia.

Individuos en formación	Fofó	Seda	Malecón
Individuos (1)	1	0	0
Parejas (2)	2	0	0
G. red. (3-5)	0	0	0
G. grande (6+)	10	7	33
Total	13	7*	33

Figura 3: tabla de formaciones de los gansos. Autoría propia

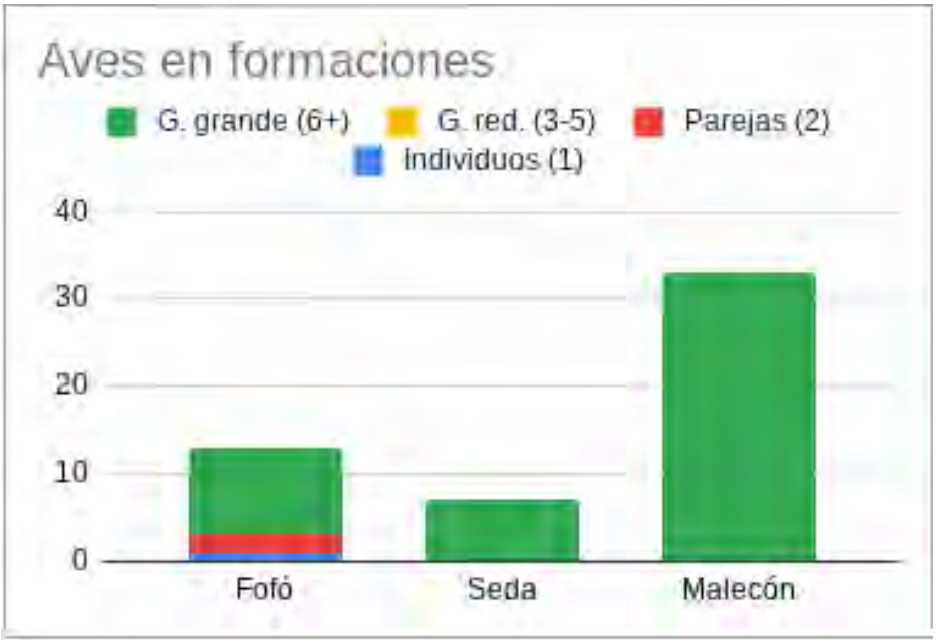


Figura 4: gráfico de aves en formaciones. Autoría propia.

Agresión	Fofó	Seda	Malecón
Intraespecie	0,047	0	0,009
Interespecie	0,2	0,07	0,128
Total	0,247	0,07	0,137

Figura 5: tabla de agresiones de los gansos (ponderados). Autoría propia.

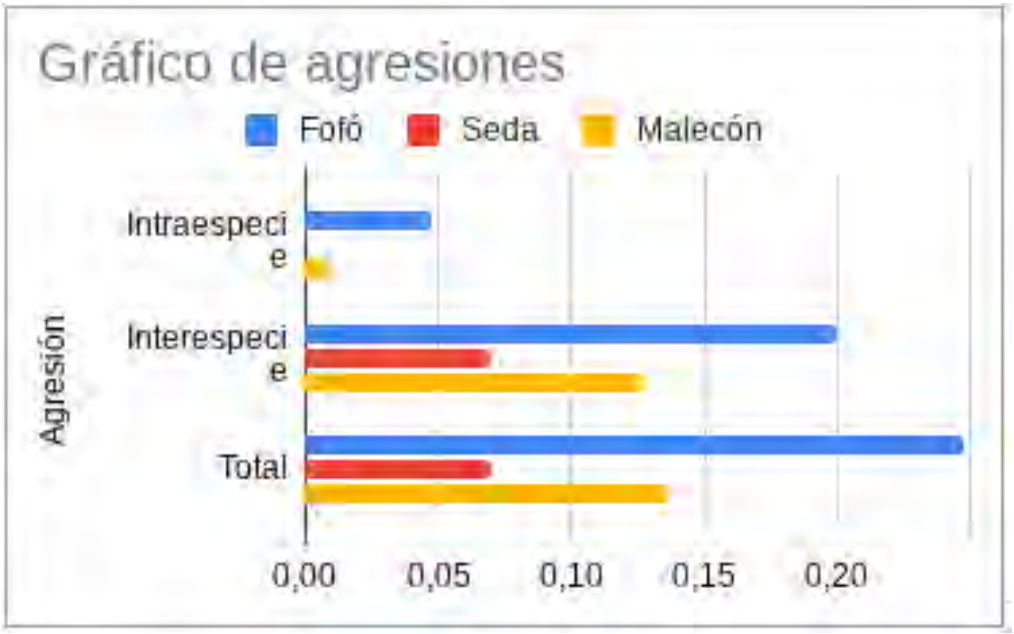


Figura 6: Gráfico de agresiones de los gansos. Autoría propia.

Movimiento	Fofó	Seda	Malecón
Individuo	0,189	0,072	0,327
Pareja	0,158	0	0,248
Grupo reducido	0,016	0,072	0,198
Grupo grande	0,284	0,358	0,099
Total	0,647	0,502	0,872

Figura 7: Tabla de movimientos de los gansos (ponderados). Autoría propia.

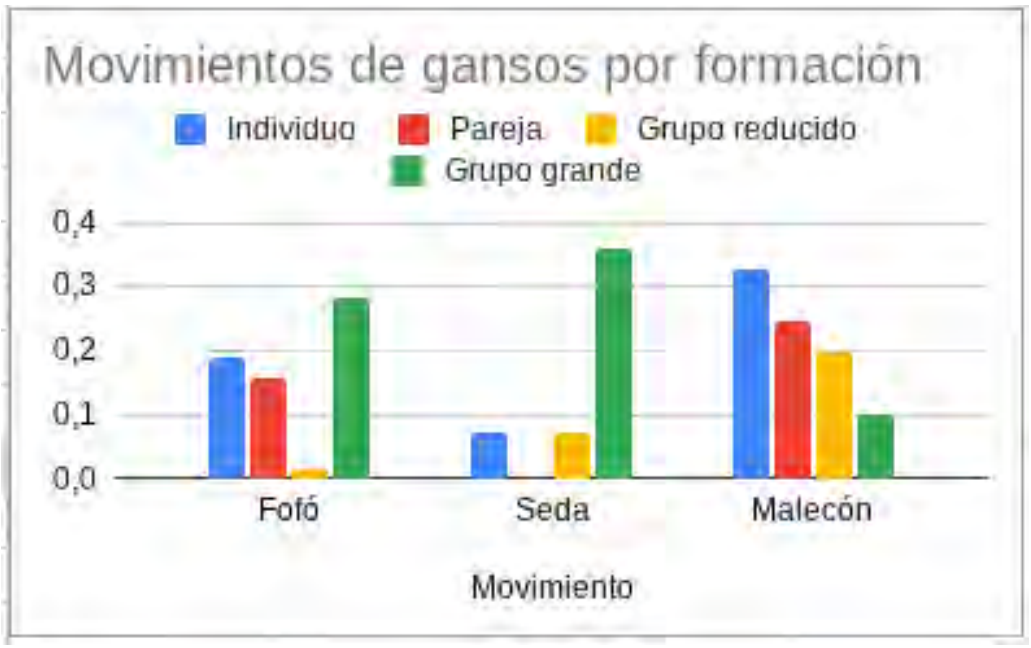


Figura 8: Gráfico de movimientos en formaciones. Autoría propia.

Figura 9: Gansos del Parque de Fofó en formación y movimiento. Autoría propia.

Figura 10: Ganso del parque de Fofó comiendo heces secas del suelo. Autoría propia.

“ADIRO® Y P-SELECTINA:
Un Marcador de Activación Plaquetaria en Prevención Secundaria

Autor: Carlota Gil García

Tutores: Dña. Juana Elvira García y Dña. María de Lourdes Barnés Romero

IES Francisco Ros Giner

2025 - 2026

1. Introducción **3**
2. Antecedentes **4**
3. Objetivos e hipótesis **4**
3.1Objetivos 4
3.2 Hipótesis 4
4. Materiales y métodos **4**
4.1 Cohorte de Estudio 5
4.2 Equipamiento y Materiales 5
4.2.1 Tallímetro y Báscula 5
4.2.2 Multi-Sample Agitator (MSA) 5
4.2.3 Reactivos, Fijadores y Anticoagulantes 5
4.2.4 Citómetro de flujo BD FACSCanto II 6
4.2.5 BQC Redox System 6
4.3 Procedimiento Experimental 6
4.4 Análisis de la Activación Plaquetaria 6
4.5 Consideraciones Éticas 6
5. Resultados **7**
5.1 Expresión de P-selectina en respuesta a ADP y TRAP 7
5.2 Análisis dosis–respuesta 8
5.3 Correlación con Variables Clínicas (IMC y capacidad antioxidante) 8
5.4 Comparación con la Literatura Científica 9
5.5 Valor Añadido de la Cohorte de Estudio 9
5.6 Interpretación General 10
Anexo A: Equipamiento **11**

Resumen

Las enfermedades cardiovasculares constituyen una de las principales causas de mortalidad en la actualidad, y la activación plaquetaria desempeña un papel clave en su desarrollo. Entre los biomarcadores de activación plaquetaria, la P-selectina destaca por su externalización tras la activación de las plaquetas. El objetivo de este trabajo es analizar si el tratamiento con ácido acetilsalicílico (Adiro®), ampliamente utilizado en prevención secundaria, modifica la expresión de P-selectina tras la estimulación plaquetaria con ADP y TRAP. Hemos estudiado una cohorte de personas de edad avanzada tratadas con Adiro® y un grupo control sano. La expresión de P-selectina se evaluó mediante citometría de flujo, tras la estimulación y el marcaje con anticuerpos específicos. Los resultados obtenidos muestran que el tratamiento con Adiro® no se asocia a una disminución significativa de la expresión de P-selectina frente a ninguno de los agonistas empleados.

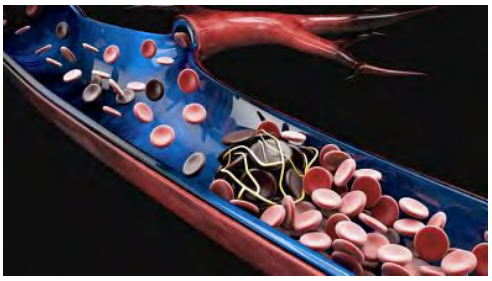
Palabras clave: enfermedad cardiovascular, plaquetas, P-selectina, Adiro®.

1. Introducción

La mayoría de las personas se sorprenderían al descubrir que, más allá de su función vital en la coagulación y la cicatrización, las plaquetas no siempre trabajan a favor de la salud. En determinadas condiciones, estas pequeñas células sanguíneas pueden convertirse en aliadas del riesgo trombótico, favoreciendo la formación de coágulos que, en lugar de proteger, ponen en peligro la vida del paciente.

Figura 1

Trombosis arterial

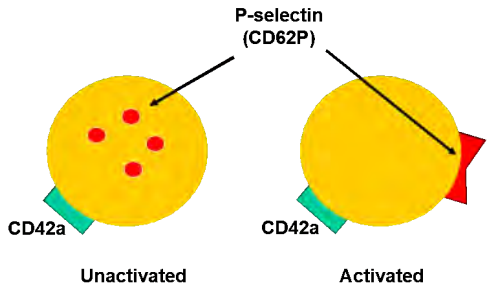


Fuente: MD. Saudé

La prevención secundaria en pacientes con enfermedad cardiovascular es fundamental para reducir la formación de trombos responsables de eventos como el infarto de miocardio o el ictus. Entre las estrategias más eficaces se encuentran los fármacos antiagregantes plaquetarios, cuyo objetivo es interferir en los mecanismos de activación plaquetaria. Entre ellos destaca el ácido acetilsalicílico (Adiro®), ampliamente utilizado en la práctica clínica. Sin embargo, su eficacia no es uniforme, ya que factores como el índice de masa corporal (IMC), o la capacidad antioxidante pueden modificar la respuesta al tratamiento. Por ello, ha aumentado el interés por identificar biomarcadores que permitan evaluar la activación plaquetaria y optimizar la prevención secundaria.

La P-selectina se ha consolidado en el estado actual del conocimiento como un marcador clave de activación plaquetaria, implicado tanto en la formación de agregados celulares como en los procesos inflamatorios asociados a la enfermedad cardiovascular. No obstante, la evidencia científica disponible no es completamente consistente en cuanto a su modulación por los fármacos antiagregantes. En este sentido, algunos estudios indican que la inhibición plaquetaria inducida por aspirina (Adiro®) no siempre se acompaña de una disminución en la expresión de P-selectina (Gusti et al., 2017), lo que sugiere la existencia de mecanismos de activación plaquetaria independientes de la vía del ácido araquidónico. Ante esta falta de consenso en el estado del arte, resulta pertinente analizar la expresión de P-selectina en poblaciones específicas, como la de adultos mayores, caracterizadas por un mayor riesgo cardiovascular.

Figura 2
Esquema P-selectina



Fuente. Elaboración propia

Para el estudio de la función plaquetaria se emplean distintos agonistas, moléculas que inducen la activación plaquetaria. Entre ellos utilizamos el ADP, que actúa a través de los receptores P2Y12, y el TRAP, que simula la acción de la trombina mediante los receptores PAR-1. El uso de ambos permite evaluar la activación plaquetaria a través de diferentes vías de señalización.

2. Antecedentes

Diversos estudios han demostrado que la P-selectina refleja la activación plaquetaria y participa en la formación de agregados celulares y en la respuesta inflamatoria. Sin embargo, su modulación por los antiagregantes no está completamente establecida, ya que algunos trabajos señalan que su expresión no se reduce tras el tratamiento con aspirina. Ante esta falta de consenso, resulta relevante analizar la expresión de P-selectina en poblaciones específicas, como la de adultos mayores, donde el riesgo cardiovascular es mayor.

Este estudio se basa en una cohorte previamente analizada en la que se evaluó la eficacia del ácido acetilsalicílico. En dicha cohorte se observó que la aspirina inhibe la agregación plaquetaria inducida por ácido araquidónico, pero no modifica la respuesta a agonistas como ADP y TRAP, que actúan a través de vías independientes de la COX-1. Estos resultados plantean la necesidad de estudiar biomarcadores como la P-selectina para determinar si su expresión también es independiente del tratamiento.

3. Objetivos e hipótesis

3.1 Objetivos

Los objetivos de nuestra investigación son:

1. Evaluar si la aspirina (Adiro®) altera la expresión de P-selectina en respuesta a diferentes agonistas plaquetarios (ADP y TRAP).
2. Analizar la posible existencia de una relación dosis-respuesta en la expresión de P-selectina frente a diferentes concentraciones de ADP y TRAP.
3. Valorar la correlación entre la expresión de P-selectina y variables clínicas como el índice de masa corporal (IMC) y la capacidad antioxidante.
4. Comparar los resultados obtenidos con la evidencia científica existente, con el fin de determinar si la vía de la P-selectina está implicada en el mecanismo de acción del Adiro®.

3.2 Hipótesis

Por todo ello se plantea la siguiente hipótesis:

“La administración de ácido acetilsalicílico (Adiro®) no modifica la expresión de P-selectina en plaquetas estimuladas con los agonistas ADP y TRAP.”

4. Materiales y métodos

El presente trabajo se enmarca dentro de un estudio experimental y explicativo, con un enfoque analítico–inductivo, cuyo propósito ha sido analizar la expresión de P-selectina

(CD62P) en plaquetas de pacientes con enfermedad cardiovascular tratados con ácido acetilsalicílico (Adiro®), comparándolos con individuos sanos. Además, se ha evaluado la posible influencia de factores clínicos y fisiológicos, como el índice de masa corporal (IMC) y la capacidad antioxidante total, sobre el grado de activación plaquetaria.

El proyecto se desarrolló bajo la supervisión del Dr. David Cecilio Iyú, decano de la Facultad de Ciencias Sociosanitarias del Campus de Lorca (Universidad de Murcia), entre los meses de marzo y junio de 2025.

4.1 Cohorte de Estudio

La cohorte estuvo compuesta por 24 individuos: 10 pacientes en prevención secundaria de enfermedad cardiovascular tratados con ácido acetilsalicílico (Adiro®) y 14 controles sanos sin antecedentes cardiovasculares ni tratamiento antiagregante. A cada uno se le extrajeron 6 mililitros de sangre venosa distribuidos en dos tubos.

La edad de los participantes osciló entre 60 y 80 años, un rango especialmente relevante para el estudio de la fisiopatología cardiovascular, ya que en esta etapa aumenta significativamente la incidencia de trombosis y enfermedad arterial.

Las muestras de sangre periférica se obtuvieron en el Centro de Salud San Diego (Lorca) tras la firma del consentimiento informado. Posteriormente, fueron procesadas en los laboratorios de la Facultad de Ciencias Sociosanitarias de Lorca y en el Campus de San Javier (Universidad de Murcia).

4.2 Equipamiento y Materiales

4.2.1 Tallímetro y Báscula

Para determinar el índice de masa corporal (IMC) de los participantes, se emplearon un tallímetro y una báscula digital de precisión. La estatura se midió con el tallímetro con una exactitud de ±0,1 cm, mientras que el peso corporal se obtuvo mediante la báscula, con una precisión de ±0,1 kg. Ambos valores se utilizaron para calcular el IMC.

Este parámetro permitió clasificar a los individuos según su composición corporal y estudiar su posible relación con la expresión de P-selectina.

4.2.2 Multi-Sample Agitator (MSA)

El Multi-Sample Agitator (MSA) (ver **Figura 3**), desarrollado por la Unidad de Ingeniería Médica de la Universidad de Nottingham (Reino Unido), es un dispositivo de incubación tipo termobloque magnético, diseñado para mantener condiciones controladas de temperatura y agitación durante la manipulación de muestras biológicas.

El equipo dispone de dos círculos concéntricos para la colocación de tubos: uno externo que admite hasta cinco tubos de 10–15 mL (máx. 16,8 mm de diámetro) y otro interno que recoge hasta doce tubos LP3 (64×11 mm), sometidos a campo magnético para mover microbarras agitadoras.

La agitación puede regularse entre 200 y 2000 rpm, mientras que la temperatura se mantiene estable a 37 °C, ajustable de 0 °C a 50 °C, con pantalla digital de control.

En este estudio, el MSA se utilizó para la incubación de las muestras sanguíneas en condiciones estandarizadas, tanto con como sin agitación. En el caso del análisis de P-selectina, las incubaciones se realizaron sin agitación, con el objetivo de preservar la estructura plaquetaria y evitar una activación mecánica no deseada.

4.2.3 Reactivos, Fijadores y Anticoagulantes

En primer lugar, para la conservación de las muestras de sangre se utilizó citrato sódico al 3,13 %, que actúa como anticoagulante al interferir en la coagulación y evitar la agregación plaquetaria, permitiendo así preservar las plaquetas en condiciones adecuadas para su posterior análisis. En la fase de estimulación plaquetaria, se añadió EDTA con el objetivo de evitar la agregación de las plaquetas durante el procedimiento experimental, facilitando una correcta manipulación de las muestras y una medición más precisa de la activación individual de las plaquetas. Posteriormente, se incorporaron los agonistas plaquetarios ADP o TRAP, utilizados para inducir la activación de las plaquetas a través de diferentes mecanismos de señalización. El uso de ambos agonistas permitió evaluar y comparar la respuesta plaquetaria frente a distintos estímulos. Una vez añadidos, se empleó PAMFix, un fijador celular que permite mantener las plaquetas en el estado en el

que se encontraban en el momento de la extracción, evitando activaciones artificiales que pudieran alterar los resultados experimentales.

Por último, se llevó a cabo la fase de detección molecular, en la que se emplearon anticuerpos específicos marcados con fluorocromos para la identificación de las plaquetas y la evaluación de su grado de activación. El análisis de las muestras mediante citometría de flujo permitió cuantificar de manera precisa la activación plaquetaria y la expresión de P-selectina en las distintas condiciones experimentales.

4.2.4 Citómetro de flujo BD FACSCanto II

El análisis de la activación plaquetaria se realizó mediante citometría de flujo, utilizando un citómetro BD FACSCanto II (Becton Dickinson) (ver **Figura 4**), equipo que permite cuantificar la fluorescencia emitida por células individuales de forma precisa. En este estudio, se registraron al menos 3000 eventos por muestra, y se analizaron dos parámetros principales: el porcentaje de plaquetas positivas para CD62P (P-selectina) y la mediana de fluorescencia (Median Fluorescence Intensity, MFI), que refleja el nivel global de expresión de P-selectina en las plaquetas analizadas. El citómetro fue calibrado antes de cada sesión de análisis con el fin de garantizar la precisión y la reproducibilidad de los resultados obtenidos.

4.2.5 BQC Redox System

La capacidad antioxidante total de las muestras se determinó mediante el BRS Device / BQC Redox System (ver **Figura 5**), un analizador electroquímico diseñado para cuantificar el equilibrio redox de fluidos biológicos.

El equipo mide el potencial de oxidación–reducción (ORP) mediante microelectrodos, expresando los resultados en milivoltios (mV). Valores negativos indican una alta capacidad antioxidante, mientras que valores positivos reflejan un predominio oxidante.

4.3 Procedimiento Experimental

Una vez obtenidas las muestras de sangre, estas se dejaron atemperar a temperatura ambiente con el fin de estabilizar las condiciones experimentales antes de su procesamiento. Posteriormente, las muestras se incubaron en el *Multi-Sample Agitator* a 37 °C, reproduciendo las condiciones fisiológicas necesarias para una correcta activación plaquetaria. A continuación, se añadió EDTA con el objetivo de evitar la agregación de las plaquetas durante el procedimiento experimental, garantizando así una adecuada manipulación de las muestras.

Seguidamente, se incorporaron a las muestras los agonistas plaquetarios ADP o TRAP, empleados para inducir la activación de las plaquetas mediante distintas vías de señalización. Las muestras se estimularon durante un periodo comprendido entre 4 y 6 minutos, tiempo suficiente para permitir la externalización de la P-selectina en la superficie plaquetaria. Tras la estimulación, se añadió PAMFix con el fin de fijar las células y detener la activación plaquetaria, preservando el estado de las plaquetas en el momento de la medición.

Posteriormente, se procedió al marcaje de las muestras con anticuerpos específicos para la detección de P-selectina. Finalmente, las muestras fueron analizadas mediante citometría de flujo, lo que permitió cuantificar de forma precisa el porcentaje de plaquetas activadas y evaluar la expresión de P-selectina en las diferentes condiciones experimentales.

4.4 Análisis de la Activación Plaquetaria

La expresión de P-selectina (CD62P) se cuantificó por citometría de flujo. Cada muestra se analizó registrando el número de plaquetas CD62P positivas y la MFI. Estos valores se compararon entre pacientes tratados con Adiro® y controles sanos para determinar si el tratamiento modificaba la activación plaquetaria inducida por ADP o TRAP.

4.5 Consideraciones Éticas

El presente estudio se desarrolló con la conformidad y aprobación del Comité de Ética de la Investigación del Área III de Salud, asegurando en todo momento el cumplimiento de la legislación vigente y de los estándares éticos aplicables a la

investigación biomédica en seres humanos. La participación en el estudio fue totalmente voluntaria y no conllevó ningún tipo de riesgo adicional para los sujetos incluidos.

Antes de la obtención de las muestras biológicas, a todos los participantes se les proporcionó una hoja de información detallada en la que se explicaban de forma clara y comprensible los objetivos del estudio, el procedimiento experimental, así como los posibles beneficios derivados de la investigación. Tras la lectura de dicha información, los participantes firmaron el correspondiente consentimiento informado previo a la extracción de sangre.

Durante todo el proceso se garantizó la confidencialidad de los datos personales y clínicos, así como su tratamiento de manera anónima y codificada, de acuerdo con la normativa de protección de datos vigente. Asimismo, se veló por el bienestar físico y psicológico de los participantes en cada una de las fases del estudio. Todas las actuaciones se realizaron conforme a los principios éticos establecidos en la Declaración de Helsinki, asegurando una investigación responsable, respetuosa y centrada en la protección de los derechos de los sujetos participantes.

5. Resultados

5.1 Expresión de P-selectina en respuesta a ADP y TRAP

Los resultados obtenidos muestran que no se observaron diferencias significativas en la expresión de P-selectina (CD62P) entre los pacientes tratados con ácido acetilsalicílico (Adiro®) y el grupo control, tras la estimulación plaquetaria con los agonistas ADP y TRAP. Tanto el porcentaje de plaquetas CD62P positivas como la mediana de fluorescencia (MFI)* se mantuvieron en niveles comparables en ambos grupos, lo que sugiere que el tratamiento con Adiro® no modifica de forma apreciable la activación plaquetaria medida mediante este marcador de superficie.

Aunque las diferencias no alcanzaron significación estadística, se observó una ligera tendencia a valores de fluorescencia basal algo superiores en el grupo control, lo que podría reflejar variaciones individuales en el estado inflamatorio o en la reactividad plaquetaria previa. En cualquier caso, las respuestas obtenidas tras la estimulación con 1 µM y 10 µM de ADP o TRAP se mantuvieron estables, sin mostrar un patrón dosis–dependiente.

Estos resultados son coherentes con los datos previos obtenidos en la misma cohorte, en los que tampoco se observaron diferencias en la agregación plaquetaria frente a estos mismos agonistas. En conjunto, los hallazgos refuerzan la hipótesis de que la vía de la P-selectina, al menos en lo referente a la activación inducida por ADP y TRAP, no se ve modulada por el ácido acetilsalicílico. Este comportamiento coincide con los resultados descritos por Rinder et al. (1993) y Fox et al. (2009), quienes destacaron la escasa sensibilidad de la P-selectina a la inhibición ejercida por la aspirina, en contraste con otros biomarcadores más directamente vinculados a la vía del tromboxano A_2.

Figura 6

Comparación de la expresión de P-selectina en plaquetas estimuladas con (a) ADP y (b) TRAP en pacientes tratados con Adiro®.

Fuente: Elaboración propia.

5.2 Análisis dosis–respuesta

En el análisis dosis–respuesta tampoco se evidenció una relación clara entre las diferentes concentraciones de ADP y TRAP y los niveles de expresión de P-selectina. La respuesta plaquetaria se mantuvo estable independientemente de la dosis utilizada, lo que sugiere que la inhibición ejercida por Adiro® no influye en la sensibilidad de la P-selectina frente a estos agonistas.

Desde un punto de vista farmacológico, estos resultados son esperables, ya que el ácido acetilsalicílico actúa bloqueando de forma irreversible la ciclooxigenasa-1 (COX-1) e impidiendo la síntesis de tromboxano A_2, pero no interfiere con los receptores P2Y12 (ADP) ni PAR-1 (TRAP). Por tanto, la ausencia de modificaciones dosis–dependientes respalda la idea de que la aspirina tiene un efecto limitado sobre las vías de señalización plaquetaria no dependientes de COX-1 (Patrono et al., 2005; Gurbel & Tantry, 2010).

5.3 Correlación con Variables Clínicas (IMC y capacidad antioxidante)

Los análisis de correlación no mostraron asociaciones significativas entre los niveles de expresión de P-selectina y variables clínicas como el índice de masa corporal (IMC) o la capacidad antioxidante total. Tanto en los pacientes tratados con Adiro® como en el grupo control, la dispersión de los valores fue homogénea y no se evidenciaron tendencias lineales entre las variables analizadas. En otras palabras, ni el exceso de peso ni el estado antioxidante parecen modular de forma directa la expresión de este marcador de activación plaquetaria.

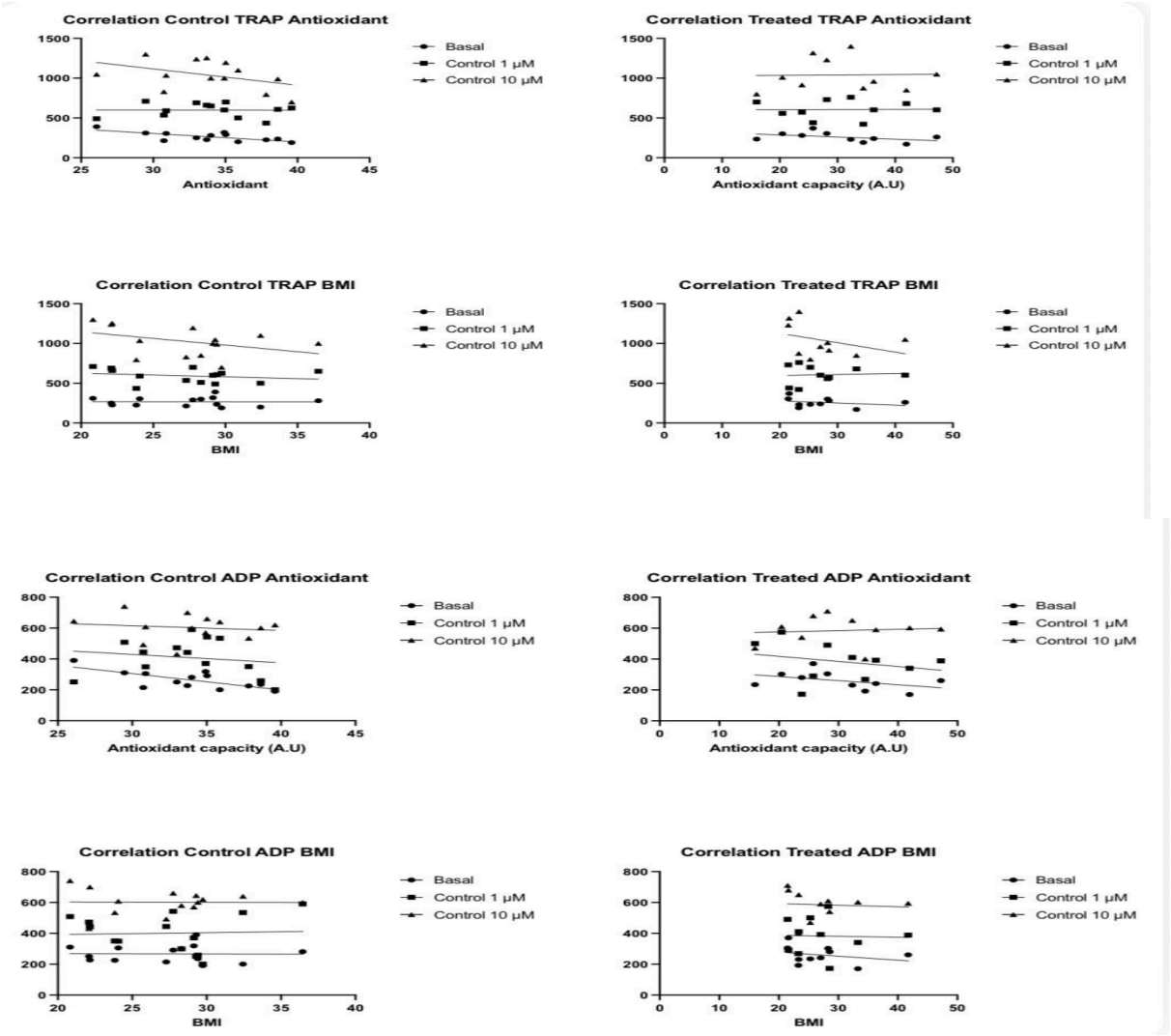
Estos hallazgos resultan particularmente relevantes si se tiene en cuenta que la obesidad y el estrés oxidativo se consideran factores moduladores de la reactividad plaquetaria. En individuos con IMC elevado, se ha descrito un aumento de la activación inflamatoria sistémica y de la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS), que pueden alterar el equilibrio entre moléculas vasoprotectoras (como el óxido nítrico y la prostaciclina) y factores proagregantes (Davì & Patrono, 2007). Este desequilibrio suele potenciar la activación plaquetaria y, en algunos estudios, ha mostrado reducir la eficacia de los antiagregantes convencionales, especialmente del ácido acetilsalicílico.

Sin embargo, en la cohorte analizada no se observaron correlaciones claras entre estas variables y la P-selectina, lo que podría explicarse por varias razones. En primer lugar, el tamaño muestral relativamente limitado puede haber reducido la potencia estadística para detectar asociaciones sutiles. En segundo lugar, los participantes presentaban una homogeneidad clínica considerable, lo que disminuye la variabilidad interindividual en parámetros como el IMC o el perfil oxidativo. Finalmente, es posible que la P-selectina no sea un marcador lo suficientemente sensible a las variaciones metabólicas o inflamatorias inducidas por estos factores, en comparación con otros indicadores de activación plaquetaria como CD63 o el nivel plasmático de micropartículas.

Desde una perspectiva fisiopatológica, la ausencia de correlación refuerza la idea de que la modulación del efecto antiagregante de la aspirina por el IMC o el estrés oxidativo no se manifiesta necesariamente en todos los biomarcadores de activación plaquetaria. En este sentido, los resultados obtenidos aportan información complementaria a la literatura existente (Rocca & Patrono, 2015), subrayando la necesidad de incluir muestras más amplias y heterogéneas en futuros estudios para esclarecer la influencia real de estos factores sobre la eficacia del tratamiento antiagregante.

Figura 7

Correlaciones entre la expresión de P-selectina, el índice de masa corporal (IMC) y la capacidad antioxidante en controles y pacientes tratados con Adiro®. Paneles (a–f): comparaciones ADP/IMC, ADP/capacidad antioxidante, TRAP/IMC y TRAP/capacidad antioxidante.



Fuente: Elaboración propia.

5.4 Comparación con la Literatura Científica

Los resultados de este estudio se alinean con lo descrito por Merten y Thiagarajan (2000) en la revista *Circulation*, quienes destacaron que la expresión de P-selectina refleja fundamentalmente la activación plaquetaria, pero no siempre se modifica con la inhibición farmacológica por aspirina. Del mismo modo, Ivanov et al. (2019), en *Scientific Reports*, evidenciaron que la P-selectina juega un papel esencial en el vínculo entre inflamación y trombosis, aunque su modulación farmacológica por antiagregantes como la aspirina es limitada.

Por otro lado, nuestros hallazgos complementan la visión de autores españoles como Rodríguez Artalejo y Del Rey Calero (1999), quienes ya señalaron la necesidad de optimizar las estrategias de prevención secundaria, así como de Ruiz-Durante (2006), que subrayó la infrautilización clínica de los antiagregantes. En este contexto, la ausencia de cambios significativos en la expresión de P-selectina en respuesta al tratamiento con Adiro® aporta evidencia adicional sobre los límites de este fármaco en vías plaquetarias específicas.

5.5 Valor Añadido de la Cohorte de Estudio

Un aspecto destacado de este trabajo es la singularidad de la cohorte utilizada. El estudio se realizó en adultos mayores de entre 60 y 80 años, lo que representa el grupo de

mayor riesgo cardiovascular en la práctica clínica. La inclusión de un grupo control sano en este rango etario constituye un mérito metodológico importante, ya que resulta extremadamente difícil encontrar individuos de esta edad que no estén en tratamiento con antiagregantes u otros fármacos crónicos.

Este hecho aporta un valor diferencial al estudio, dado que la mayoría de investigaciones previas se han centrado en poblaciones más jóvenes o heterogéneas, limitando la aplicabilidad de sus resultados en el contexto clínico real. Así, los datos aquí obtenidos permiten una aproximación más directa a la realidad de la prevención secundaria en la población anciana, donde el riesgo de trombosis recurrente es especialmente elevado.

5.6 Interpretación General

En conjunto, los resultados obtenidos muestran que el tratamiento con ácido acetilsalicílico (Adiro®) no parece modificar de forma evidente la expresión de P-selectina en plaquetas estimuladas con ADP y TRAP. Asimismo, no se encontraron correlaciones relevantes con variables clínicas como el IMC o la capacidad antioxidante. Estos hallazgos son coherentes con la literatura científica previa, que señala la limitada influencia de la aspirina sobre la vía de la P-selectina.

Estos resultados ponen de relieve la necesidad de seguir explorando biomarcadores alternativos para una evaluación más precisa de la respuesta individual a los antiagregantes, especialmente en la población anciana, donde el riesgo trombótico es más elevado.

6. Conclusiones

A pesar del rigor metodológico empleado, el presente estudio presenta algunas limitaciones que deben tenerse en cuenta en la interpretación de los resultados. En primer lugar, el tamaño muestral fue relativamente reducido, lo que puede limitar la potencia estadística para detectar asociaciones sutiles entre la expresión de P-selectina y las variables clínicas analizadas. Asimismo, la cohorte estudiada mostró una elevada homogeneidad en cuanto a edad y perfil clínico, lo que, si bien aporta coherencia interna al estudio, puede restringir la extrapolación de los resultados a poblaciones más amplias y heterogéneas.

Por otro lado, la evaluación de la activación plaquetaria se centró exclusivamente en la P-selectina como biomarcador de superficie. Aunque se trata de un marcador ampliamente validado y de gran relevancia fisiopatológica, es posible que otros indicadores de activación plaquetaria —como CD63, PAC-1 o la liberación de micropartículas— presenten una mayor sensibilidad para detectar variaciones inducidas por factores metabólicos o por el tratamiento antiagregante. Finalmente, el diseño transversal del estudio impide analizar la evolución temporal de la expresión de P-selectina o establecer relaciones causales firmes, por lo que futuros trabajos con diseños longitudinales y muestras más amplias podrían aportar una visión más completa sobre la modulación de la activación plaquetaria en prevención secundaria.

De acuerdo con los resultados obtenidos, podemos concluir que:

1. El tratamiento con ácido acetilsalicílico (Adiro®) no produjo modificaciones significativas en la expresión de P-selectina tras la estimulación plaquetaria con ADP y TRAP, lo que sugiere que la vía de este marcador de activación no se ve directamente afectada por la acción del fármaco.
2. El análisis con diferentes concentraciones de agonistas no evidenció una relación dosis–respuesta clara en la expresión de P-selectina. La activación plaquetaria medida mediante este biomarcador se mantuvo estable en las distintas condiciones de estimulación.
3. No se observaron correlaciones significativas entre los niveles de P-selectina y variables clínicas como el índice de masa corporal (IMC) o la capacidad antioxidante. Estos resultados indican que dichos factores no condicionan de forma relevante la activación plaquetaria medida a través de este biomarcador en la cohorte estudiada.

4. Los hallazgos obtenidos son consistentes con la literatura previa, que señala la limitada influencia de la aspirina sobre la vía de la P-selectina, en contraste con su papel bien establecido en la inhibición de la síntesis de tromboxano A_2. Este estudio aporta además un valor añadido al haberse desarrollado en una cohorte de adultos mayores, un grupo de especial relevancia clínica y escasamente representado en investigaciones previas.

En conjunto, los resultados confirman la hipótesis planteada: la administración de ácido acetilsalicílico (Adiro®) no modifica la expresión de P-selectina en plaquetas estimuladas con ADP y TRAP. Estos hallazgos refuerzan la necesidad de seguir explorando biomarcadores alternativos de activación plaquetaria que permitan optimizar la prevención secundaria en pacientes con alto riesgo cardiovascular.

7. Agradecimientos

Por último, me gustaría agradecer a mis coordinadoras, por su apoyo diario.

Al D. David Cecilio Iyu Espinosa, sin él este proyecto no habría salido adelante.

A la Universidad de Murcia por permitirnos trabajar en su laboratorio.

A la enfermera Dña. Manuela Salas Lario por facilitarnos las muestras de sangre de los pacientes.

A mis familiares y amigos, en especial a mis padres, por su apoyo incondicional.

8. Webgrafía

Davì, G., & Patrono, C. (2007). Platelet activation and atherothrombosis. *New England Journal of Medicine, 357*(24), 2482–2494. https://doi.org/10.1056/NEJMra071014 (1.3)

Esmon, C. T. (2009). Basic mechanisms and pathogenesis of venous thrombosis. *Blood Reviews, 23*(5), 225–229. https://doi.org/10.1016/j.blre.2009.07.002 (1.2)

Fernando, R. A., & Del, R. C. J. (s. f.). *La prevención secundaria de la enfermedad cardiovascular es prioritaria pero resulta insuficiente*. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57271999000400001

Gusti, V., Zannad, F., Mureebe, L., & et al. (2017). Platelet P-selectin expression and aspirin response in cardiovascular prevention. Thrombosis Research, 150, 63–69. https://doi.org/10.1016/j.thromres.2016.12.016

Ivanov, I., Mihaylova, N., Deneva, T., & et al. (2019). P-selectin promotes monocyte–platelet aggregate formation and tissue factor expression in atherosclerotic patients. Scientific Reports, 9, 4064. https://doi.org/10.1038/s41598-019-40886-2

Merten, M., & Thiagarajan, P. (2000). P-selectin expression on platelets determines size and stability of platelet aggregates. Circulation, 102(16), 1931–1936. https://doi.org/10.1161/01.CIR.102.16.1931

Anexo A: Equipamiento

Figura 3
Multi-sample Agitator

Fuente. Elaboración propia

Figura 4
Citómetro de Flujo

Fuente: BD Biosciences

Figura 5
BRS Device/BQC Redox System

Fuente: Google images

Título del trabajo:
Percepciones del alumnado de secundaria sobre la conservación ambiental y el bienestar.

Autores: Antonio González Carrión y Moisés Birruezo Gutiérrez

Curso Académico: 2025/2026

Nivel: 1ºBachillerato

Datos de la Tutora: Ana María Machuca Reche

Centro docente: IES Floridablanca

Índice:

1. **Introducción (Pág. 4)**

2. **Antecedentes y estado de la cuestión (Pág. 4)**
   2.1. Antecedentes
   2.1. Estado de la cuestión
   2.3 Investigaciones previas

3. **Objetivos de la investigación (Pág. 5)**

4. **Materiales y métodos (Pág. 5)**

5. **Resultados (Pág. 6)**

6. **Conclusiones (Pág. 8)**

Agradecimientos (Pág. 9)

Bibliografía (Pág. 9)

Anexo (Pág. 10)

Resumen del Tema a desarrollar (250 palabras máximo, en castellano)

Esta investigación analiza la relación entre la percepción ambiental, la eco ansiedad y el bienestar en adolescentes. Se realizó un estudio cuantitativo, descriptivo y correlacional con una muestra de 231 alumnos, desde 1º ESO a 2º Bachillerato, del IES Floridablanca (Murcia). Los datos se recolectaron mediante un cuestionario estructurado de 11 secciones (escala Likert 0-5) y se analizaron con el software SPSS versión 28.0 mediante pruebas no paramétricas (Rho de Spearman, U de Mann-Whitney y Kruskal-Wallis).

Los resultados revelan una alta conciencia sobre los riesgos climáticos, especialmente en la salud pública. Se identifica la presencia de eco ansiedad, siendo la preocupación la emoción predominante. El género emerge como un factor determinante: las alumnas muestran mayor preocupación y acciones sostenibles, aunque reportan un menor bienestar percibido por la interferencia emocional. Existe una correlación significativa ($p=0.001$) donde las emociones negativas intensas (tensión o terror) actúan como motor movilizador hacia la acción proambiental. Asimismo, el bienestar psicológico facilita la disposición a cambiar hábitos contaminantes, mientras que se identifican barreras económicas y de comodidad que limitan acciones de mayor calado.

El estudio concluye que la educación ambiental temprana es fundamental para desarrollar la autoeficacia. Se subraya que la gestión emocional y el bienestar psicológico son pilares esenciales para sostener la capacidad de respuesta ante los desafíos del desarrollo sostenible, transformando la inquietud climática en un compromiso activo y duradero.

Resumen del Tema en inglés (250 palabras)

This research examines the relationship between environmental perception, eco-anxiety, and well-being among adolescents. A quantitative, descriptive, and correlational study was conducted with a sample of 231 students, from 1st year of ESO to 2nd year of Baccalaureate, at IES Floridablanca (Murcia). Data were collected using an 11-section structured questionnaire (Likert scale 0-5) and analyzed with SPSS software version 28.0 using non-parametric tests (Spearman's Rho, Mann-Whitney U, and Kruskal-Wallis).

The results reveal high awareness of climate risks, particularly regarding public health. Eco-anxiety is present, with concern being the predominant emotion. Gender is a decisive factor: female students exhibit higher levels of concern and sustainable actions, yet report lower perceived well-being due to emotional interference. A significant correlation ($p=0.001$) was found where intense negative emotions (tension or terror) act as a mobilizing engine for pro-environmental action. Similarly, psychological well-being facilitates the willingness to change polluting habits, while economic and comfort-related barriers are identified as factors that limit more significant actions.

The study concludes that early environmental education is essential for developing self-efficacy. It highlights that emotional management and psychological well-being are fundamental pillars for sustaining the capacity to respond to sustainable development challenges, transforming climate anxiety into an active and long-lasting commitment.

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1. Introducción

En la actualidad, hay una mayor conciencia sobre la importancia del cuidado del medioambiente, ya que, si no le damos la importancia que merece, podríamos tener terribles consecuencias en nuestro planeta. Temas como el cambio climático o el calentamiento global están en boca de todos, lo que nos hace concienciarnos de que, si no cambiamos nuestros hábitos, nuestro planeta pasará a ser inhabitable. Esta conciencia también incluye a los altos mandos que dirigen el mundo y se traduce en pactos como la agenda 2030, Objetivos de Desarrollo Sostenible, etc. Todo esto nos lleva a pensar que la industrialización del último siglo es insostenible para el mantenimiento del planeta.

Esto nos hace replantearnos los hábitos de las personas en la actualidad, así como los de las generaciones futuras y, por este motivo, queremos investigar y estudiar la percepción de los jóvenes de Educación Secundaria sobre la conservación ambiental.

Desde nuestra perspectiva, esta investigación resulta fundamental, ya que permite analizar la percepción sobre la conservación del medio ambiente y el bienestar que tienen los adolescentes. No contar con una adecuada formación en conservación ambiental y bienestar podría repercutir negativamente en los estudiantes, tanto en su desarrollo personal como en su compromiso con el entorno.

2. Antecedentes y estado de la cuestión

2.1. Antecedentes

La publicación del libro "Silent spring" (Carson, 1962) constituyó un punto de partida para la sociedad estadounidense respecto a la conciencia sobre cuestiones ambientales. La celebración del primer "Earth Day" en Nueva York el 22 de abril de 1970 extendió esta conciencia ambiental a todo el mundo, alcanzando un punto de inflexión con la publicación del "Informe Meadows" (llamado "Los límites del crecimiento"), que hacía hincapié sobre el peligroso futuro que esperaba a la especie humana si no se respetaba el medio ambiente (Meadows et al., 1972).

En 1987, el "Informe Brundtland" definió el concepto de desarrollo sostenible y estableció el punto de partida para la conciencia mundial sobre la protección del medio ambiente (WCED, 1987).

En 1992, la "Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo", que se celebró en Rio de Janeiro, elaboró un plan de acción estratégico llamado "Agenda 21" (ONU, 1992), en el cual los países signatarios se comprometieron a que sus gobiernos adoptaran medidas para lograr el desarrollo sostenible. En su capítulo 36, dedicado a promover la educación, la capacitación y la concienciación, solicitó específicamente la creación de conciencia sobre el medio ambiente y recomendó proporcionar educación ambiental desde la infancia hasta la edad adulta.

Como declararon Álvarez y Vega (2009), la educación ambiental que logra guiar a la sociedad hacia el desarrollo sostenible, debería ayudar a las personas a comprender y ser conscientes de la naturaleza global de los problemas ambientales que tienen lugar en todo el mundo. Para promover una vida más sostenible, la educación ambiental tiene que enseñar actitudes, conocimientos y valores.

2.2. Estado de la cuestión

En las últimas décadas, la preocupación por los problemas ambientales ha aumentado significativamente. Factores como el cambio climático, la contaminación, los deshielos y la pérdida de biodiversidad han generado interés en la conservación del medioambiente y en estilos de vida más sostenibles.

La educación juega un papel fundamental en el desarrollo de la conciencia ambiental en los adolescentes. El colegio y el instituto son un espacio clave para transmitir conocimientos y fomentar valores relacionados con la sostenibilidad y el respeto por el entorno natural.

Diversos estudios han señalado que la percepción de los problemas ambientales puede influir en el bienestar psicológico de las personas. Aparece el término "ansiedad climática", que es un fenómeno que describe las emociones negativas que algunas personas experimentan al pensar en las consecuencias del cambio climático.

Entender cómo perciben los jóvenes los problemas ambientales es especialmente relevante, ya que estas percepciones pueden influir en su comportamiento, rendimiento académico y en su bienestar personal.

2.3. Investigaciones previas

Numerosas investigaciones han analizado la relación entre la conciencia ambiental, el bienestar y las actitudes de los jóvenes hacia los problemas ambientales.

El estudio de Álvaro, Mayoral y Gavidia (2017), encontró que la educación es fundamental para mejorar el conocimiento y la sensibilización sobre cuestiones ambientales. La investigación de Clayton y Karazsia (2020) desarrolló una escala específica para medir la ansiedad asociada al cambio climático, mostrando que la preocupación por los problemas ambientales puede influir directamente en el bienestar emocional.

Otros autores han analizado la relación entre la ansiedad climática, el bienestar y las acciones proambientales en diferentes países (Ogunbode et al., 2022). Los resultados indican que las emociones relacionadas con el cambio climático pueden estar vinculadas con el bienestar subjetivo y la disposición a adoptar comportamientos más responsables.

Además, otras investigaciones como la de Van Wyk y Olwoch (2019) han concluido que el nivel educativo puede influir en la forma en que los jóvenes perciben los problemas ambientales.

En conjunto, estos trabajos destacan la importancia de la educación ambiental para el desarrollo de la conciencia ecológica y del bienestar en los jóvenes (Hossain, O'Neill y Strnadová, 2023). Sin embargo, todavía hay pocos estudios que analicen específicamente la percepción de los estudiantes de Educación Secundaria Obligatoria sobre la conservación ambiental y su relación con el bienestar.

3. Hipótesis de trabajo y objetivos de la investigación

El objetivo principal de la investigación es analizar las percepciones del alumnado de Educación Secundaria sobre la conservación ambiental y sus conexiones con el bienestar, tanto a nivel individual como a nivel colectivo. Para ello, se proponen los siguientes objetivos específicos.

1. Realizar una encuesta al alumnado de secundaria para analizar la percepción que tienen sobre la conservación del medio ambiente.

2. Analizar si existe alguna correlación significativa entre las distintas variables analizadas (bienestar, percepción del riesgo, disposición a actuar, frecuencia de información …)

4. Materiales y métodos

Este proyecto sigue una metodología cuantitativa. Se trata de un estudio descriptivo y correlacional, realizado a través de una encuesta de elaboración propia, basada en preguntas obtenidas de otras investigaciones relacionadas con el tema.

El cuestionario está constituido por preguntas de respuesta cerrada, con escala Likert del 0 al 5 (donde 0 representa la menor intensidad o frecuencia y 5 la máxima), y se estructuró en 10 bloques:

1- Datos sociodemográficos.
2- Bienestar.
3- Información sobre el cambio climático.
4- Índice de percepción de riesgo (en los próximos cincuenta años).
5- Conocimiento sobre los efectos del cambio climático en la salud.
6- Percepción de efectos graves del cambio climático en la salud.
7- Emociones frente al cambio climático.
8- Frecuencia de pensamientos y conductas relacionadas con el cambio climático.
9- Disposición a actuar frente al cambio climático.
10- Hábitos para intentar minimizar el cambio climático.

El cuestionario se realizó de forma digital, a través de Google Forms. La muestra está compuesta por 231 alumnos del IES Floridablanca, con representación de todos los niveles, desde 1ºESO hasta 2ºBachiller, pertenecientes a diversos itinerarios (Ciencias, Humanidades y Sociales, Artes) y con residencia tanto en entornos urbanos como mixtos y rurales. La distribución general permitió un análisis comparativo robusto.

Los datos recogidos se analizaron mediante estadística descriptiva e inferencial no paramétrica. En concreto, se usó el coeficiente rho de Spearman para correlacionar la percepción del riesgo y la disposición a actuar y el test U de Mann-Whitney y el de Kruskal-Wallis para evaluar la relación entre estas variables y los grupos establecidos según los distintos factores sociodemográficos. Para estos análisis se utilizó el software de análisis estadístico SPSS versión 28.0. El nivel de significancia se estableció en un valor $p < 0,05$.

5. Resultados

El análisis se ha dividido en dos grandes bloques: un primer análisis descriptivo para comprender la tendencia general de la muestra, y un análisis inferencial destinado a identificar diferencias estadísticamente relevantes, según las variables demográficas de género y nivel educativo (curso).

Análisis Descriptivo:

- **Niveles de Bienestar del Alumnado:**

El cuestionario evaluó cinco facetas fundamentales del bienestar percibido en las últimas dos semanas. De manera general, el bienestar relacional y físico obtuvieron las puntuaciones medias más elevadas, mientras que el bienestar psicológico (serenidad y equilibrio mental) mostró una variabilidad mayor, con puntuaciones medias-bajas en una parte considerable del alumnado. La valoración global fue positiva (media 3,5), aunque con margen de mejora en el aspecto emocional.

- **Percepción y Conocimiento sobre el Cambio Climático:**

La frecuencia con la que los estudiantes leen o escuchan información sobre la crisis climática se sitúa principalmente entre “A veces” y “Frecuentemente”. Es destacable que las Redes Sociales y los Medios de comunicación se erigen como las fuentes de información primarias, superando en muchos casos al ámbito académico o familiar.
Respecto a las consecuencias futuras (próximos 50 años), el alumnado muestra un grado de certidumbre muy elevado (valores entre 4 y 5) frente a escenarios como la escasez de agua y la disminución del nivel de vida. Asimismo, la práctica totalidad asume que el cambio climático ya está repercutiendo en la salud (aumento de alergias, enfermedades respiratorias y golpes de calor), considerando que las personas ya están enfermando e incluso muriendo a causa de este fenómeno.

- **Emociones Asociadas (Ecoansiedad):**

Al evaluar las emociones que genera la emergencia climática, los datos confirman la presencia de lo que la literatura denomina "ecoansiedad" en una porción de la muestra. Las puntuaciones más altas se agrupan en torno a:

● Preocupación: Es la emoción predominante (media de 3.5).
● Tensión y Ansiedad: Presentes de forma moderada, destacando casos donde los alumnos afirman sentir terror o altos grados de ansiedad (valores de 4 o 5).
● Indiferencia y Calma: Obtienen puntuaciones notablemente bajas, lo que demuestra que el alumnado no es ajeno ni apático a la problemática.
Sin embargo, a pesar de estas emociones negativas, la mayoría de los encuestados indica que esta preocupación casi nunca o poco interfiere directamente en su rendimiento académico o en su capacidad de disfrutar con amigos, limitando el impacto clínico de dicha ecoansiedad.

- **Disposición a la Acción y Barreras Percibidas:**

Existe una fuerte disonancia entre la intención y la acción. Los estudiantes manifiestan altos niveles en la afirmación "Desearía comportarme de manera más sostenible" y afirman realizar acciones sencillas (apagar las luces, reciclar, reutilizar ropa) con frecuencia alta. Además, la mayoría cree que "puede hacer algo para ayudar a afrontar el cambio climático" (alta autoeficacia percibida).
No obstante, cuando se les pregunta por la disposición a realizar acciones de mayor calado (instalar paneles solares, reducir drásticamente el consumo de carne, usar transporte público continuo), la frecuencia cae. Las barreras identificadas más frecuentemente por el alumnado son:

1. Factores Económicos: Principal impedimento para la compra de electrodomésticos eficientes o productos locales/ecológicos.
2. Comodidad y Hábitos Arraigados: Aparece sistemáticamente como barrera para utilizar menos el aire acondicionado, comer menos carne o ir en bicicleta.
3. Falta de Tiempo y Esfuerzo Percibido: Muy relacionada con los desplazamientos habituales y el reciclaje complejo.
4. Falta de Infraestructuras o Alternativas Reales: Subrayada especialmente para el uso del transporte público en estudiantes de entornos rurales o mixtos.

Análisis Inferencial

1. Datos sociodemográficos (Género, curso y residencia).
En cuanto a las correlaciones obtenidas entre las distintas variables, cabe destacar que el género es un factor determinante. Existe una relación significativa ($p=0,01$) entre el género y la disposición a actuar. Se percibe que el género femenino presenta niveles más altos de preocupación y una mayor frecuencia en acciones como reciclar, apagar las luces e intentar reducir conductas contaminantes. Asimismo, existe otra correlación significativa entre el género y el bienestar: el género femenino tiende a reportar niveles de bienestar percibido menores y una mayor frecuencia de interferencia de la preocupación climática en su vida diaria en comparación con el género masculino.

Si analizamos ahora las diferencias por niveles educativos, se observa que la correlación entre el curso y la atención o acción no es significativa ($p>0,05$), lo que indica que tanto alumnos de la ESO como de Bachillerato muestran niveles parecidos de compromiso. Sin embargo, en cuanto al tipo de barreras que les impiden actuar, los alumnos de Bachillerato señalan barreras estructurales (desconfianza en el sistema), mientras que los de la ESO las señalan en la comodidad personal. Por último, no existe ninguna correlación significativa respecto al lugar de residencia; los datos confirman que la preocupación y la voluntad de actuar no dependen del lugar de residencia (urbano, rural o mixto).

2. Bienestar Personal.
Analizando ahora las variables relacionadas con el bienestar personal, se halló una correlación positiva donde los alumnos que señalan niveles altos en "sentirse activos y con energía" también reportan un bienestar físico completo. En cuanto a la disposición al cambio, los estudiantes con mayor bienestar psicológico mostraron una mayor disposición a intentar reducir conductas contaminantes, a diferencia de los alumnos con menor bienestar psicológico, que se mostraron más reacios a realizar dichos cambios.

3. Información y Emociones.
Se observa que a mayor atención prestada a la información sobre el cambio climático, mayor es la puntuación en emociones de preocupación, tensión y ansiedad. El uso de redes sociales como fuente principal se correlaciona con niveles de terror y ansiedad superiores a los de quienes se informan por medios académicos o familiares, debido posiblemente a la abundancia de noticias falsas o sensacionalistas. Una de las correlaciones más fuertes del estudio ($p=0,001$) revela que sentir tensión, ansiedad o terror se traduce en una alta disposición a actuar, confirmando que estas emociones negativas actúan como un motor de cambio.

4. Percepción de Riesgo e Interferencia.
Los alumnos que vinculan más enfermedades al clima (como asma o infecciones) correlacionan con la creencia de que su nivel de vida familiar disminuirá. Además, niveles altos de preocupación climática se asocian con una mayor dificultad para disfrutar con amigos o realizar tareas académicas. En el ámbito de los hábitos, el sentimiento de culpabilidad por desperdiciar energía está directamente relacionado con la conducta de apagar siempre las luces.

5. Barreras para la Acción.
Las acciones que requieren inversión tecnológica (paneles o coches eficientes) se vinculan casi exclusivamente con la barrera económica. Por el contrario, reducir el uso de aire acondicionado o el consumo de carne se correlaciona con la comodidad y los hábitos arraigados. Finalmente, residir en un ambiente rural o mixto se correlaciona con identificar la falta de infraestructuras como el mayor impedimento para la movilidad sostenible, una barrera que no perciben los alumnos del entorno urbano.

6. Conclusiones

Concluimos que se han cumplido todos los objetivos planteados en esta investigación, habiendo completado la encuesta y el análisis de datos de forma exitosa.

El análisis descriptivo revela un alumnado con un elevado nivel de información y una conciencia clara sobre los riesgos reales del cambio climático, especialmente en su impacto sobre la salud pública. No obstante, se detecta una notable presencia de ecoansiedad, siendo la preocupación la respuesta emocional predominante que marca el sentir general del centro.

Por otro lado, los resultados demuestran que la educación ambiental a una edad temprana es fundamental para que los jóvenes desarrollen una autoeficacia sólida y hábitos sostenibles duraderos. El bienestar psicológico actúa como un facilitador clave para el compromiso ecológico; por el contrario, la ecoansiedad, manifestada a través del terror o la tensión, no paraliza al alumnado, sino que funciona como el principal motor que impulsa la disposición a actuar de forma inmediata. No obstante, existe una clara diferencia entre el deseo de ser sostenible y la ejecución de acciones reales debido a barreras económicas, barreras de comodidad y a la falta de infraestructuras en zonas rurales.

En definitiva, la implicación emocional del alumnado es el pilar esencial que sostiene su capacidad de respuesta ante los desafíos actuales del desarrollo sostenible.

En cuanto a las limitaciones principales que se han presentado a lo largo de la investigación, destacan la dificultad de los estudiantes para clasificar sus propias emociones, lo que sugiere la necesidad de implementar programas de educación emocional previos a futuras encuestas. También, al no tener un gran conocimiento sobre herramientas estadísticas de análisis, como el SPSS, se ha necesitado la ayuda de investigadoras de la Universidad de Murcia, para el análisis inferencial.

Para futuras líneas de investigación, se recomienda ampliar el estudio a diferentes franjas de edad, así como realizar comparaciones entre distintos centros educativos a nivel nacional para contrastar estas tendencias regionales.

7. Agradecimientos

Agradecemos a nuestra tutora del centro y profesora Ana Mª Machuca Reche por su gran implicación con el proyecto, así como a las investigadoras de la Universidad de Murcia, Magdalena Valverde Pérez e Isabel Baños González, por su gran ayuda a la hora de resolvernos dudas de nuestro trabajo.

8. Bibliografía

Álvaro, N., Mayoral, O. y Gavidia, V. (2017) 'Competencias en salud ambiental de los jóvenes valencianos', *Enseñanza de las ciencias*, (Extra), pp. 811-816.

Clayton, S. y Karazsia, B. T. (2020) 'Development and validation of a measure of climate change anxiety', *Journal of Environmental Psychology*, 69, 101434. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2020.101434.

DeBono, R., Vincenti, K. y Calleja, N. (2012) 'Risk communication: climate change as a human-health threat, a survey of public perceptions in Malta', *European Journal of Public Health*, 22(1), pp. 144–149. Disponible en: https://doi.org/10.1093/eurpub/ckq181.

Hossain, S., O'Neill, S. y Strnadová, I. (2023) 'What Constitutes Student Well-Being: A Scoping Review Of Students' Perspectives', *Child Indicators Research*, 16, pp. 447–483. Disponible en: https://doi.org/10.1007/s12187-022-09990-w.

Ogunbode, C. A., Doran, R., Hanss, D., Ojala, M., Salmela-Aro, K., van den Broek, K. L. y Karasu, M. (2022) 'Climate anxiety, wellbeing and pro-environmental action: correlates of negative emotional responses to climate change in 32 countries', *Journal of Environmental Psychology*, 84, 101887. Disponible en: https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2022.101887.

Prado-Gascó, V., Romero-Reignier, V., Mesa-Gresa, P. y Belén Górriz, A. (2020) 'Subjective well-being in Spanish adolescents: Psychometric properties of the scale of positive and negative experiences', *Sustainability*, 12(10), 4011. Disponible en: https://doi.org/10.3390/SU12104011.

Van Wyk, E. y Olwoch, J. (2019) 'Environmental consciousness differences between primary and secondary school students', *Journal of Cleaner Production*, 227, pp. 712–723.

World Health Organization (2024) *The World Health Organization-Five Well-Being Index (WHO-5)*. Ginebra: World Health Organization.

9. Anexos

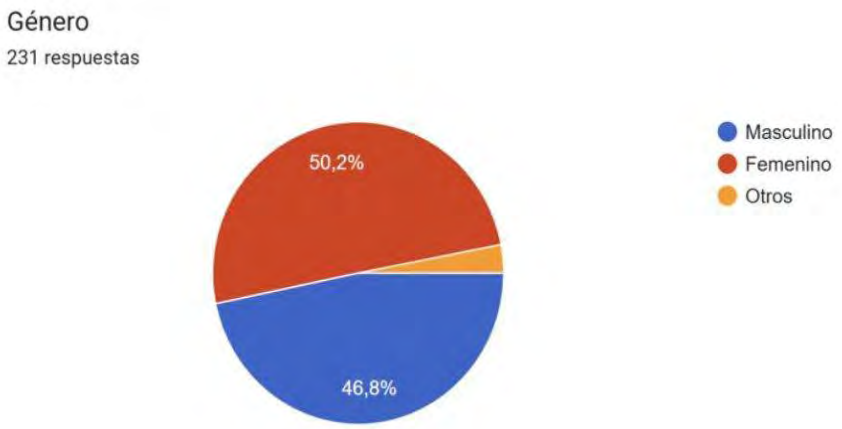


Figura 1: Género de los participantes. Fuente: elaboración propia.

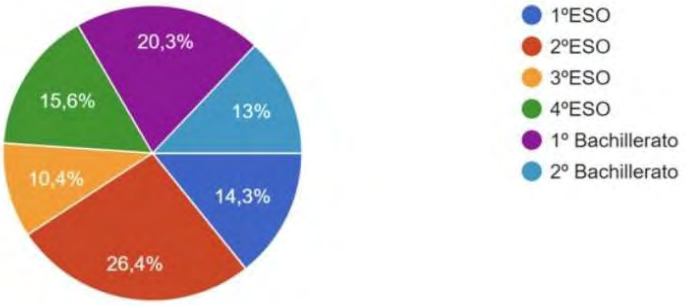


Figura 2: Nivel educativo de los participantes. Fuente: elaboración propia.

Figura 3: Atención que los participantes prestan a la información relacionada con el cambio climático.

Fuente: elaboración propia.

Figura 4: Principales fuentes de información. Fuente: elaboración propia

Figura 5: Frecuencia con la que los participantes obtienen información. Fuente: elaboración propia.

Figura 5: Hábitos de reciclaje. Fuente: elaboración propia.

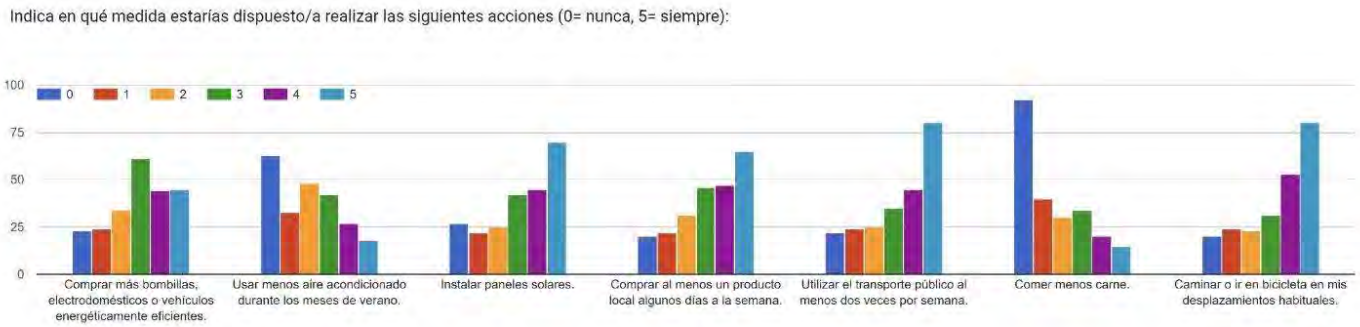


Figura 6: Disposición a actuar. Fuente: elaboración propia

Tabla cruzada

			Total
Global_Emociones_Negativas_Intervalo	Emociones Negativas Bajas	Recuento	33
		% dentro de Global_Emociones_Negativas_Intervalo	100,0%
	Emociones Negativas Medias	Recuento	162
		% dentro de Global_Emociones_Negativas_Intervalo	100,0%
	Emociones Negativas Altas	Recuento	34
		% dentro de Global_Emociones_Negativas_Intervalo	100,0%
Total		Recuento	229
		% dentro de Global_Emociones_Negativas_Intervalo	100,0%

Medidas simétricas

		Valor	Error estándar asintótico[a]	T aproximada[b]
Intervalo por intervalo	R de Pearson	,274	,066	4,290
Ordinal por ordinal	Correlación de Spearman	,265	,066	4,148
N de casos válidos		229		

Medidas simétricas

		Significación aproximada
Intervalo por intervalo	R de Pearson	<,001[c]
Ordinal por ordinal	Correlación de Spearman	<,001[c]
N de casos válidos		

Global_Percepción_Riego_intervalo	Percepción Riesgo Baja	Recuento	37
		% dentro de Global_Percepción_Riego_intervalo	100,0%
	Percepción Riesgo Media	Recuento	153
		% dentro de Global_Percepción_Riego_intervalo	100,0%
	Percepción Riesgo Alta	Recuento	39
		% dentro de Global_Percepción_Riego_intervalo	100,0%
Total		Recuento	229
		% dentro de Global_Percepción_Riego_intervalo	100,0%

Medidas simétricas

		Valor	Error estándar asintótico[a]	T aproximada[b]
Intervalo por intervalo	R de Pearson	,162	,062	2,477
Ordinal por ordinal	Correlación de Spearman	,159	,063	2,434
N de casos válidos		229		

Medidas simétricas

		Significación aproximada
Intervalo por intervalo	R de Pearson	,014[c]
Ordinal por ordinal	Correlación de Spearman	,016[c]
N de casos válidos		

Título del trabajo:

"Uso del móvil para medir la capacidad antioxidante de las frutas"

Autoras: Carmen Hurtado Teruel, Silvia Romera Gómez y Laura Osete Rodríguez

Curso Académico: 2025/2026

Nivel: 1º de Bachillerato

Tutora: Ana Mª Machuca Reche

Centro docente: IES Floridablanca

Índice

1. Introducción
2. Antecedentes y estado de la cuestión
2.1. Estado de la cuestión
2.2. Investigaciones previas
3. Hipótesis de trabajo y objetivos de la investigación
4. Materiales y métodos
4.1. Sesión 1
4.2. Sesión 2
4.3. Análisis de datos
5. Resultados
6. Conclusiones
7. Agradecimientos
Bibliografía
Anexos

Resumen del Tema a desarrollar

Los alimentos pueden desempeñar una función fundamental en la prevención de enfermedades y, en general, en el mantenimiento de una salud óptima de las personas.

El objetivo principal del trabajo realizado consistió en determinar el método más eficiente y accesible para que las personas puedan conocer la capacidad antioxidante de las frutas que consumen, a través de su teléfono móvil. Esto fue posible gracias a que el teléfono puede detectar la cantidad de luz que reflejan los medios de ensayo.

Para ello, se midió la capacidad de absorción de diferentes muestras de tres frutas elegidas (manzana, plátano y kiwi) utilizando tres métodos distintos: el espectrofotómetro, la aplicación móvil *ColorPicker* y la aplicación móvil *ImageJ*.

Tras realizar el análisis de los resultados, se concluyó que la aplicación *ImageJ* arrojó los resultados con mayor exactitud, además de ser esta la más rápida y sencilla de utilizar.

Resumen del Tema en inglés

Foods can play a fundamental role in the prevention of diseases and, in general, in the maintenance of optimal health in people.

The main objective of the work carried out consisted of determining the most efficient and accessible method for people to know the antioxidant capacity of the fruits they consume through their mobile phone. This was possible thanks to the fact that the phone can detect the amount of light reflected by the assay media.

To do this, the absorption capacity of different samples of three selected fruits (apple, banana, and kiwi) was measured using three different methods: the spectrophotometer, the *ColorPicker* mobile application, and the *ImageJ* mobile application.

After carrying out the analysis of the results, it was concluded that the *ImageJ* application yielded the most accurate results, in addition to being the fastest and easiest to use.

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1. Introducción

En las últimas décadas, se ha demostrado que el cáncer es la principal causa de muerte en los países desarrollados. Se estima que la dieta es la causante en al menos el 30% de los casos, y las personas que toman alimentos vegetales tienen un menor riesgo (Robles-Aguado, Sanz-Segovia, López-Arrieta y De la Ascensión, 2005). La dieta no solo influye en el cáncer, sino que también influye en el envejecimiento y muchas otras enfermedades como expondremos más adelante.

Los antioxidantes presentes en los alimentos pueden evitar el daño oxidativo que se produce a nivel celular y, en consecuencia, estos compuestos podrían desempeñar un papel importante en la prevención del cáncer y de otras enfermedades cardiovasculares y neurodegenerativas (Aliena, 2023). Estudios recientes han puesto de manifiesto que el consumo regular de frutas y verduras contribuye no solo a la salud física sino que también se ha asociado con una mejora de la salud mental y la salud cognitiva (Martínez-Navarrete, Camacho y Martínez, 2008). Por tanto, conocer la capacidad antioxidante de los alimentos es de gran relevancia con el fin de garantizar la ingesta adecuada de los mismos en cada situación.

A lo largo del siglo XX, de forma gradual, comenzó el estudio de la capacidad antioxidante de frutas y hortalizas. En la década de 1930 se realizaron los primeros estudios sobre el tema, como el de Albert Szent-Györgyi en 1932, que aisló y caracterizó químicamente la vitamina C (ácido ascórbico), el antioxidante dietético por excelencia, y contribuyó a establecer la importancia biológica de sustancias con actividad antioxidante en alimentos. Más adelante, en 1956, Denham Harman publicó su obra Aging: A Theory Based on Free Radical and Radiation Chemistry, sobre la teoría de los radicales libres, que sugiere que el desequilibrio entre prooxidantes y antioxidantes, conduce a la peroxidación lipídica, mutaciones somáticas y senescencia celular.

A partir de las décadas de 1970 y 1980 se experimentó un notable impulso gracias a los avances en química analítica y bioquímica de los compuestos fenólicos. En este contexto, trabajos como los de Bors, Heller, Michel y Saran (1990) contribuyeron significativamente a la comprensión de los mecanismos de acción antioxidante de los compuestos fenólicos, describiendo su capacidad para donar electrones y neutralizar radicales libres. Durante los primeros años del S.XXI, el enfoque se amplió hacia la evaluación del contenido fenólico total y su correlación con la capacidad antioxidante. Estudios como los de Prior, Wu y Schaich (2005) subrayaron la importancia de emplear múltiples métodos analíticos para obtener una visión más completa del potencial antioxidante de los alimentos vegetales.

En la actualidad, se emplean diferentes métodos de medición, principalmente espectrofotométricos, que permiten evaluar de forma precisa la capacidad antioxidante total de extractos procedentes de frutas y verduras, como los métodos ABTS, DPPH y FRAP. Como exponen Ai, Zhang y Zhang (2024), una de las desventajas de este tipo de evaluación es el elevado coste de los equipos de instrumentación que se usan en los laboratorios.

Cabe destacar que la capacidad antioxidante de los alimentos depende tanto de su composición natural como de factores externos, como el procesamiento, el almacenamiento y las condiciones de preparación culinaria (Avello y Suwalsky, 2006). En este contexto, la evaluación de la capacidad antioxidante resulta una herramienta fundamental para establecer recomendaciones dietéticas más precisas y fomentar patrones de alimentación saludables, orientadas a tratar de evitar la aparición de enfermedades crónicas. Es evidente que contar con herramientas de medición de la capacidad antioxidante de los alimentos simples y de fácil acceso puede ayudar a la realización de un muestreo regular y generalizado de los niveles de antioxidantes que consumimos, lo cual puede ayudar a mejorar notablemente el nivel de vida de las personas. Por dicho motivo, en este proyecto se evaluará, mediante ensayos comúnmente utilizados, la capacidad antioxidante de extractos de frutas y hortalizas empleando un equipo de instrumentación de laboratorio (espectrofotómetro) y, como método alternativo de bajo coste, un teléfono móvil inteligente con una aplicación que permite cuantificar la intensidad de la luz reflejada por los medios de reacción que contengan los extractos. Así podremos prevenir ciertas enfermedades y mejorar no solo nuestra calidad de vida, sino la de las personas que nos rodean.

Por tanto, la justificación de nuestra investigación radica en demostrar que se puede medir la capacidad antioxidante de determinados alimentos a través de métodos de bajo coste, como el teléfono móvil. De este modo, cualquier persona podría mejorar fácilmente su dieta, influyendo positivamente en su salud, como hemos expuesto anteriormente.

2. Antecedentes y estado de la cuestión

2.3. Conceptos previos

Para entender este trabajo en su totalidad, debemos de conocer y comprender una serie de conceptos. Estos conceptos básicos son los siguientes:

Capacidad antioxidante: Potencial de una sustancia o compuesto para inhibir o dificultar la oxidación de un sustrato hasta cantidades muy pequeñas.

Daño oxidativo: Deterioro celular que ocurre cuando hay un desequilibrio entre la producción de radicales libres y la capacidad del organismo para neutralizarlos mediante antioxidantes. Hay varios factores que pueden causar estrés oxidativo, como la mala alimentación, el hábito de fumar, el consumo de bebidas alcohólicas y la exposición a factores ambientales como la contaminación del aire o la luz solar. El estrés oxidativo a largo plazo puede intervenir en el envejecimiento y en la aparición de inflamación crónica, cáncer y otras enfermedades.

RGB (Red, Green and Blue, o Rojo Verde y Azul en español): Es un sistema de color que mezcla de luz roja, verde y azul en diferentes intensidades para formar una amplia gama de colores. Este modelo funciona mediante el proceso de síntesis aditiva, con el cual se puede ajustar la intensidad de cada uno de los tres colores primarios de este sistema para obtener cualquier color, incluyendo el negro y el blanco.

FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power, o Poder Antioxidante de Reducción Férrica en español): Técnica espectrofotométrica que evalúa la capacidad de los antioxidantes para reducir iones férricos (Fe^{3+}) a ferrosos (Fe^{2+}).

Método DPPH (1,1-diphenyl-2-picrylhydrazyl, o 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo en español): Mide la habilidad de los antioxidantes para neutralizar radicales libres.

ORAC (Oxygen Radical Absorbance Capacity, o Capacidad de Absorción de Radicales de Oxígeno en español): Ensayo de laboratorio que permite cuantificar in vitro la capacidad que

tiene una muestra (generalmente de un alimento) para "apagar la reactividad" que tienen cierto tipo de radicales libres, particularmente, los del tipo peroxilo.

Trolox: Es un análogo hidrosoluble de la vitamina E, potente antioxidante que secuestra radicales libres. Se utiliza como referencia en el ensayo TEAC (capacidad antioxidante equivalente al Trolox), utilizado en técnicas como ABTS, DPPH y ORAC para medir la fuerza antioxidante en alimentos, bebidas y compuestos biológicos.

2.2. Estado de la cuestión

Desde la antigüedad, diversas técnicas de conservación de alimentos como el salado, el ahumado o el secado han sido utilizadas para prolongar la vida útil de alimentos como carne o pescado. Aunque en aquel momento estos procesos biológicos se desconocían, se sabe que se utilizaron diversos compuestos fenólicos generados durante el ahumado, estos poseen capacidades antioxidantes capaces de ralentizar las reacciones de oxidación que generan el deterioro de los alimentos.

No fue hasta finales del siglo XIX y principios del siglo XX cuando se comenzó a investigar de forma sistemática el fenómeno de la oxidación. Se observó que el añadir pequeñas cantidades de ciertos compuestos podía retrasar el deterioro de las sustancias expuestas al aire. Los primeros estudios se centraron principalmente en aplicaciones industriales, como la prevención de la corrosión de metales y mejora de procesos como la vulcanización del caucho.

Posteriormente, este interés científico se trasladó al ámbito biológico. Las primeras investigaciones se centraron en la oxidación de grasas insaturadas, proceso responsable de la rancidez en alimentos ricos en lípidos. En este contexto se descubrió que determinadas vitaminas como la vitamina A, la vitamina C y la vitamina E, poseen propiedades antioxidantes cuyo descubrimiento supuso un avance significativo en la comprensión de mecanismos de defensa frente al daño oxidativo.

En particular ciertas investigaciones sobre la vitamina E y su capacidad de prevenir el proceso de peroxidación de los lípidos que condujo a la identificación de los antioxidantes como agentes reductores, previniendo así reacciones oxidativas y depurando especies reactivas del oxígeno antes de que las células se vean dañadas por estas.

2.3. Investigaciones previas

En la actualidad se siguen realizando investigaciones científicas sobre este tema, en las que podemos encontrar mucha variedad de métodos y objetivos.

Uno de estos objetivos es la identificación y cuantificación de antioxidantes naturales, que trata de medir qué compuestos antioxidantes concretos están presentes en diferentes frutas y en qué cantidades. Se utilizan métodos químico-bioquímicos avanzados para medir la capacidad antioxidante total de estos alimentos (por ejemplo, ensayos ABTS, DPPH o FRAP) y establecer correlaciones con estos compuestos. Por ejemplo, en el estudio de Meléndez-Martinez et all (2011) se comparan y analizan diferentes datos espectroscópicos que se pueden utilizar para evaluar la calidad de los carotenoides (compuestos que promueven la salud) del jugo de naranja según su color. Por otro lado, en el estudio de Vasco et all (2008) se analizan diecisiete frutas del ecuador para determinar el contenido total de compuestos fenólicos solubles y su capacidad antioxidante, utilizando tres métodos diferentes.

Otro objetivo es estudiar los efectos biológicos en la salud humana, especialmente en relación con enfermedades crónicas (enfermedades cardiovasculares, diabetes, cáncer, envejecimiento celular…). Los estudios epidemiológicos y experimentales evalúan si una mayor ingesta de los compuestos bioactivos presentes en las frutas se traduce en mejor protección frente al estrés oxidativo en tejidos y sangre humana, como en el estudio de Hernández-Carrera (2021), que se centra en el riesgo de enfermedades cardiovasculares en un conjunto residencial de Quito-Ecuador.

Este tipo de investigación también explora cómo los antioxidantes pueden influir en procesos inflamatorios, marcadores de daño celular o enfermedades degenerativas. Por ejemplo, Joseph et al. (2014) evidenciaron cómo los fitoquímicos de la dieta pueden reducir el estrés oxidativo en el tejido neuronal, influyendo directamente en el envejecimiento celular y la neurodegeneración.

También muy común hoy en día, busca mejorar los métodos de extracción y análisis de los antioxidantes, intentando encajar la sostenibilidad ambiental con la eficiencia y rentabilidad. Por ejemplo, en lugar de usar hexano o metanol, que son tóxicos, se están usando mezclas de sustancias naturales como azúcares y ácidos orgánicos. En el estudio de Ioannou et all (2024) consiguen extraer polifenoles de la corteza de Aloe Vera usando solventes que son completamente biodegradables y reciclables. Por otro lado, el estudio de Bastos et all (2025) tiene como objetivo analizar cómo técnicas como la PHWE (una técnica que utiliza solo agua a temperaturas elevadas pero mantenida en estado líquido mediante presión, eliminando totalmente los solventes químicos) y los métodos electro hidrodinámicos (EHD) preservan mejor los antioxidantes que son termosensibles de las frutas. También es clave la optimización mediante Inteligencia Artificial y ASE, utilizando modelos matemáticos para no desperdiciar muestra ni energía durante la extracción. En el estudio de Matić et all (2024) se utilizan "Redes Neuronales Artificiales" (ANN) para predecir exactamente a qué temperatura (120°C) y en qué tiempo (5 min) se obtiene el máximo de antioxidantes de la calabaza con el mínimo impacto ambiental.

Finalmente, centrándonos en la parte práctica que conecta la cocina con nuestra salud, podríamos destacar el estudio de Jiménez Montreal et all (2009), en el que compara cómo hervir, cocinar al vapor, freír o usar microondas afecta a 20 hortalizas, llegando a la conclusión de que hervir es el peor método (se pierden los antioxidantes en el agua), mientras que el microondas y el horneado en seco conservan mejor las propiedades en la mayoría de vegetales.

3. Hipótesis de trabajo y objetivos de la investigación

La capacidad antioxidante es un parámetro clave para evaluar la calidad de los alimentos y cuantificar los compuestos antioxidantes presentes en los mismos. Este trabajo tiene como objetivo principal analizar la fiabilidad de la determinación de dicha capacidad utilizando una aplicación móvil, que permite cuantificar la luz reflejada por los medios de ensayo y analizarla en sus componentes rojo, verde y azul (RGB) por separado. Para ello, se plantean los siguientes objetivos específicos:

- Medir con el espectrofotómetro, a partir de la cantidad de luz absorbida, la longitud de la onda específica que forman los compuestos para analizar su composición.
- Utilizar el teléfono móvil como herramienta principal para medir la capacidad antioxidante de diferentes frutas a través de diferentes aplicaciones.
- Valorar el uso de un método de bajo coste, como es una aplicación gratuita del móvil, para medir la luz absorbida y analizar así sus capacidades de oxidación.

4. Materiales y métodos

Este proyecto sigue una metodología cuantitativa. Se trata de un estudio descriptivo a través de experimentación. Las frutas empleadas fueron manzana roja (*Malus domestica Borkh*), plátano (*Musa acuminata Colla*) y kiwi (*Actinidia deliciosa*). No obstante, el procedimiento descrito podría aplicarse a otras frutas con características similares.

4.1. Sesión 1

La primera sesión de trabajo tuvo una duración aproximada de dos horas y se desarrolló en varias fases consecutivas, todas ellas orientadas a la preparación adecuada de las muestras para su posterior análisis. Durante esta sesión se llevaron a cabo los procedimientos necesarios para obtener extractos de las distintas frutas seleccionadas, garantizando que las muestras estuvieran en condiciones óptimas para las etapas experimentales posteriores.

En primer lugar, se prepararon las muestras de fruta mediante la obtención de pequeñas porciones de cada una de ellas. Estas porciones fueron introducidas en un mortero y sometidas a un proceso de trituración utilizando nitrógeno líquido a una temperatura de −196 °C. El empleo de nitrógeno líquido permitió congelar rápidamente el tejido vegetal, facilitando su fragmentación y evitando posibles alteraciones debidas a procesos de degradación. La trituración se realizó de forma continuada hasta obtener un polvo fino y homogéneo, condición necesaria para favorecer una extracción más eficiente de los compuestos presentes en las muestras.

Una vez obtenido el polvo procedente de cada fruta, se tomaron dos muestras independientes de aproximadamente 2 g de masa. Cada una de estas muestras se introdujo en tubos Eppendorf previamente preparados para su utilización. La realización de duplicados tuvo como finalidad aumentar la fiabilidad del experimento, permitiendo comparar los resultados obtenidos entre ambas réplicas y comprobar la reproducibilidad de los procedimientos empleados. De esta manera, se reducía la influencia de posibles errores puntuales asociados a la manipulación de las muestras.

Para determinar con precisión la masa de cada una de las muestras analizadas, se procedió inicialmente al pesaje de los tubos Eppendorf vacíos utilizando una balanza de precisión. Este paso permitió conocer la masa exacta del recipiente antes de añadir la muestra. Posteriormente, una vez introducido el material vegetal triturado, los tubos fueron pesados nuevamente. La masa de la muestra se calculó mediante la diferencia entre ambos valores, obteniendo así una medida más exacta de la cantidad de material empleado en cada caso.

A continuación, cada muestra fue sometida a un proceso de extracción mediante disolución en 600 µL de etanol al 70 %. Para ello se utilizaron micropipetas de laboratorio, que permitieron añadir con precisión el volumen requerido de disolvente a cada tubo. El etanol fue seleccionado como medio de extracción debido a su capacidad para favorecer la solubilización de diversos compuestos presentes en el tejido vegetal. Tras la adición del disolvente, las muestras se mezclaron cuidadosamente con el fin de asegurar un contacto adecuado entre el material vegetal y el etanol.

Con el objetivo de homogeneizar completamente la mezcla, los tubos fueron sometidos a agitación mediante un vórtex de la marca IKA. Este proceso permitió dispersar uniformemente las partículas presentes en la muestra y mejorar la interacción entre el disolvente y los compuestos de interés. La homogeneización adecuada constituye un paso importante para garantizar que la extracción se produzca de manera uniforme en todas las muestras analizadas.

Posteriormente, las muestras se introdujeron en un sonicador durante un periodo de 15 minutos. La sonicación favorece la ruptura de estructuras celulares mediante la acción de ondas ultrasónicas, facilitando así la liberación de compuestos presentes en el interior de las células vegetales. Gracias a este procedimiento se incrementa la eficacia de la extracción, permitiendo obtener una mayor cantidad de sustancias disueltas en el medio líquido.

Una vez completado el proceso de sonicación, las muestras fueron sometidas a centrifugación durante 30 minutos. La centrifugación permitió separar los componentes sólidos de los líquidos mediante la acción de la fuerza centrífuga. Como resultado de este proceso, las partículas sólidas quedaron depositadas en el fondo de los tubos formando un sedimento, mientras que la fase líquida permaneció en la parte superior en forma de sobrenadante.

Para las etapas posteriores del estudio se utilizó exclusivamente la fase líquida obtenida tras la centrifugación. El sobrenadante fue extraído cuidadosamente utilizando micropipetas, procurando evitar en todo momento la aspiración de la fracción sólida sedimentada en el fondo del tubo. Esta precaución resultó fundamental para asegurar la pureza de la muestra líquida y evitar posibles interferencias en los análisis posteriores.

Una vez extraído, el sobrenadante se transfirió a nuevos tubos Eppendorf debidamente identificados. Estos tubos fueron almacenados en un congelador con el fin de mantener las muestras a baja temperatura y preservar sus propiedades hasta el momento de su utilización en las siguientes fases experimentales. El almacenamiento en frío permitió minimizar posibles procesos de degradación y conservar las muestras en condiciones adecuadas.

Posteriormente, se repitió el procedimiento utilizando nuevamente la fracción sólida residual obtenida tras la primera extracción y el mismo etanol empleado anteriormente. Este segundo proceso de extracción permitió recuperar compuestos que no habían sido extraídos completamente durante la primera etapa. Como consecuencia, se obtuvo una segunda serie de muestras líquidas que complementaron la información experimental disponible.

La realización de esta segunda extracción tuvo como finalidad incrementar la cantidad de datos obtenidos y mejorar la fiabilidad global de los resultados. Al disponer de un mayor número de muestras y observaciones, fue posible realizar comparaciones más completas y aumentar la solidez de las conclusiones derivadas del estudio experimental.

4.2. Sesión 2

La segunda sesión experimental tuvo una duración aproximada de cuatro horas, durante las cuales se llevaron a cabo las diferentes etapas necesarias para la determinación de la capacidad antioxidante de las muestras seleccionadas. Esta sesión constituyó una parte fundamental del trabajo experimental, ya que permitió obtener los datos que posteriormente serían analizados y comparados mediante distintos métodos de medición.

El objetivo principal de esta sesión fue determinar la capacidad antioxidante de las muestras de fruta mediante diferentes técnicas de análisis. La utilización de varios métodos tuvo como finalidad comparar los resultados obtenidos entre ellos, evaluar su grado de concordancia y aumentar la fiabilidad global del estudio. De este modo, fue posible comprobar la utilidad de herramientas alternativas al equipamiento científico tradicional y analizar las ventajas e inconvenientes de cada procedimiento empleado.

Para llevar a cabo este análisis se utilizó Trolox, un compuesto antioxidante ampliamente empleado como patrón de referencia en estudios relacionados con la capacidad antioxidante. La utilización de un patrón permite establecer una escala de comparación común para todas las muestras analizadas y facilita la interpretación posterior de los resultados obtenidos.

Antes de comenzar con el análisis de las muestras de fruta, fue necesario preparar una serie de disoluciones de Trolox en etanol con diferentes concentraciones. Para ello se emplearon volúmenes de 62,5 µL, 125 µL, 250 µL, 500 µL y 1000 µL, además de la disolución original utilizada como referencia. Cada una de estas disoluciones presentaba una intensidad de color diferente, consecuencia de su distinta concentración. Estas variaciones cromáticas fueron utilizadas posteriormente como sistema de referencia para comparar las muestras de fruta y relacionar sus características con la capacidad antioxidante correspondiente.

Con el objetivo de aumentar la precisión de las mediciones y reducir la influencia de posibles errores experimentales, de cada una de las diluciones preparadas se tomaron dos alícuotas de 20 µL. Este procedimiento permitió realizar todas las determinaciones por duplicado, facilitando la comprobación de la consistencia de los resultados obtenidos y mejorando la fiabilidad de los datos experimentales.

Una vez preparadas las disoluciones patrón, se procedió a añadir 40 µL de Trolox a las muestras de fruta. Durante este proceso se prestó especial atención a la manipulación del reactivo, evitando en todo momento su exposición prolongada a la luz. Esta precaución fue necesaria debido a que la luz puede provocar alteraciones en la coloración del Trolox y, en consecuencia, afectar a la calidad de las mediciones posteriores. Tras la preparación de todas las muestras, estas permanecieron durante 30 minutos en un entorno oscuro, cerrado y frío, con el fin de garantizar unas condiciones adecuadas para el desarrollo del procedimiento experimental.

Una vez transcurrido este periodo de incubación, las muestras se colocaron sobre hielo para mantener su estabilidad térmica y minimizar posibles cambios que pudieran producirse debido a variaciones de temperatura. A continuación, se tomaron cuidadosamente 20 µL de cada disolución y se depositaron en una placa de pocillos destinada a las mediciones posteriores. Durante este procedimiento se procuró no tocar la parte inferior de la placa, ya que cualquier huella, suciedad o alteración en esta superficie podría interferir en las mediciones ópticas realizadas posteriormente.

La placa de pocillos se introdujo posteriormente en un espectrofotómetro. Este instrumento permite medir la cantidad de luz absorbida por una sustancia a determinadas longitudes de onda y constituye una de las técnicas más utilizadas para este tipo de análisis. El equipo proporcionó los correspondientes valores de absorbancia para cada una de las muestras analizadas. Estos valores fueron registrados y utilizados posteriormente para calcular la capacidad antioxidante mediante una aplicación específica de tratamiento y análisis de datos.

Con el propósito de comparar los resultados obtenidos con el espectrofotómetro y evaluar la fiabilidad de métodos alternativos más accesibles, se realizaron también mediciones basadas en el análisis digital del color de las muestras. Este procedimiento permitió estudiar la posibilidad de utilizar herramientas disponibles en dispositivos móviles para la determinación de la capacidad antioxidante.

En primer lugar, se utilizó la aplicación móvil ColorPicker. Esta herramienta permite analizar el color de las muestras utilizando el modelo RGB, basado en la combinación de los colores rojo (Red), verde (Green) y azul (Blue). Para garantizar la máxima reproducibilidad posible, se creó un entorno con iluminación controlada, evitando la influencia de fuentes de luz externas que pudieran alterar las mediciones. El teléfono móvil se colocó siempre en una posición fija y estable, mientras que los tubos Eppendorf se situaron en una gradilla, manteniendo constante la distancia entre la cámara y las muestras durante todo el proceso de análisis. Cada muestra fue fotografiada y analizada individualmente, registrándose posteriormente los valores RGB obtenidos en una tabla para su posterior tratamiento.

Posteriormente, se empleó la aplicación ImageJ. Su funcionamiento se basa igualmente en el análisis de la información cromática de las imágenes, aunque presenta la ventaja de permitir el análisis simultáneo de múltiples muestras. Para ello se realizó una fotografía de la placa de pocillos que contenía todas las disoluciones preparadas. A partir de esta única imagen, la aplicación permitió obtener los valores RGB correspondientes a cada muestra de forma más rápida y eficiente, reduciendo considerablemente el tiempo necesario para completar el análisis y facilitando el procesamiento de un mayor número de datos.

Finalmente, todos los resultados obtenidos mediante los tres métodos de análisis empleados —espectrofotometría, ColorPicker e ImageJ— fueron recopilados e introducidos en una hoja de cálculo de Microsoft Excel. En esta fase se organizaron los datos experimentales y se realizaron los cálculos necesarios para determinar las medias de la capacidad antioxidante de cada fruta analizada. Asimismo, se elaboraron diferentes gráficas comparativas que permitieron visualizar de forma clara y ordenada las diferencias observadas entre las distintas muestras y entre los métodos de análisis utilizados, facilitando así la interpretación de los resultados obtenidos durante la investigación.

4.3. Análisis de datos

En primer lugar, se realizó un análisis detallado de la recta patrón de Trolox, ya que constituye la base de toda la parte experimental del estudio. A partir del gráfico de dispersión y de su correspondiente línea de tendencia, se observó que el coeficiente de determinación (R^2), indicador de la calidad del ajuste del modelo, presentó un valor de 0,9966. Este resultado indica que la recta patrón muestra un ajuste prácticamente perfecto a un modelo lineal.

Asimismo, se calcularon las medias empleadas para la normalización de los datos, las cuales fueron utilizadas posteriormente en el análisis de los distintos métodos evaluados: Móvil bruto, Móvil normalizado, ImageJ bruto e ImageJ normalizado.

La normalización de los datos se llevó a cabo mediante el cálculo de la media de cada conjunto de valores. Este procedimiento permitió reducir la variabilidad entre muestras y facilitar una comparación más precisa con la recta patrón, además de proporcionar una base más sólida para el análisis estadístico.

Para comparar los resultados obtenidos, se consideraron diversas variables de interés, entre ellas la diferencia de masa entre los tubos Eppendorf vacíos y llenos, la masa de las distintas frutas expresada en miligramos, el volumen añadido a cada muestra (mL) y la absorbancia registrada en cada caso.

Cabe destacar que algunos datos fueron identificados como valores atípicos y, por tanto, excluidos del cálculo de las medias. Estos valores se caracterizaban por desviarse significativamente del resto de las observaciones o por presentar resultados negativos. Se considera que dichas anomalías pudieron deberse a errores experimentales, especialmente durante el proceso de pipeteo.

Posteriormente, se realizó un nuevo tratamiento estadístico de los datos incorporando el cálculo de la desviación estándar, con el objetivo de evaluar la dispersión de las medidas y considerar otras posibles fuentes de error experimental, como las variaciones en las condiciones de iluminación durante la adquisición de las imágenes.

5. Resultados

Mediante la aplicación de la ecuación de la recta obtenida a partir de la curva de calibración de la absorbancia del Trolox previamente elaborada, se ha determinado el factor de dilución correspondiente en función de los valores de absorbancia registrados para cada una de las muestras analizadas. La utilización de esta curva patrón resulta fundamental para transformar los datos experimentales obtenidos en valores cuantificables y comparables entre sí. De esta manera, la relación establecida entre absorbancia y concentración permite interpretar los resultados de forma objetiva y estandarizada.

En este contexto, una mayor absorbancia se asocia directamente con una mayor capacidad antioxidante de la muestra analizada. Esto se debe a que la absorbancia refleja la interacción de la muestra con la luz incidente y permite establecer una relación con la concentración de compuestos antioxidantes presentes. Por ello, los valores de absorbancia obtenidos constituyen la base para el cálculo posterior de la capacidad antioxidante expresada en unidades comparables.

Una vez determinado el factor de dilución correspondiente, este se incorporó en la ecuación establecida para el cálculo de la capacidad antioxidante. Dicha ecuación permite obtener los micromoles equivalentes de Trolox por gramo de fruta (μmol Trolox eq. g^{-1} PF), parámetro utilizado como referencia para cuantificar la actividad antioxidante de cada muestra. A partir de estos resultados individuales se calcularon posteriormente los valores medios, que constituyen la base para la comparación entre las distintas frutas analizadas y entre los diferentes métodos de medición empleados.

Este procedimiento de cálculo se repitió en tres ocasiones independientes utilizando el programa Microsoft Excel. La repetición del proceso permitió comparar los resultados obtenidos mediante diferentes sistemas de análisis y evaluar el grado de concordancia entre ellos. En la primera ocasión se emplearon los valores de absorbancia obtenidos mediante el lector de placas (Figura 4), considerado como método de referencia para el estudio. En la segunda, se utilizaron los datos registrados a través de un dispositivo móvil (Figura 6), mientras que en la tercera se emplearon los valores obtenidos mediante el análisis de imagen realizado con el programa ImageJ.

Tras completar los cálculos correspondientes a cada conjunto de datos y realizar la comparación entre los resultados obtenidos, se observa que la fruta que presenta la mayor capacidad antioxidante es el kiwi. A continuación se sitúa la manzana, mientras que el plátano ocupa la última posición entre las frutas analizadas. Esta tendencia se mantiene de forma general en los distintos métodos utilizados, lo que refuerza la consistencia de los resultados obtenidos durante el estudio.

No obstante, además de analizar los valores medios de capacidad antioxidante, resulta importante considerar la variabilidad asociada a cada muestra. En este sentido, el análisis de las gráficas muestra que la manzana presenta la menor desviación entre sus réplicas. Este hecho indica una mayor consistencia en los resultados obtenidos para esta fruta y sugiere una menor variabilidad experimental en comparación con el kiwi y el plátano. Por tanto, aunque el kiwi presenta la mayor capacidad antioxidante, la manzana muestra una mayor estabilidad en las mediciones realizadas.

A continuación, se procedió a analizar el grado de correlación existente entre las mediciones de capacidad antioxidante obtenidas empíricamente mediante espectrofotometría y las estimaciones derivadas del análisis de imagen realizado con los programas ImageJ y ColorPicker. Este análisis comparativo tuvo como finalidad evaluar la precisión de las herramientas digitales y determinar su capacidad para reproducir los resultados obtenidos mediante el método instrumental de referencia.

Los datos procedentes de la aplicación ColorPicker presentan una elevada dispersión respecto a los valores obtenidos mediante espectrofotometría. Esta dispersión indica que las estimaciones realizadas por la aplicación

muestran una variabilidad considerable y una menor capacidad para reproducir con exactitud los valores de referencia. Concretamente, se registra una divergencia máxima de aproximadamente 10,72 µmol Trolox eq. g^{-1} PF en el canal azul (B) correspondiente a la segunda réplica de kiwi. Este resultado pone de manifiesto las limitaciones de este método cuando se pretende realizar una estimación precisa de la capacidad antioxidante.

Por otro lado, el procesamiento de imágenes mediante el software ImageJ proporciona resultados considerablemente más exactos. La comparación con los datos obtenidos mediante espectrofotometría muestra una mayor proximidad entre ambos conjuntos de resultados, lo que evidencia una mejor capacidad predictiva por parte de este programa. Sin embargo, el ajuste óptimo se alcanza cuando se emplean los datos normalizados obtenidos a partir de ImageJ. En estas condiciones, la discrepancia máxima respecto al valor de referencia se cuantifica en 2,71 µmol Trolox eq. g^{-1} PF, valor significativamente inferior al observado con ColorPicker.

Asimismo, el análisis de los datos normalizados de ImageJ muestra una desviación media de únicamente 0,825 µmol Trolox eq. g^{-1} PF respecto a las determinaciones realizadas mediante espectrofotometría. Este resultado indica una elevada concordancia entre ambos métodos y refuerza la validez del análisis de imagen como alternativa para la estimación de la capacidad antioxidante.

Adicionalmente, se llevó a cabo un análisis comparativo de la eficacia predictiva de los distintos canales de color (R, G y B) evaluados mediante ImageJ. El objetivo de esta comparación fue determinar cuál de los tres canales proporcionaba estimaciones más próximas a los valores obtenidos experimentalmente con el espectrofotómetro. Los resultados obtenidos permitieron identificar el canal que presenta la mejor correlación con las determinaciones de referencia y, por tanto, la mayor capacidad para estimar de forma fiable la capacidad antioxidante de las muestras analizadas.

En conjunto, los resultados obtenidos ponen de manifiesto que el análisis digital de imágenes constituye una herramienta útil para la determinación de la capacidad antioxidante. Especialmente en el caso de ImageJ, la elevada concordancia observada con respecto al método espectrofotométrico demuestra que es posible obtener estimaciones fiables utilizando recursos tecnológicos ampliamente disponibles en la actualidad. De este modo, un teléfono móvil equipado con una aplicación gratuita puede convertirse en una alternativa accesible y de bajo coste para la realización de este tipo de análisis, ampliando las posibilidades de investigación y facilitando el acceso a metodologías científicas fuera de entornos de laboratorio altamente especializados.

6. Conclusiones

Tras la realización de la investigación y el análisis detallado de los resultados obtenidos a lo largo de todo el proceso experimental, se concluye que los objetivos planteados al inicio del estudio se han cumplido satisfactoriamente. Los datos recopilados mediante los distintos métodos empleados han permitido evaluar la viabilidad de una metodología alternativa para la determinación de la capacidad antioxidante en frutas, así como comparar la eficacia de diferentes herramientas de análisis.

Los resultados obtenidos han demostrado que, mediante el uso de las aplicaciones móviles ImageJ y ColorPicker, es posible determinar la capacidad antioxidante de distintas frutas utilizando únicamente un teléfono móvil. Este procedimiento presenta importantes ventajas desde el punto de vista práctico, ya que puede llevarse a cabo de forma sencilla, rápida y gratuita, sin necesidad de disponer de equipamiento científico especializado. El método se basa en el análisis de la cantidad de luz absorbida por las muestras, utilizando la información cromática obtenida a partir de imágenes digitales para estimar su capacidad antioxidante. De este modo, se demuestra que herramientas tecnológicas de uso cotidiano pueden aplicarse con éxito en procedimientos relacionados con la investigación científica.

Asimismo, el espectrofotómetro ha sido utilizado de forma satisfactoria durante todo el estudio y ha desempeñado un papel fundamental como método de referencia. Los valores obtenidos mediante este instrumento han permitido validar los resultados proporcionados por las aplicaciones móviles y establecer un criterio objetivo para evaluar la precisión de cada una de ellas. Gracias a esta comparación, ha sido posible determinar el grado de concordancia entre los distintos métodos empleados y comprobar la fiabilidad de las estimaciones obtenidas mediante análisis digital de imágenes.

Por otro lado, los resultados permiten concluir que la aplicación ImageJ presenta ventajas notables frente a ColorPicker. Entre ellas destaca especialmente una mayor precisión en la estimación de la capacidad antioxidante cuando se comparan sus resultados con los obtenidos mediante espectrofotometría. Además, ImageJ ha demostrado una mayor rapidez y eficiencia durante el procesamiento de las muestras, ya que permite analizar múltiples valores a partir de una única imagen, reduciendo considerablemente el tiempo necesario para realizar las mediciones. Estas características convierten a ImageJ en una herramienta especialmente adecuada para este tipo de análisis y explican la mejor concordancia observada respecto al método de referencia.

Los hallazgos obtenidos en esta investigación ponen de manifiesto que el estudio de las propiedades antioxidantes de frutas y hortalizas no tiene por qué estar limitado a laboratorios con un elevado presupuesto o con acceso a equipamiento científico avanzado. Tradicionalmente, la determinación de la capacidad antioxidante requiere instrumentos específicos, como espectrofotómetros, cuyo coste puede suponer una limitación para determinados centros educativos o grupos de investigación. Sin embargo, los resultados obtenidos en este proyecto muestran que es posible plantear una alternativa metodológica económica y accesible, utilizando recursos tecnológicos ampliamente disponibles en la actualidad. De este modo, se facilita el acceso a este tipo de análisis y se amplían las posibilidades de investigación en contextos con recursos más limitados.

Además, esta metodología presenta el potencial de aumentar significativamente el número de muestras que pueden analizarse de forma rápida y sencilla, favoreciendo la realización de estudios más amplios sin necesidad de incrementar proporcionalmente los costes asociados al trabajo experimental. En consecuencia, el uso de aplicaciones móviles y programas de análisis de imagen constituye una herramienta prometedora para futuras investigaciones relacionadas con la composición y las propiedades antioxidantes de los alimentos.

En relación con las posibles líneas de investigación futuras, se plantean diversas propuestas que permitirían ampliar y complementar los resultados obtenidos en este trabajo. Por un lado, sería interesante incrementar tanto la cantidad de muestras analizadas para cada fruta como la variedad de especies estudiadas. Un mayor tamaño muestral permitiría obtener resultados más representativos y robustos, reduciendo la influencia de posibles variaciones individuales y aumentando la validez estadística de las conclusiones.

Asimismo, podría evaluarse la aplicación de esta metodología a otros alimentos con capacidad antioxidante, como diferentes tipos de verduras, hortalizas o infusiones. La ampliación del estudio a nuevos grupos de alimentos permitiría comprobar la versatilidad del método y determinar si mantiene su eficacia en matrices alimentarias con características diferentes a las de las frutas analizadas en esta investigación.

Otra línea de investigación especialmente interesante consistiría en realizar un seguimiento temporal de frutas climatéricas, como el plátano o el kiwi. Este tipo de estudios permitiría analizar cómo evoluciona la capacidad antioxidante durante el proceso de maduración y determinar con mayor precisión el momento en el que estos alimentos alcanzan su máxima concentración de compuestos antioxidantes. Los resultados obtenidos podrían aportar información relevante tanto desde el punto de vista científico como nutricional.

Del mismo modo, resultaría de interés estudiar cómo varía la capacidad antioxidante de una misma fruta cuando se somete a diferentes métodos de cocción, como el hervido, el horneado o la cocción en microondas. Este análisis permitiría evaluar el efecto de los tratamientos térmicos sobre los compuestos antioxidantes y contribuiría a un mejor conocimiento de cómo los procesos culinarios pueden modificar las propiedades nutricionales de los alimentos.

Por último, con el objetivo de optimizar y estandarizar el método fotográfico empleado, sería conveniente investigar la influencia que ejercen distintos tipos de iluminación sobre los resultados obtenidos mediante ImageJ. Factores como el uso de luz natural, luz LED fría o luz cálida podrían afectar a la captura de imágenes y constituir una fuente adicional de variabilidad experimental. En este sentido, una posible línea de trabajo consistiría en diseñar y validar una “cámara oscura” o caja de luz casera que permitiera mantener constantes las condiciones de iluminación durante la toma de fotografías. La implementación de un sistema de este tipo contribuiría a mejorar la reproducibilidad de las mediciones y favorece la estandarización de la metodología para futuras aplicaciones e investigaciones.

Agradecimientos

La realización de este trabajo de investigación no hubiera sido posible sin la ayuda y la enseñanza que nos ha proporcionado nuestra profesora de la asignatura de Investigación, Ana María Machuca Reche.

También nos gustaría agradecer a nuestra profesora de la asignatura de Biología y Geología, María Dolores Martínez García, por el interés que ha mostrado a la hora de preparar la presentación.

Por otro lado, queremos darle las gracias a la Universidad Politécnica de Cartagena, por habernos dado la oportunidad de utilizar sus herramientas y experimentar en su laboratorio. En especial, le agradecemos a los investigadores Mª Ángeles Ferrer Ayala y Antonio Calderón García por todos los conocimientos que nos han transmitido.

Bibliografía

Ai, H., Zhang, K. y Zhang, H. (2024) Efficient smartphone-based measurement of phosphorus in water. Water Research X, 22, 100217.

Aliena, N.G. (2023) Estrés oxidativo, antioxidantes y dieta: un paso hacia la comprensión de la patología celular. BioqHo2023, Holguín, Cuba. Disponible en: https://eventosbioquimica.sld.cu/index.php/bioquimica/2023/paper/view/17 [Acceso: 29 mayo 2026].

Avello, M., Vega y León, S., Gutiérrez, R., Vázquez, M. y Radilla, C. (2015) Antioxidantes naturales y mecanismos de protección. Bioagrociencias, 18(1), pp. 90-94.

Bastos, K.V.L.D.S., de Souza, A.B., Tomé, A.C. y Souza, F.D.M. (2025) New strategies for the extraction of antioxidants from fruits and their by-products: a systematic review. Plants, 14(5), 755.

Coronado, M., Vega y León, S., Gutiérrez, R., Vázquez, M. y Radilla, C. (2015) Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana. Revista Chilena de Nutrición, 42(2), pp. 206-212.

Fan, Y., Li, J., Guo, Y., Xie, L. y Zhang, G. (2021) Digital image colorimetry on smartphone for chemical analysis: a review. Measurement, 171, 108829.

Hernández-Carrera, K. y Robalino, N.M. (2021) Relación entre consumo de compuestos bioactivos de frutas y riesgo de enfermedades cardiovasculares en un conjunto residencial de Quito-Ecuador. Qualitas Revista Científica, 21(21), pp. 79-92.

Ioannou, G.D., Ioannou, K.A., Christou, A., Stavrou, I.J. y Kapnissi-Christodoulou, C.P. (2024) The utilization of an Aloe vera rind by-product: deep eutectic solvents as eco-friendly and recyclable extraction media of polyphenolic compounds. Antioxidants, 13(2), 162.

Jiménez-Montreal, A.M., García-Diz, L., Martínez-Tomé, M., Mariscal, M.M.M.A. y Murcia, M.A. (2009) Influence of cooking methods on antioxidant activity of vegetables. Journal of Food Science, 74(3), pp. H97-H103.

Joseph, J.A., Shukitt-Hale, B., Casadesus, G. y Fisher, D. (2005) Oxidative stress and inflammation in brain aging: nutritional considerations. Neurochemical Research, 30(6), pp. 927-935.

Liang, Y., Urano, D., Liao, K.L., Hedrick, T.L., Gao, Y. y Jones, A.M. (2017) A nondestructive method to estimate the chlorophyll content of Arabidopsis seedlings. Plant Methods, 13(1), 26.

Martínez-Navarrete, N., Vidal, M.D.M.C. y Lahuerta, J.J.M. (2008) Los compuestos bioactivos de las frutas y sus efectos en la salud. Actividad Dietética, 12(2), pp. 64-68.

Meléndez-Martínez, A.J., Gómez-Robledo, L., Melgosa, M., Vicario, I.M. y Heredia, F.J. (2011) Color of orange juices in relation to their carotenoid contents as assessed from different spectroscopic data. Journal of Food Composition and Analysis, 24(6), pp. 837-844.

Robles-Agudo, F., Sanz-Segovia, F., López-Arrieta, J.M. y De La Ascensión, M.B. (2005) Alimentación y cáncer. Revista Española de Geriatría y Gerontología, 40(3), pp. 184-194.

Vasco, C., Ruales, J. y Kamal-Eldin, A. (2008) Total phenolic compounds and antioxidant capacities of major fruits from Ecuador. Food Chemistry, 111(4), pp. 816-823.

Vázquez, C. (2004) Antioxidants and cardiovascular disease. 2ª ed. Springer.

Anexos

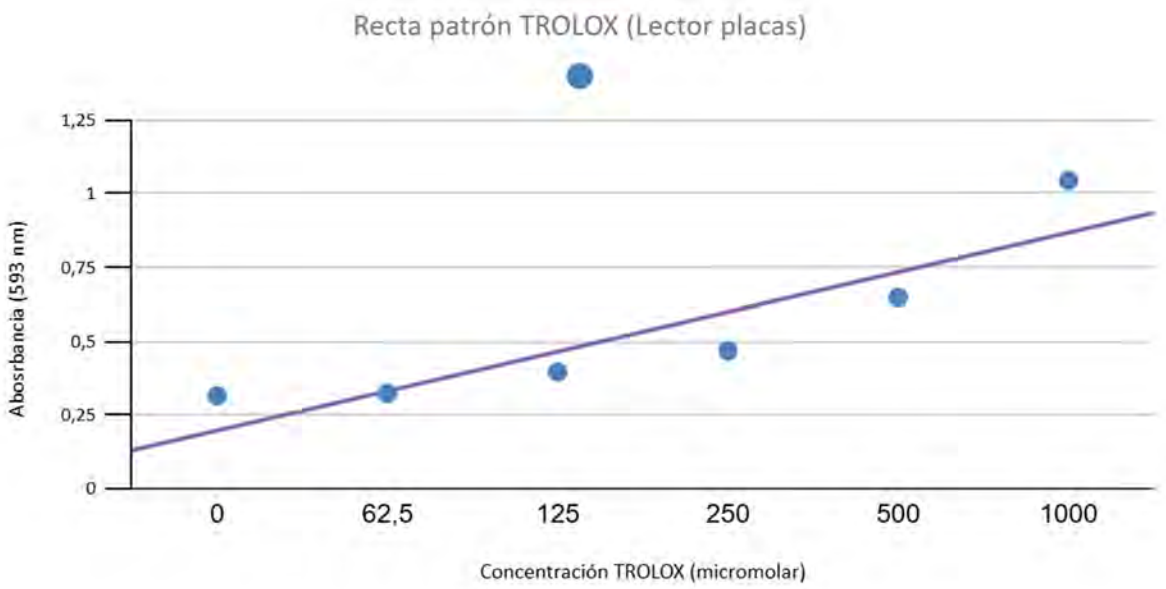
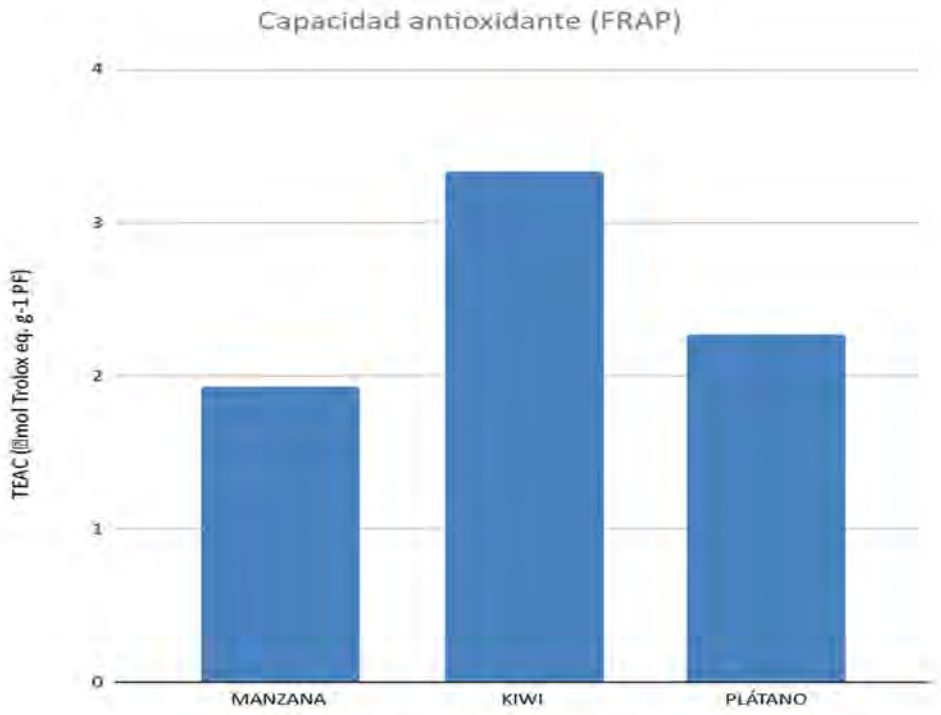


FIGURA 1 - Recta patrón TROLOX (lector de placas). Elaboración propia.

recta trolox	móvil			ImageJ					
	R	G	B	R	G	B	MEDIA R	G	B
0	151	155	174	159	182	216			
	143	146	167	159	178	218	159	180	217
62,5	156	165	189	151	172	217			
	162	173	196	153	174	217	152	173	217
125	130	133	172	150	170	223			
	134	139	180	148	168	221	149	169	222
250	105	108	179	137	156	225			
	100	96	155	134	154	223	135,5	155	224
500	70	58	157	109	117	216			
	70	60	152	113	122	217	111	119,5	216,5
1000	40	2	140	77	61	219			
	42	0	154	66	56	213	71,5	58,5	216
				ImageJ normalizado (contrarrestar variaciones de luz)					
				Tanto por uno en cada canal					
				0,2854578	0,3267504	0,3877917			
				0,2864865	0,3207207	0,3927928	0,2859721	0,3237356	0,3902923
				0,2796296	0,3185185	0,4018519			
				0,28125	0,3198529	0,3988971	0,2804398	0,3191857	0,4003745
				0,2762431	0,3130755	0,4106814			
				0,2756052	0,3128492	0,4115456	0,2759242	0,3129623	0,4111135
				0,2644788	0,3011583	0,4343629			
				0,2622309	0,3013699	0,4363992	0,2633548	0,3012641	0,4353811
				0,2466063	0,2647059	0,4886878			
				0,25	0,2699115	0,4800885	0,2483032	0,2673087	0,4843881
				0,2156863	0,1708683	0,6134454			
				0,1970149	0,1671642	0,6358209	0,2063506	0,1690163	0,6246331

FIGURA 2 - Recta TROLOX (*ImageJ* e *ImageJ* normalizado). Elaboración propia.

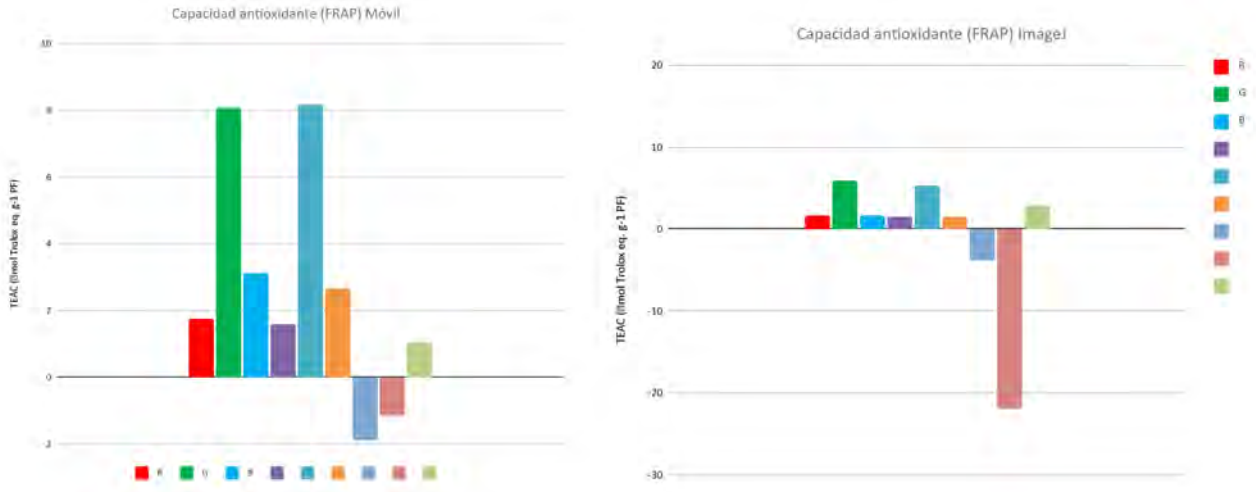


LECTOR DE PLACAS ABSORBANCIA												
	eppendorf	eppendorf					Recta	Factor dilución		MEDIA	DESV
Fruto	vacío	lleno	Muestra (mg	Volumen (mL)		peso mg	Absorbancia					
kiwi 1	1208,6	1631,2	422,6	1,2	M1	348,8	0,4863	275,7143	2	1,89711665	1,92772259	0,04595663
kiwi 2	1218,1	1604,6	386,5	1,2	M1	348,8	0,4866	276,1429	2	1,90006553		
Manzana 1	1214,3	1563,1	348,8	1,2	M1	348,8	0,2501	-61,7143	2			
Manzana 2	1218,9	1639,4	420,5	1,2	M2	420,5	0,5286	336,1429	2	1,91853236		
plátano 1	1196	1536,1	340,1	1,2	M2	420,5	0,5380	349,5714	2	1,99517581		
plátano 2	1223	1590,3	367,3	1,2	M2	420,5	0,3483	78,5714	2			
				1,2	K1	422,6	0,5030	299,5714	4	3,4026097	3,32470518	1,36176245
				1,2	K1	422,6	0,5895	423,1429	4	4,80616591		
				1,2	K1	422,6	0,4538	229,2857	4	2,60428639		
				1,2	K2	386,5	0,4157	174,8571	4	2,17157642		
				1,2	K2	386,5	0,5802	409,8571	4	5,09007577		
				1,2	K2	386,5	0,3989	150,8571	4	1,87351691		
				1,2	P1	340,1	0,4917	283,4286	2	2,00008401	2,26845218	0,19643962
				1,2	P1	340,1	0,5384	350,1429	2	2,47086991		
				1,2	P1	340,1	0,3146		2			
				1,2	P2	367,3	0,3017		2			
				1,2	P2	367,3	0,5417	354,8571	2	2,31869628		
				1,2	P2	367,3	0,5380	349,5714	2	2,28415853		

FIGURAS 3 y 4 - Absorbancia (lector de placas). Elaboración propia.

	PESO mg	Volumen (mL	FD	R	G	B		R	G	B
M1	348,8	1,2	2	120	123	190		132	151	219
M1	348,8	1,2	2	112	112	173		135	152	221
M1	348,8	1,2	2	155	162	219		148	170	228
M2	420,5	1,2	2	105	105	178		131	149	223
M2	420,5	1,2	2	101	101	164		132	147	214
M2	420,5	1,2	2	125	125	215		127	149	225
K1	422,6	1,2	4	64	32	202		101	111	226
K1	422,6	1,2	4	40	22	133		110	119	220
K1	422,6	1,2	4	70	41	209		113	124	229
K2	386,5	1,2	4	86	70	215		117	131	228
K2	386,5	1,2	4	60	37	140		122	138	223
K2	386,5	1,2	4	80	55	198		123	136	228
P1	340,1	1,2	2	91	95	162		136	152	211
P1	340,1	1,2	2	100	100	175		139	158	217
P1	340,1	1,2	2	111	111	188		140	162	220
P2	367,3	1,2	2	110	108	211		135	153	225
P2	367,3	1,2	2	70	66	146		133	150	220
P2	367,3	1,2	2	72	65	162		134	149	218

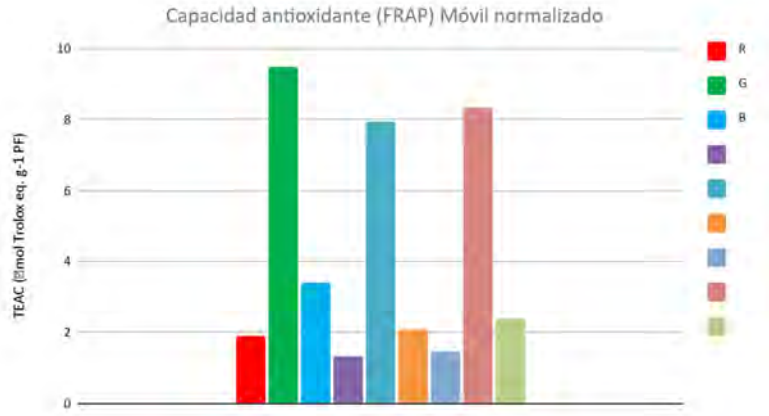
MÓVIL						IMAGEJ					
R	G	B				R	G	B			
1,5480175	1,3790837	-2,0200144				2,0392277	1,7475057	1,6986812			
2,0205142	1,8405963	1,2473733				1,8049235	1,6917461	-2,6017775			
		-7,5937932				0,7896052	0,6880734	-17,653383			
2,0189331	1,7703663	0,2375464				1,7563006	1,5420401	-5,725327			
2,2148985	1,9095734	2,4695262				1,6915164	1,634544	10,326992			
1,0391063	1,0743308	-5,6612572	1,7682939	1,5947901	-1,8867698	2,0154375	1,5420401	-9,2925089	1,6828352	1,4743249	-3,8745539
8,0151281	8,578948	-7,1417429	0,4759535	0,3562806	4,0036861	7,3628846	6,5664356	-22,04212	0,4595384	0,3936831	9,5603403
10,355027	9,2715247	14,749872				6,2025631	5,8300817	-0,7453857			
7,4301534	7,9556289	-9,3626314				5,8157893	5,3698606	-32,690487			
6,4185132	6,5026347	-12,318544				5,7951317	5,1669284	-31,862872			
9,1901682	9,0016092	13,69922				5,0902993	4,4624388	-12,457956			
7,0581259	7,6385322	-6,4211842	8,0778526	8,1581463	-1,1325017	4,9493328	4,6637215	-31,862872	5,8693335	5,3432444	-21,943616
3,3442323	2,6191723	3,4475565	1,45873	1,0178257	12,076204	1,7709954	1,7350222	19,384005	0,8721703	0,7749288	13,050908
2,7990758	2,4040275	0,8850502				1,5306976	1,3919064	6,1526022			
2,1327734	1,930709	-1,677456				1,4505983	1,1631625	-0,4630991			
2,0309205	1,90726	-5,7511632				1,7140139	1,5535859	-10,638443			
4,2744117	3,5806445	6,1125501				1,8623492	1,7124392	-0,4288048			
4,1622371	3,620487	3,1922515	3,1239418	2,6770501	1,0347982	1,7881816	1,7653904	3,6550504	1,6861393	1,5535844	2,9435518
			0,9729146	0,7660351	4,2352707				0,1606747	0,2373122	9,8847495

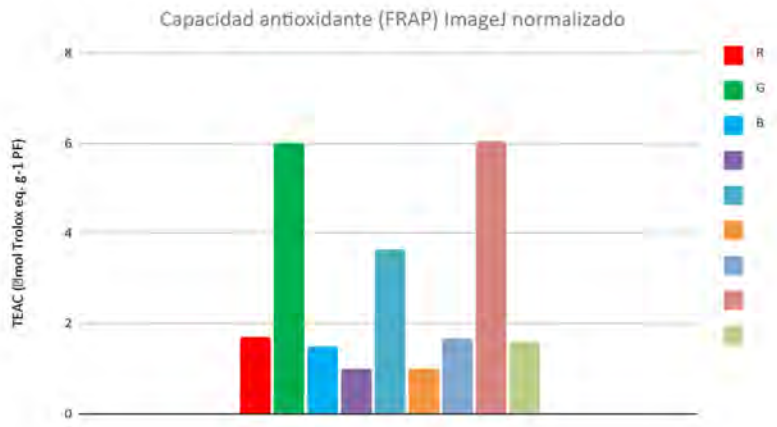


FIGURAS 5, 6, 7 Y 8 - Capacidad antioxidante (FRAP) (*ColorPicker* e *ImageJ*). Elaboración propia.

	PESO mg	Volumen (mL	FD	R	G	B		R	G	B
M1	348,8	1,2	2	120	123	190		132	151	219
M1	348,8	1,2	2	112	112	173		135	152	221
M1	348,8	1,2	2	155	162	219		148	170	228
M2	420,5	1,2	2	105	105	178		131	149	223
M2	420,5	1,2	2	101	101	164		132	147	214
M2	420,5	1,2	2	125	125	215		127	149	225
K1	422,6	1,2	4	64	32	202		101	111	226
K1	422,6	1,2	4	40	22	133		110	119	220
K1	422,6	1,2	4	70	41	209		113	124	229
K2	386,5	1,2	4	86	70	215		117	131	228
K2	386,5	1,2	4	60	37	140		122	138	223
K2	386,5	1,2	4	80	55	198		123	136	228
P1	340,1	1,2	2	91	95	162		136	152	211
P1	340,1	1,2	2	100	100	175		139	158	217
P1	340,1	1,2	2	111	111	188		140	162	220
P2	367,3	1,2	2	110	108	211		135	153	225
P2	367,3	1,2	2	70	66	146		133	150	220
P2	367,3	1,2	2	72	65	162		134	149	218

Móvil norm									ImageJ norm								
R	G	B	R	G	B				R	G	B	R	G	B			
0,2771363	0,2840647	0,4387991	2,1167712	1,3861315	1,5687914				0,2629482	0,3007968	0,436255	1,9310602	1,0872656	1,86313			
0,2821159	0,2821159	0,4357683	1,7741375	1,4308287	1,5166559				0,265748	0,2992126	0,4350394	1,6902496	1,1417684	1,8213086			
0,2891791	0,3022388	0,4085821	1,288135	0,9692934	1,0490038				0,2710623	0,3113553	0,4175824	1,2331762	0,7240145	1,2207254			
0,2706186	0,2706186	0,4587629	2,1278351	1,4055923	1,586153				0,2604374	0,2962227	0,44334	1,7809244	1,0324091	1,7476326			
0,2759563	0,2759563	0,4480874	1,8231847	1,3040422	1,4338278				0,2677485	0,2981744	0,4340771	1,2593238	0,9767103	1,4832936			
0,2688172	0,2688172	0,4623656	2,2306471	1,4398629	1,637559	1,8934518	1,3226252	1,4653318	0,253493	0,2974052	0,4491018	2,2763605	0,9986628	1,9120608	1,6951824	0,9934718	1,6746918
0,2147651	0,1073826	0,6778523	10,578503	8,9774709	9,3777288	0,3475887	0,1797542	0,2153692	0,2305936	0,2534247	0,5159817	7,7813146	4,4851117	7,6033167	0,4010498	0,1450658	0,2688452
0,2051282	0,1128205	0,6820513	11,673086	8,7715849	9,4969602				0,2449889	0,2650334	0,4899777	5,7375015	3,8258358	6,1265156			
0,21875	0,128125	0,653125	10,125887	8,1921439	8,6755797				0,2424893	0,2660944	0,4914163	6,0923894	3,7655795	6,2082144			
0,2318059	0,1886792	0,5795148	9,4502338	6,4505358	7,2004603				0,2457983	0,2752101	0,4789916	6,1477383	3,5512496	6,0165545			
0,2531646	0,1561181	0,5907173	6,7976747	7,7984727	7,5482732				0,252588	0,2857143	0,4616977	5,0937141	2,8989836	4,9426788			
0,2402402	0,1651652	0,5945946	8,4027645	7,4239518	7,6686549	9,5046915	7,9356933	8,3279429	0,2525667	0,2792608	0,4681725	5,097014	3,2997187	5,3447338	5,991612	3,6377465	6,0403356
0,2614943	0,2729885	0,4655172	3,2747366	1,6821287	2,0802806	1,7196533	0,9312555	0,9902793	0,2725451	0,3046092	0,4228457	1,1339232	0,9805627	1,4376604	0,9908244	0,5361459	0,9129949
0,2666667	0,2666667	0,4666667	2,9097324	1,8308341	2,1005587				0,270428	0,307393	0,422179	1,320669	0,8823406	1,4141366			
0,2707317	0,2707317	0,4585366	2,6228728	1,7352142	1,9571288				0,2681992	0,3103448	0,4214559	1,5172684	0,778189	1,3886247			
0,2564103	0,2517483	0,4918415	3,3644265	2,0201851	2,3562454				0,2631579	0,2982456	0,4385965	1,8166707	1,1158525	1,8457879			
0,248227	0,2340426	0,5177305	3,8991375	2,4058251	2,7791532				0,2644135	0,2982107	0,4373757	1,714115	1,116992	1,8059051			
0,2408027	0,2173913	0,541806	4,3842521	2,7684987	3,172437	3,409193	2,073781	2,407634	0,2674651	0,2974052	0,4351297	1,4648731	1,1433099	1,7325262	1,4945866	1,0028745	1,6041068
						0,644768	0,4296046	0,4753949							0,250461	0,1490092	0,2125321





FIGURAS 9, 10, 11 Y 12 - Capacidad antioxidante (FRAP) (*ColorPicker* normalizado e *ImageJ* normalizado)

¿PUEDEN LOS CHAMPIÑONES SUSTITUIR AL SOL?

SÍNTESIS DE VITAMINA D EN *Agaricus bisporus*, MEDIANTE RADIACIÓN UVB

Autora: Marta Pagán Cascales
Tutor-Coordinador: Miguel García Carrasco
IES INFANTE DON JUAN MANUEL (MURCIA)
CURSO 2025-2026

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN..... 1

2. ANTECEDENTES..... 1

2.1. Vitamina D..... 1

2.1.1. Metabolismo y funciones biológicas..... 1

2.1.2. Deficiencia..... 2

2.1.3. Fuentes y mantenimiento..... 2

2.1.3.1. Exposición solar..... 2

2.1.3.2. Alimentación y suplementos..... 2

2.2. Radiación solar y efectos sobre la salud..... 2

2.2.1. Efectos negativos..... 2

2.2.2. Efectos positivos..... 3

2.3. Filtros solares y cremas hidratantes..... 3

2.4. Factores asociados a la deficiencia de vitamina D..... 3

2.5. Investigaciones previas..... 3

2.6. Efectos de la irradiación sobre las propiedades organolépticas y nutricionales del champiñón..... 4

2.7. Consideraciones para el consumo y aprovechamiento nutricional de champiñones irradiados..... 4

3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS..... 4

4. MATERIALES Y MÉTODOS..... 5

4.1. Enfoque y diseño experimental..... 5

4.2. Materiales..... 5

4.3. Procedimiento..... 5

4.3.1. Irradiación..... 5

4.3.2. Secado y preparación de la muestra..... 6

4.3.3. Extracción lipídica..... 6

4.3.4. Purificación..... 6

4.3.4. Lavado y evaporación..... 6

4.3.5. Cromatografía en capa fina (TLC)..... 6

4.3.6. Visualización..... 6

4.4. Instrumentos de medición..... 6

4.4.1. La cromatografía en capa fina (TLC).....6

4.4.2. Factor de retención (Rf).....7

4.4.3. Reactivo de vainillina.....7

5. RESULTADOS.....7

5.1. Análisis semicuantitativo de las manchas (TLC).....7

5.2. Análisis de Rf..... 8

5.3. Estimación de la cantidad de champiñones necesarios para cubrir la ingesta diaria de vitamina D..... 8

5.3.1. Irradiación UVB controlada.....8

5.3.2. Exposición a luz solar.....9

6. CONCLUSIONES..... 9

7. AGRADECIMIENTOS.....9

8. BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA.....9

ANEXOS..... 11

0. RESUMEN

Actualmente, existe una alta prevalencia de insuficiencia de vitamina D en diversas poblaciones, nutriente esencial para la salud ósea, la función inmunitaria y la actividad neuromuscular. Su principal fuente es la radiación solar UVB, aunque la exposición excesiva puede generar riesgos como el cáncer de piel. Además, factores ambientales, fisiológicos y hábitos de vida refuerzan la necesidad de contar con fuentes alimentarias alternativas y estrategias de fotoprotección. El objetivo de este estudio fue determinar el tiempo óptimo de exposición a radiación UVB que maximice la conversión de ergosterol presente en los champiñones (*Agaricus bisporus*) en ergocalciferol o vitamina D2 como fuente suplementaria de vitamina D. Las muestras se expusieron a radiación UVB (0, 6, 15 y 30 min), se secaron y se analizaron mediante cromatografía en capa fina (TLC), un método económico, sencillo y fiable. Los resultados mostraron que la síntesis de vitamina D2 alcanzó su máximo con 6 minutos de exposición, disminuyendo progresivamente con tiempos mayores. A partir de datos bibliográficos, se estimó el consumo de 1-2 champiñones bajo irradiación UVB controlada, y de 5-6 bajo exposición solar, para cubrir la ingesta dietética de referencia (IDR) de vitamina D. Estos hallazgos confirman la hipótesis inicial y destacan la relevancia de los champiñones irradiados como fuente natural de vitamina D2. Además, la metodología empleada es sencilla y reproducible, lo que permite que este procedimiento pueda ser implementado y replicado fácilmente en cualquier hogar o entorno educativo.

Palabras clave: Vitamina D; Ergocalciferol (D2); Champiñones (*Agaricus bisporus*); Radiación UVB; Fotoprotección; Enriquecimiento dietético

1. INTRODUCCIÓN

En el siglo XXI el interés en el cuidado de nuestra salud ha incrementado con la idea de mejorar la calidad de vida y de prevenir el envejecimiento. El estado nutricional es uno de los pilares del bienestar de una persona, ya que influye en su salud física, en su rendimiento intelectual, en su crecimiento, y en su capacidad reproductiva. En los últimos años se ha evidenciado un aumento considerable de los casos de déficit de vitamina D, constituyendo un problema de salud pública de gran magnitud, con una elevada prevalencia en los países desarrollados. Esta deficiencia se asocia a importantes consecuencias sanitarias, como alteraciones en la salud ósea, debilidad muscular y una posible relación con enfermedades metabólicas, cardiovasculares e inmunológicas. La relevancia sanitaria del déficit de vitamina D radica no solo en su impacto clínico, sino también en su carga sobre los sistemas de salud. Por ello, resulta imprescindible promover estrategias de prevención y corrección que sean accesibles y seguras. Esta investigación se centra en la vitamina D, la cual se consigue tanto a través del aporte dietético, como por una exposición solar adecuada. No obstante, si bien es cierto que una exposición controlada es beneficiosa, un exceso puede llegar a ser perjudicial sin un uso adecuado de fotoprotectores. Por ello, la exposición excesiva puede llevarnos a padecer patologías de una relevancia clínica mayor que la propia carencia de vitamina D. Así pues, el reto actual radica en encontrar la forma de mantener correctos nuestros niveles de vitamina D sin abusar de suplementos o de una radiación solar excesiva. Diversos estudios están enfocando la alimentación como la vía más segura y sostenible para luchar contra el déficit de vitamina D, cuándo factores ambientales, sociales o fisiológicos impiden recibir la suficiente radiación solar UV. Por norma general, el aporte dietético es muy inferior al que se obtiene por rayos UV. Por ello, un trabajo reciente ha demostrado que la exposición de los champiñones a dicha radiación induce un aumento en su contenido de vitamina D, lo que puede ser un arma muy interesante a la hora de enriquecer nuestra alimentación y contribuir a nuestro bienestar.

Cabe preguntarse entonces ¿Qué consecuencias para la salud puede tener una deficiencia prolongada de vitamina D? ¿Se puede lograr un equilibrio entre la fotoprotección y la producción adecuada de vitamina D? ¿Podría la incorporación de alimentos enriquecidos o la exposición de determinados productos, como los champiñones, a los rayos UV constituir una alternativa viable y sostenible para combatir el déficit de vitamina D?

2. ANTECEDENTES

2.1. Vitamina D

La vitamina D es una vitamina liposoluble esencial derivada del colesterol. Se presenta en dos formas principales: el colecalciferol (D3), producido en la piel por la acción de la radiación ultravioleta y presente en alimentos de origen animal, y el ergocalciferol (D2), procedente de fuentes vegetales y hongos. Ambos compuestos se transforman en el organismo en los metabolitos activos calcidiol y calcitriol mediante procesos de hidroxilación en el hígado y el riñón, siendo el calcitriol la forma hormonal responsable de sus funciones biológicas (García Martín, 2021).

2.1.1. Metabolismo y funciones biológicas

Ambos compuestos, el colecalciferol y el ergocalciferol, se transforman en el organismo en los metabolitos activos calcidiol y calcitriol mediante procesos de hidroxilación en el hígado y el riñón, siendo el calcitriol la forma hormonal responsable de sus funciones biológicas. La vitamina D desempeña un papel fundamental en la regulación del equilibrio mineral del organismo al favorecer la absorción de calcio y fósforo, esenciales para la salud ósea. Además, participa en procesos hormonales, inmunitarios y de diferenciación celular. Su estado nutricional se evalúa mediante los niveles de calcidiol en sangre, considerándose adecuada una ingesta diaria de entre 600 y 800 UI. (García Santos, 2015)

2.1.2. Deficiencia

La falta de vitamina D está relacionada con un mayor riesgo de infecciones, enfermedades autoinmunes, diabetes, esclerosis múltiple, presión arterial alta, síndrome metabólico, obesidad y asma. Esta vitamina es crucial para evitar el raquitismo y osteomalacia, manteniendo la salud ósea y de otros tejidos del cuerpo. En virtud de lo expuesto, el mantenimiento de los niveles adecuados de vitamina D, es de vital importancia para un organismo sano (García Santos, 2015).

2.1.3. Fuentes y mantenimiento

2.1.3.1. Exposición solar

La principal fuente de vitamina D es el sol. Aproximadamente el 90% de la vitamina D se produce en la piel a través de la radiación UV, y la regulación del cuerpo garantiza su conversión a la forma activa y evita la intoxicación. Este aspecto es relevante para el presente estudio porque la síntesis cutánea de vitamina D sigue el mismo principio fotoquímico que se aplica en la irradiación de los champiñones para aumentar su contenido en vitamina D2. Una exposición de 10 a 15 minutos, tres veces por semana, satisface las necesidades fisiológicas. Sin embargo, la radiación solar, si bien tiene efectos beneficios para la salud, también puede acarrear ciertos riesgos. Debido a la dificultad de establecer recomendaciones equilibradas de protección solar que aseguren una síntesis suficiente de vitamina D sin incrementar el riesgo de cáncer, resulta conveniente buscar fuentes alternativas controladas, como los alimentos enriquecidos mediante radiación ultravioleta.

2.1.3.2. Alimentación y suplementos

Obtener vitamina D a partir de los alimentos es complicado, puesto que solo aportan alrededor del 10% de las necesidades diarias, debido a que no muchos alimentos la contienen de forma natural. Únicamente está presente en cantidades relevantes en el pescado azul y aceites de pescado, el hígado y la grasa de mamíferos marinos y la yema de huevo. Por esta razón, se aconseja una ingesta de 600-800 UI diarias y el enriquecimiento de ciertos alimentos. Cabe puntualizar la comercialización de alimentos enriquecidos en calcio y vitamina D. En concreto, los productos lácteos representan el mayor porcentaje de productos fortificados tanto en el mercado español como en el internacional. Estos productos proporcionan una posible solución ante el déficit de calcio y vitamina D, además de proporcionar un efecto beneficioso para la salud, manteniendo una dieta equilibrada y preventiva (Rodrigo Huertas, 2019). Este contexto dietético es crucial para esta investigación, ya que pone de manifiesto la limitada disponibilidad de fuentes naturales de vitamina D en la alimentación habitual. Esta carencia justifica la búsqueda de nuevas estrategias alimentarias, como el uso de hongos irradiados, con el fin de evitar recurrir exclusivamente a la suplementación farmacológica.

2.2. Radiación solar y efectos sobre la salud

La radiación solar es una forma de energía transmitida mediante ondas electromagnéticas. La luz visible ocupa una pequeña fracción del espectro electromagnético, situada entre radiaciones de menor energía, como las infrarrojas, y de mayor energía, como las ultravioletas. A nuestra piel le llega la acción de tres tipos de radiaciones solares: infrarrojos, luz visible y luz ultravioleta. Los infrarrojos (50%) penetran en las capas más profundas de la piel, la visible (40%) en la dermis y la ultravioleta (10%). La radiación ultravioleta puede clasificarse en UVA, UVB y UVC. La luz UVA es el 90% de la radiación UV, y es la más penetrante llegando hasta la dermis y subdermis. La UVB es el 4-5% de la radiación UV, y llega a la epidermis. Por último, la luz UVC, es absorbida casi completamente por la capa de ozono atmosférica, teniendo pocos efectos en la salud humana. (Sanz García et al., 2021).

2.2.1. Efectos negativos

La radiación ultravioleta produce diversos efectos dañinos sobre nuestra salud, principalmente sobre la piel, los ojos y el sistema inmunológico. Como efectos más inmediatos debido a una exposición intensa encontramos: el eritema o quemadura solar, provocando cambios degenerativos de las células incluyendo envejecimiento prematuro de la piel y elastosis o pérdida gradual de su elasticidad; Las

reacciones inflamatorias en los párpados y globo ocular, denominado fotoqueratitis y fotoconjuntivitis, además del desarrollo del 10% de los casos de cataratas; La inmunosupresión aumentando el riesgo de infecciones. Sin embargo, el efecto más preocupante es el cáncer de piel, diagnosticándose a nivel mundial en 2020 más de 1,5 millones de casos y más de 120.000 muertes asociadas a esta enfermedad (Marín, *et al.*, 2022).

2.2.2. Efectos positivos

En contraposición con lo anterior, la exposición moderada al sol aporta numerosos beneficios para la salud. En primer lugar, los rayos UV estimulan la producción de vitamina D, indispensable para la fijación del calcio y su efecto protector por ejemplo contra cierto tipo de tumores. Además, el sol estimula el metabolismo, la circulación sanguínea y debido a su elevada temperatura favorece a la depuración de toxinas. En la dermis, destacan sus efectos dermo purificantes y antimicrobianos, utilizándose en condiciones como eczemas, vitíligo, acné y psoriasis. Por añadidura, regula el ciclo circadiano hormonal como la melatonina y serotonina mejorando el sueño, el ánimo y la sensación de bienestar, así como incrementando la testosterona y la vida sexual (Recaliente Mera y Muñoz Ortega, 2011).

2.3. Filtros solares y cremas hidratantes

Los filtros solares son sustancias presentes en productos cosméticos que protegen la piel de la radiación ultravioleta mediante absorción, reflexión o dispersión. Su uso es importante para prevenir daños cutáneos y reducir el riesgo de cáncer de piel, por lo que se recomienda aplicarlos especialmente durante la exposición solar y renovarlos aproximadamente cada dos horas. Sin embargo, el uso frecuente de protectores solares, especialmente en productos de aplicación diaria, puede limitar la síntesis cutánea de vitamina D. Por ello, en productos de uso cotidiano se recomienda utilizar factores de protección moderados para equilibrar la fotoprotección con la producción adecuada de esta vitamina (Molina Martos, 2018).

2.4. Factores asociados a la deficiencia de vitamina D

La deficiencia de vitamina D está influida por diversos factores físicos, geográficos y relacionados con el estilo de vida. Entre los agentes físicos destacan el color de la piel y el uso de protectores solares, ya que una mayor cantidad de melanina o la protección frente a la radiación UVB reducen la síntesis cutánea de vitamina D. Asimismo, variables geográficas como la latitud, la estación del año, la altitud, la contaminación atmosférica o la presencia de edificaciones altas pueden disminuir la exposición a la radiación ultravioleta y, por tanto, la producción de esta vitamina. También influyen diversos estilos de vida propios de las sociedades actuales, como la práctica de deporte en interiores, el trabajo en espacios cerrados, el sedentarismo, el tiempo prolongado frente a pantallas, ciertos tipos de vestimenta que cubren gran parte del cuerpo o la obesidad, que reduce la biodisponibilidad de la vitamina D. En los países desarrollados, estos factores se intensifican debido al estilo de vida urbano. A pesar de la disponibilidad de radiación solar, una gran parte de la población presenta niveles insuficientes de vitamina D; en España, por ejemplo, alrededor del 75% de la población muestra valores séricos por debajo de los niveles recomendados, lo que pone de manifiesto la necesidad de estrategias de prevención y concienciación para mejorar los niveles de esta vitamina en la población (Rodríguez Hernández, 2019).

2.5. Investigaciones previas

Investigaciones como la de Heo et al. (2020) muestran que la irradiación UVB puede incrementar notablemente la concentración de vitamina D2 en los champiñones, incluso hasta cientos de veces respecto a los no irradiados. Asimismo, se ha comprobado que exposiciones breves a la luz solar natural también pueden elevar de forma considerable sus niveles de esta vitamina, como en la de Urbain & Jakobsen (2015). Recientemente, la Universidad de La Rioja desarrolló un avance importante en el enriquecimiento de hongos con vitamina D2. Mediante distintos tratamientos de UVB, lograron incrementar significativamente el contenido de vitamina D2 en varias especies, destacando el polvo de

shiitake, que alcanzó hasta 500 veces el nivel inicial sin alterar su composición nutricional. Después de realizar un análisis microbiológico que asegurar su seguridad, el polvo de shiitake enriquecido fue encapsulado y administrado a personas durante un periodo de dos meses. El estudio demostró que este suplemento mantenía los niveles de vitamina D dentro de rangos adecuados, confirmando su potencial como una estrategia alimentaria para mejorar el estado nutricional y prevenir deficiencias de esta vitamina (Universidad de La Rioja, 2023). Estos antecedentes respaldan la presente investigación, orientada a analizar condiciones accesibles de irradiación que permitan aumentar el contenido de vitamina D en champiñones y contribuir a mejorar su aporte nutricional en la dieta.

2.6. Efectos de la irradiación sobre las propiedades organolépticas y nutricionales del champiñón

La irradiación de los champiñones, conlleva muchos malentendidos y confusiones en el consumidor acerca de su seguridad alimentaria y la conservación de sus propiedades. En primer lugar, la irradiación utilizada en los alimentos no es lo suficientemente elevada como para convertirlos en radiactivos, ya que cuando se irradia un alimento la energía pasa a través de él sin retenerla. De hecho, la irradiación de alimentos presenta numerosos beneficios como destruir microorganismos, insectos y parásitos, aumento de la calidad microbiológica, retraso del deterioro natural y disminución de la utilización de compuestos químicos como fumigantes. De este modo, en Estados Unidos hace ya seis años que se venden en supermercados alimentos irradiados, y actualmente se comercializan al menos una docena como carne molida, frutas y especias. En cuanto a sus propiedades organolépticas, se mantienen en gran medida ante una irradiación leve como la utilizada en esta investigación con champiñones. Por lo tanto, no se ve alterada su textura o color característico. No bastante, su valor nutricional varía tras la irradiación, pero siendo un cambio beneficioso puesto que como resalta esta investigación, los champiñones irradiados presentan un mayor contenido en vitamina D2 (Rossi et al., 2009).

2.7. Consideraciones para el consumo y aprovechamiento nutricional de champiñones irradiados

Si bien numerosos estudios evidencian un aumento de vitamina D tras la irradiación de hongos, hay que tener en cuenta la manera en la que se cocina y consume. En primer lugar, aunque la vitamina D es termoestable, es decir, resiste relativamente bien al calor, hay que tener en cuenta que periodos prolongados de cocción pueden degradarla parcialmente. Así pues, no se deben hervir durante mucho tiempo ya que puede disminuir su contenido de vitamina D en un 40%. Por lo tanto, el método correcto es cocinarlos a la plancha no más de cinco minutos (Wayne, 2021). En segundo lugar, la vitamina D es liposoluble, requiere de grasa para su máxima absorción y almacenamiento en el tejido adiposo. Por ello, se recomienda complementar la ingesta de champiñones irradiadas con grasas como el aceite de oliva (Navarro Walter, 2024).

3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

El objetivo general es determinar el tiempo óptimo de exposición a radiación UVB que maximice la conversión de ergosterol presente en los champiñones (*Agaricus bisporus*) en ergocalciferol o vitamina D2, y analizar teóricamente la relación entre el déficit de vitamina D y los hábitos de vida en países desarrollados, valorando la irradiación de alimentos como estrategia complementaria para mejorar su aporte en la dieta. Además, se plantean los siguientes objetivos específicos: **c**omparar las muestras irradiadas con un control para confirmar la síntesis fotoquímica de vitamina D2 a partir de ergosterol; determinar un tiempo óptimo de irradiación UVB que maximice la producción de vitamina D2 sin degradarla; estimar la cantidad de champiñones necesaria para cubrir la ingesta diaria recomendada de vitamina D (800 UI); y evaluar el potencial de estrategias dietéticas alternativas, como los champiñones irradiados, para prevenir su deficiencia.

Se plantea como hipótesis que la exposición de champiñones (*Agaricus bisporus*) a radiación ultravioleta UVB induce la conversión fotoquímica del ergosterol en ergocalciferol (vitamina D2). Se espera que el aumento del tiempo de exposición incremente la concentración de vitamina D2 hasta alcanzar un intervalo óptimo de irradiación, a partir del cual un exceso de exposición podría provocar su

degradación parcial. Por tanto, la irradiación UVB permitiría obtener champiñones enriquecidos en vitamina D2 como una fuente alimentaria funcional, natural y reproducible en condiciones de laboratorio.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Enfoque y diseño experimental

Esta investigación presenta un enfoque experimental y explicativo, orientado a analizar la relación entre el tiempo de exposición a radiación UVB y la síntesis de vitamina D2 en champiñones (*Agaricus bisporus*). Para ello, se emplea cromatografía en capa fina (TLC) como método cualitativo y semi-cuantitativo de análisis, seleccionado por ser una técnica sencilla, económica y adecuada para su aplicación en el laboratorio educativo del IES Infante Don Juan Manuel. Mediante esta técnica se pretende sustituir equipos complejos por alternativas más simples manteniendo el mismo fundamento químico, pero adaptado a un entorno accesible y de bajo coste como el laboratorio del instituto. Variable independiente: tiempo de irradiación UVB (0, 6, 15 y 30 minutos). Variable dependiente: cantidad relativa de ergocalciferol producido. Variables controladas: muestras control sin irradiación, distancia y tipo de lámpara constantes, temperatura estable, humedad controlada mediante frascos herméticos con desecante y ausencia de exposición a luz solar.

4.2. Materiales

Para la irradiación y preparación de las muestras se utilizaron: champiñones blancos (*Agaricus bisporus*), una lámpara UVB fluorescente para reptiles (modelo 10.0, 26 W, 290–315 nm) y material básico de laboratorio como bandejas de rejilla, horno de secado, ventilador, batidora, recipientes herméticos, bolsas desecantes y papel de aluminio. Para la extracción lipídica se emplearon: KOH al 50%, etanol absoluto, agua destilada y éter de petróleo, junto con material de laboratorio como matraces o tubos de ensayo, embudo de separación, baño de agua caliente, termómetro y pipetas. El análisis se realizó mediante cromatografía en capa fina (TLC), utilizando: placas de gel de sílice, cloroformo como fase móvil, reactivo de vainillina (1 g de vainillina disuelta en 100 mL de etanol, con adición de 2 mL de ácido sulfúrico concentrado) para la visualización y tubos capilares para la aplicación de las muestras.

4.3. Procedimiento

El procedimiento experimental se realizó en varias ocasiones con el objetivo de perfeccionar las condiciones de irradiación, secado, extracción y análisis cromatográfico. A lo largo de estas repeticiones, se detectaron posibles fuentes de error, que permitieron ajustar el protocolo de manera progresiva, estableciendo qué pasos debían llevarse a cabo en la misma sesión, considerando las limitaciones de almacenamiento de las muestras y las medidas preventivas necesarias. Esto mejoró notablemente la reproducibilidad y la fiabilidad de los resultados obtenidos. Para llevar a cabo la conversión del ergosterol en ergocalciferol o vitamina D2 en los champiñones mediante radiación ultravioleta, y su posterior análisis semicuantitativo se siguieron los siguientes pasos, esquematizados en la figura 2.

4.3.1. Irradiación

En primer lugar, se cortaron cinco champiñones por cada grupo de muestra en láminas uniformes y finas de 3,5 mm aproximadamente, para maximizar el área de contacto con la luz UVB, y se dispusieron sobre una bandeja de rejilla. Después, las muestras, a excepción de la de control (que no fue irradiada), se colocaron a 22 cm de la lámpara, manteniendo el ventilador encendido para evitar que la temperatura superara los 35 °C, como se observa en la figura 3. Cabe destacar que se realizó una prueba previamente de temperatura con la lámpara encendida y el ventilador funcionando; se midió la temperatura con un termómetro después de 2 a 3 minutos. A la mitad del tiempo de irradiación previsto para cada grupo, se dieron la vuelta a los champiñones para asegurar una exposición uniforme, y se continuó con la irradiación. Se tuvieron en cuenta las medidas de seguridad oportunas como no mirar directamente a la lámpara encendida o irradiar materiales inflamables. Además, para proteger la degradación se secaron y se protegieron inmediatamente después de su irradiación. No obstante, en

caso de ser necesario su almacenamiento, se recomienda en un opaco a 4 °C por un máximo de 48 a 72 horas.

4.3.2. Secado y preparación de la muestra

Tras la irradiación, representada en la figura 4, los champiñones se secaron en un horno a 50 °C durante unas 7 horas hasta deshidratación. Posteriormente se trituraron hasta obtener un polvo fino, adecuado para el análisis. Además, aunque el riesgo a la degradación de la vitamina D con la luz o el oxígeno disminuye una vez secado los champiñones, se almacenaron en recipientes herméticos, envueltos en papel de aluminio y con una bolsa desecante en la tapa.

4.3.3. Extracción lipídica

Se pesó 1 g de cada muestra en un matraz y se añadieron 10 ml de etanol absoluto y 2 ml de KOH al 50%. La mezcla se calentó en baño maría, como refleja la figura 5, a 50–60 °C durante 45 min para liberar la vitamina D de la matriz del champiñón. Después se enfrió y se añadieron 20 ml de agua destilada para facilitar la separación de fases. Durante la extracción lipídica, se mantuvo constantemente el matraz tapado con papel de aluminio y controlando que la temperatura no excediera los 60ºC mediante un termómetro.

4.3.4. Purificación

La mezcla se transfirió a un embudo de decantación y se añadió 15 ml éter de petróleo. Tras agitar y dejar reposar, la vitamina D, al ser no polar y una densidad menor, se concentró en la fase orgánica superior, que corresponde a la disolución transparente de la figura 6. A continuación, se recuperó con una pipeta. Tras comparar una muestra extraída una vez con otra que pasó por tres extracciones, se obtuvieron resultados similares, siendo solo necesaria una extracción.

4.3.4. Lavado y evaporación

El extracto orgánico se evaporó en baño maría a 40–45 °C hasta reducir el volumen aproximado a 2 ml, obteniendo así el extracto lipídico concentrado. La concentración del extracto se realizó debajo de una campana extractora, evitando temperaturas mayores de 50ºC con un termómetro y protegiendo la muestra de la luz con papel de aluminio. El extracto lipídico es bastante sensible a las condiciones ambientales y puede verse afectado por la luz, el oxígeno y la evaporación del solvente. Por eso, en este experimento se realizó el TLC de inmediato. No obstante, si es necesario su almacenamiento, se debe mantener disuelto en un solvente estable, en un vial oscuro y bien cerrado, a -20 °C, y no por más de 1 a 2 días.

4.3.5. Cromatografía en capa fina (TLC)

Se aplicaron pequeñas gotas de cada muestra en una placa de gel de sílice y se desarrolló la cromatografía utilizando cloroformo como fase móvil. El solvente ascendió por capilaridad separando los compuestos presentes en el extracto, tal y como se muestra en la figura 7.

4.3.6. Visualización

Finalmente, la placa se pulverizó con reactivo de vainillina y se calentó ligeramente, revelando el ergocalciferol como manchas de color púrpura.

4.4. Instrumentos de medición

4.4.1. La cromatografía en capa fina (TLC)

La TLC se ha utilizado como una técnica para separar y analizar los compuestos que se encuentran en los extractos de champiñón, especialmente la vitamina D2 (ergocalciferol). Fue elegida por ser económica, accesible y adecuada para una estimación semicuantitativa en un laboratorio educativo. La placa de TLC está cubierta con gel de sílice, que actúa como la fase estacionaria polar, mientras que el

disolvente que asciende por capilaridad forma la fase móvil (cloroformo), que es menos polar. A medida que la placa se desarrolla, los compuestos se separan según su afinidad por ambas fases: los compuestos más polares se adhieren más firmemente al gel de sílice y se mueven más lentamente, mientras que los compuestos menos polares, como la vitamina D2, se desplazan más rápidamente junto con el disolvente.

4.4.2. Factor de retención (Rf)

Para cada mancha, se calculó el factor de retención (Rf), que se define como la relación entre la distancia que ha recorrido el compuesto y la distancia total del frente del disolvente. Este valor es útil para identificar de manera relativa el tipo de compuesto presente en las muestras. Así pues, la vitamina D2 al ser un compuesto apolar, tiende a ascender rápidamente, mostrando Rf altos. En cambio, los compuestos polares se mueven lentamente y presentan valores Rf más bajos (Sigma-Aldrich, s.f.).

4.4.3. Reactivo de vainillina

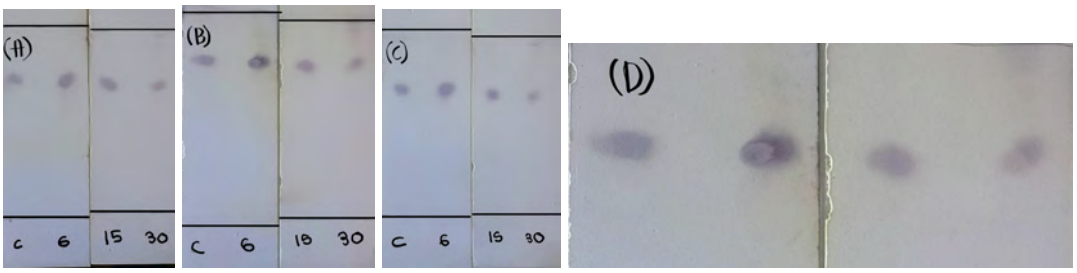
Tras el desarrollo de la placa de TLC, los compuestos presentes, como la vitamina D2, son incoloros y no se pueden visualizar directamente. Para detectarlos se empleó vainillina en medio ácido (1 g de vainillina disuelta en 100 mL de etanol, con adición de 2 mL de ácido sulfúrico concentrado), que actúa como reactivo revelador. Además, la placa se calentó para acelerar la reacción química entre los compuestos. Químicamente, el ácido facilita la transferencia de protones y estabiliza los intermediarios, promoviendo la formación del color púrpura característico. El producto coloreado permanece absorbido en la superficie polar de la sílice, fijando la posición alcanzada durante el desarrollo. La intensidad, el tamaño y la posición de las manchas permitieron estimar de manera semicuantitativa la cantidad relativa de compuesto presente en cada muestra. Esta información, junto con el cálculo del factor de retención (Rf), permitió comparar distintos tratamientos o tiempos de irradiación y evaluar tendencias en la síntesis de ergocalciferol sin necesidad de métodos de cuantificación absoluta y de manera sencilla y a bajo coste económico.

5. RESULTADOS

5.1. Análisis semicuantitativo de las manchas (TLC)

Figura 1

Placas de cromatografía en capa fina (TLC) de extractos de champiñones irradiados a distintos tiempos. (A), (B), (C) corresponden a 3 ensayos con muestras distintas. (D) detalle ampliado comparando la intensidad de las manchas del ensayo (B)



Nota: Cada carril corresponde a un tiempo de irradiación diferente (0, 6, 15 y 30 minutos), y cada mancha un compuesto separado TLC. Fuente: Elaboración propia.

Se realizaron tres ensayos completos a partir de las muestras de champiñones irradiadas a distinto tiempos, desecadas y pulverizadas. En la figura 1 se muestran las manchas de color púrpura atribuidas al ergocalciferol, obtenidas tras el revelado de la placa con reactivo de vainillina. Cada mancha representa la cantidad de vitamina D2 presente en esa muestra tras irradiación del tiempo indicado en minutos en la parte inferior, donde a más intensidad de color púrpura indica más cantidad. La muestra control (0 min) presentó una mancha tenue y bien definida, atribuida al ergosterol inicial, constituyendo a

la referencia del sistema sin irradiación. Tras 6 minutos de exposición, se observó una mancha más intensa y definida, indicando la máxima formación de vitamina D2. A los 15 minutos, la intensidad disminuyó ligeramente, puesto que la mancha se observó más tenue a la de 6 minutos, lo que sugiere el inicio de la fotodegradación. En la muestra irradiada 30 minutos, la mancha fue muy tenue y difusa, evidenciando una disminución del compuesto por una irradiación excesiva. En conjunto, el análisis de TLC indica que la síntesis de vitamina D2 alcanza su máximo en torno a los 6 minutos de irradiación UVB, disminuyendo posteriormente por degradación fotoquímica.

5.2. Análisis de Rf

Tabla 1

Promedio de Rf y distancias medidas según tiempo de irradiación

Tiempo de irradiación (mi	Distancia mancha promedio (cm)	Distancia frente del solvente promedio (cm)	Rf promedio
0	5,53	7,17	0,77
6	5,5	7,17	0,77
15	5,03	6,73	0,75
30	5,07	6,73	0,75

Fuente: Elaboración propia

Considerando que la Rf es la relación entre la distancia que ha recorrido el compuesto y la distancia total del frente del disolvente, la tabla 1 refleja que los valores promedio de Rf fueron muy similares entre todas las muestras (0,75–0,77), lo cual indica que las manchas corresponden al mismo compuesto. Estos valores altos reflejan su naturaleza apolar, ya que fue arrastrado por la fase móvil apolar (cloroformo). Por tanto, se afirma que todas las manchas observadas corresponden a la vitamina D2 y no se han formado nuevos compuestos, simplemente se ha variado la cantidad de esta dependiendo del tiempo de irradiación.

5.3. Estimación de la cantidad de champiñones necesarios para cubrir la ingesta diaria de vitamina D

Al no poder estimar cuantitativamente la cantidad de vitamina D, se realizaron cálculos a partir de los datos publicados en la literatura científica y explicados en el marco teórico de este trabajo de investigación, para estimar la cantidad de champiñones blancos necesaria para cubrir la ingesta diaria de referencia (IDR) de vitamina D. Para ello, se consideró una RDA de 20 µg/día (800 UI). En los estudios presentados, la cantidad de vitamina en concreto la D2, se expresa por gramo seco o fresco. Para ello, se consideró un peso medio de 20g por champiñón fresco y una pérdida aproximada de 90% del peso durante el secado, resultando en 2 g de peso seco por champiñón.

5.3.1. Irradiación UVB controlada

Heo *et al.*(2020), como ha sido citado en el marco teórico, obtuvieron un contenido de 8,19 µg de vitamina D2 por gramo seco en champiñones blancos irradiados durante 30 minutos. A partir de este valor, se estimó el contenido en peso fresco teniendo en cuenta la perdida de agua, obteniendo 81,9 µg de vitamina D2 por 100 g de champiñón fresco. Así pues, la cantidad de champiñón fresco necesaria

para cubrir la ingesta diaria de 20 µg fue: 20 x 100 81,9 = 24,4 g de champiñón fresco. Puesto que un champiñón pesa alrededor de 20 g, esta cantidad corresponde a: 1,22 champiñones frescos.

5.3.2. Exposición a luz solar

Por otro lado, Urbain y Jakobsen (2025), como ha sido mencionado anteriormente, determinaron que tras 15 minutos de exposición a luz solar natural, el contenido de vitamina D2 en champiñones blanco alcanzó 17,6 µg por 100 g de peso fresco. A partir de este valor se calculó la cantidad necesaria para cubrir la IDR: 20 x 100 17,6 = 114 g de champiñón fresco. Expresado en número de unidades, este valor equivale a: 5,7 champiñones frescos.

6. CONCLUSIONES

En definitiva, el estudio demuestra que la radiación UVB en champiñones blancos favorece la formación de vitamina D2 a partir de ergosterol, siendo el tiempo óptimo de exposición 6 minutos, a partir del cual la eficacia del proceso disminuye progresivamente por fotodegradación, confirmando la hipótesis inicial y el cumplimiento de los objetivos del trabajo. Asimismo, la estimación teórica del consumo necesario de champiñones permite vincular los resultados experimentales con las necesidades nutricionales humanas, siendo necesario de 1-2 champiñones mediante el método planteado en la investigación con lámpara de reptiles o entre 5-6 con luz solar. Los resultados obtenidos coinciden con los estudios previos mencionados en los antecedentes, no obstante, dichas investigaciones utilizaron métodos cuantitativos como HPLC que requieren de equipos complejos. Así pues, se resalta la originalidad de esta investigación que empleó TLC, una técnica que permite sustituir equipos complejos por alternativas más simples y económicas manteniendo el mismo fundamento químico, pero adaptado a un entorno accesible como el laboratorio del instituto. Sin embargo, la TLC presenta limitaciones frente a técnicas más precisas, por lo que futuras investigaciones podrían complementar este método con técnicas cuantitativas más precisas, estudiar distintos tiempos e intensidades de irradiación o analizar otras especies de hongos, con el fin de optimizar la producción de vitamina D2 y ampliar la aplicación práctica de esta estrategia nutricional. Desde una perspectiva práctica, la investigación brinda una estrategia sencilla y reproducible para generar un alimento natural enriquecido en vitamina D, que no solo tendría una posible aplicación comercial, también a pequeña escala en nuestras viviendas antes de consumirlos. En definitiva, esto abre las puertas a una solución alimentaria accesible frente a un problema de salud pública cada vez más frecuente.

7. AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, deseo expresar mi agradecimiento al IES Infante Don Juan Manuel por haber facilitado los recursos, las instalaciones y el material necesarios. Asimismo, quiero agradecer de una forma exclusiva a mi tutor, el profesor Miguel García Carrasco, por la constante orientación, dedicación y atención prestada en cada una de las etapas del presente proyecto. Finalmente, expreso mi agradecimiento a mi familia por su apoyo constante y su comprensión, que han sido fundamentales para la culminación de este proyecto.

8. BIBLIOGRAFÍA Y WEBGRAFÍA

García Martín, M. E. (2021). *Hipovitaminosis D: Un problema de salud pública global*. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de Salamanca. https/://gredos.usal [Consultado 28-10-2025].

García Santos, E. (2015). *La carencia de vitamina D como factor de riesgo de diferentes patologías*. Trabajo de Fin de Grado. Universidad de Valladolid. Disponible en:https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/13263/TFG-L876.pdf?sequence=1&isAllowed=y [Consultado 24-11-2025].

Heo, T.Y., Kim, Y.N., Park I.B., Lee D.U. (2020) “Amplification of Vitamin D2 in the White Button Mushroom (*Agaricus bisporus*) by UV-B Irradiation and Jet-Milling for Its Potential Use as a Functional Ingredient”. *Foods*. 2020 Nov 22;9(11):1713. doi: 10.3390/foods9111713. PMID: 33266446; PMCID: PMC7700162. Disponible en: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33266446/ [Consultado 23-12-2025].

Marín, M.J., Estellés, V., Gómez-Amo, J.L, & Utrillas, M.P. (2022). “Radiación solar ultravioleta: riesgos y beneficios”. *Revista Ambienta.* Disponible en: https://www.revistaambienta.es/content/dam/revistaambienta/estructura/histórico-revistas/2022-(131-134)/133/articulos-133-png/13-133.pdf [Consultado 15-11-2025].

Molinas Martos, J. (2018). *Pantallas Solares*. Trabajo de fin de grado. Facultad de Farmacia, Universidad de La Laguna. Disponible en: https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/12351/Pantallas+solares.pdf;jsessionid=343EDBBED5449E72DB6F3981CFF3C1CF?sequence=1 [Consultado 24-10-2025].

Navarro Walter, C. (2024). “¿Por qué pongo los champiñones al sol antes de cocinarlos?”. *Cuerpomente*, 29 junio. Disponible en: https://www.cuerpomente.com/alimentacion/por-que-pongo-champinones-sol-antes-cocinarlos_13394 [Consultado 12-03-2026].

Recaliente Mera, M. & Muñoz Ortega, M.A, (2011). *Sol, Beneficios y Peligros*. Desarrollo Cientif Enferm 19(10).Disponible en: https://www.index-f.com/dce/19pdf/19-348.pdf [Consultado 01-01-2026].

Rodríguez Hernández, B. (2019). Déficit de vitamina D en la población: revisión narrativa. Trabajo de Fin de Grado. Universidad Autónoma de Madrid. Disponible en: https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/687941/rodriguez_hernandez_beatriztfg.pdf [Consultado 20-11-2025].

Rodríguez Huertas, J., Rodríguez Lara, A., González Acevedo, O., & Mesa, M. D. (2019). “Leche y productos lácteos como vehículos de calcio y vitamina D: papel de las leches enriquecidas”. *Nutrición hospitalaria*, *36*(4), 962-973. Disponible en: https://scielo.isciii.es/scielo.php?pid=S0212-16112019000400030&script=sci_arttext&tlng=en [Consultado 20-11-2025].

Rossi, L., Watson, D., Escandarani, S., Miranda, A. y Troncoso, A. (2009) “La radiación a la mesa”, *Revista Chilena de Infectología*, 26(4), pp. 318–330. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-10182009000500003 [Consultado 20-02-2026].

Sanz García, C., Pérez Leal, M., & Cortijo Gimeno, J. (2021). “La radiación solar y la fotoprotección”. *Actualidad en Farmacología y Terapéutica.* 19(2), 88-108. Disponible en: https://www.socesfar.es/wp-content/uploads/2021/10/AFTV19N2-06D-Revisiones-en-farmacoterapia-1.pdf [Consultado 14-9-2025].

Sigma-Aldrich. (s.f). Cromatografía en capa fina. *Merck Group.* Disponible en: https://www.sigmaaldrich.com/ES/es/applications/analytical-chemistry/thin-layer-chromatography?srsltid=AfmBOorjRk5wQXal0dCnrLkRSdIfEtNiTZVImdwmHlbrNBuwck5iJddS [Consultado 22-12-25].

Universidad de La Rioja (2023). “Desarrollada una tecnología capaz de obtener setas enriquecidas con radiación UV-B para paliar el déficit de vitamina D”. *Universidad de La Rioja,* 30 de octubre. Disponible en:https://www.unirioja.es/desarrollada-una-tecnologia-capaz-de-obtener-setas-enriquecidos-con-radiacion-uv-b-paliar-el-deficit-de-vitamina-d/ [Consultado 19-12-2025].

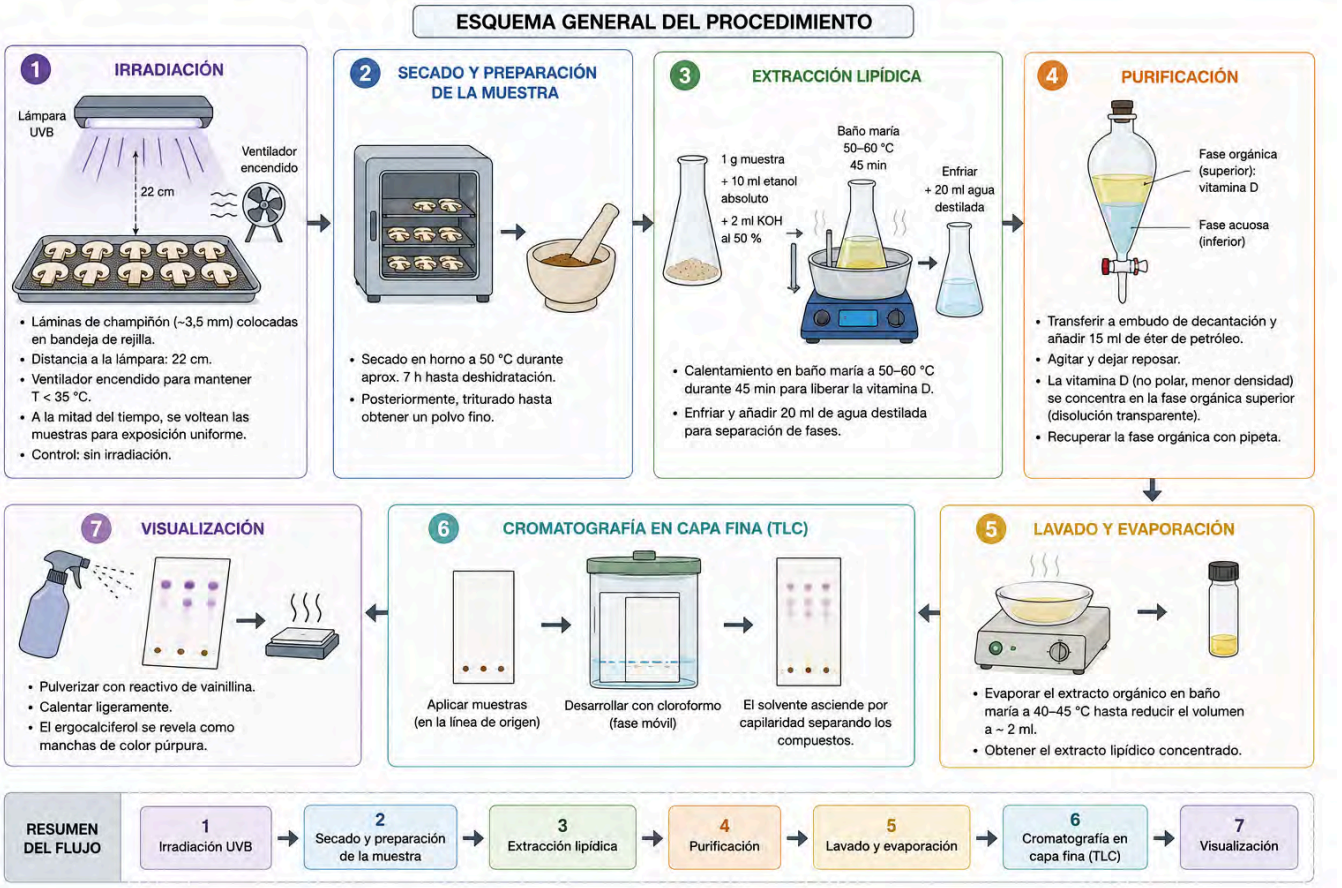
Urbain, P., Jakobsen, J. (2015). “Dose-Response Effect of Sunlight on Vitamin D2 Production in *Agaricus bisporus* Mushrooms”. *J Agric Food Chem*. 2015 Sep 23;63(37):8156-61. doi: 10.1021/acs.jafc.5b02945. Epub 2015 Sep 11. PMID: 26314311.Disponible en: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26314311/ [Consultado 23-12-2025].

Wayne, J. (2021) “Cómo obtener la vitamina D de los champiñones o setas”. *Nutrition Studies*, 24 julio. Disponible en:https://nutritionstudies.org/es/como-obtener-la-vitamina-d-de-los-champinones-o-setas/ [Consultado 12-03-2026].

ANEXOS

Figura 2

Esquema general del procedimiento



Fuente: Elaboración propia

Figura 3

Proceso de Irradiación de champiñones

Fuente: Elaboración propia

Figura 4

Champiñones secados tras la irradiación

Fuente: Elaboración propia

Figura 5

Extracción lipídica

Fuente: Elaboración propia

Figura 6

Separación y purificación de la extracción

Fuente: Elaboración propia

Figura 7

Cromatografía en Capa Fina

Fuente: Elaboración propia

Título del trabajo:

Enfermedades de transmisión sexual en la Región de Murcia

Autor (nombre y apellidos del alumno o alumnos) Curso Académico y Nivel

Arturo Sánchez Rodríguez. Curso 25/26. 2º de Bachillerato

Datos de la Tutora:

María Dolores Martínez García. Profesora de Biología y Geología. IES Floridablanca.

Centro docente:

IES Floridablanca

Índice con los epígrafes de los trabajos y su paginación

Resumen del tema a desarrollar / Abstract — pág. 3

1. Introducción — pág. 4
   1.1 Justificación — pág. 4
2. Antecedentes y estado de la cuestión — pág. 4
   2.1 Investigaciones previas — pág. 4
   2.2 Situación actual de las infecciones de transmisión sexual: datos globales y análisis regional — pág. 5
3. Objetivos de la investigación — pág. 5
4. Materiales y métodos — pág. 5
   4.1 Materiales — pág. 5
   4.2 Metodología — pág. 5
   4.3 Muestra — pág. 5
5. Resultados — pág. 6
   5.1 Datos recogidos — pág. 6
   5.2 Discusión de los resultados — pág. 6
6. Conclusiones — pág. 7
   6.1 Reflexión de los objetivos — pág. 7
   6.2 Análisis de limitaciones — pág. 7
   6.3 Futuras líneas de investigación — pág. 7
7. Agradecimientos — pág. 7
8. Bibliografía — pág. 7
9. Anexo — pág. 9

Resumen del Tema a desarrollar (250 palabras máximo, en castellano)

Las infecciones de transmisión sexual (ITS) constituyen un grave problema de salud pública a nivel mundial, ya que provocan aproximadamente un millón de nuevas infecciones diarias, lo que equivale a unos 340 millones de personas infectadas al año, así como alrededor de 2,5 millones de muertes. Tanto a nivel nacional como regional, se ha observado un incremento en la incidencia de estas infecciones en los últimos años.
El objetivo de la presente investigación es identificar las motivaciones y circunstancias que influyen en el uso o no de métodos anticonceptivos entre los jóvenes de la Región de Murcia.
Para la realización de este estudio, se elaboró una encuesta relacionada con la educación sexual de los jóvenes, así como con las medidas y precauciones adoptadas en el ámbito de su vida sexual. Dicha encuesta fue difundida entre 94 jóvenes que participaron en el estudio.
Los resultados obtenidos indican que las precauciones adoptadas por los jóvenes se ven influenciadas por el consumo de alcohol y por el hecho de conocer a alguna persona que haya padecido una ITS. Así mismo, se observa que las mujeres muestran una actitud más preventiva que los hombres, al igual que el grupo de jóvenes comprendido entre los 27 y 30 años.

Resumen del Tema en inglés (250 palabras)

Sexually transmitted infections (STIs) constitute a serious global public health problem, as they cause approximately one million new infections every day, which is equivalent to around 340 million people infected per year, as well as about 2.5 million deaths. At both the national and regional levels, an increase in the incidence of these infections has been observed in recent years.
The objective of the present study is to identify the motivations and circumstances that influence the use or non-use of contraceptive methods among young people in the Region of Murcia.
To carry out this study, a survey was designed addressing young people's sexual education, as well as the measures and precautions adopted in relation to their sexual lives. This survey was distributed among the 94 participating youngsters.
The results obtained indicate that the precautions adopted by young people are influenced by alcohol consumption and by knowing someone who has suffered from an STI. Likewise, women show a more preventive attitude than men, as do young people between 27 and 30 years of age.

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1. Introducción

Las ITS son enfermedades que se transmiten principalmente mediante el contacto sexual, aunque también pueden contagiarse durante el embarazo, el parto o por contacto directo piel con piel. Existen más de 30 tipos de ITS clasificadas según el agente causante en víricas, bacterianas y parasitarias. Entre las más conocidas se encuentran el VIH/SIDA, la gonorrea y la tricomoniasis. Estas infecciones afectan tanto a hombres como a mujeres, aunque en estas últimas pueden generar consecuencias más graves, especialmente durante el embarazo, debido al riesgo de transmisión al feto.

Uno de los principales problemas de las ITS es la dificultad de su diagnóstico ya que muchas veces no presentan síntomas o estos son leves e inespecíficos. Esto provoca que numerosas personas sean portadoras sin saberlo, favoreciendo así la transmisión a otros individuos y dificultando un tratamiento temprano. Cuando aparecen síntomas, los más frecuentes incluyen secreciones anormales, llagas o verrugas genitales, dolor al orinar, picor, úlceras bucales, dolor abdominal, sangrado anal y fiebre.

Actualmente, muchas ITS de origen bacteriano o parasitario pueden tratarse eficazmente con antibióticos. Además, se están desarrollando nuevas estrategias preventivas, como el uso de doxiciclina recomendado por los Centros para el Control y la Prevención de Enfermedades de Estados Unidos (CDC) para reducir la propagación de estas enfermedades. Sin embargo, el método preventivo más eficaz y accesible continúa siendo el uso del preservativo y otros métodos de barrera. Por otro lado, las ITS de origen vírico, como el VIH, siguen representando un gran desafío, ya que aunque pueden controlarse mediante tratamientos antivirales, todavía no existe una cura definitiva.

1.1 Justificación

La realización de este proyecto de investigación centrado en las ITS se justifica por la creciente relevancia que estas presentan como problema de salud pública a nivel mundial. A pesar de los avances en prevención y tratamiento, la incidencia de las ITS continúa siendo elevada, especialmente entre la población joven, debido en gran parte a la falta de información, la percepción insuficiente del riesgo y la adopción de conductas sexuales poco seguras. En este contexto, resulta necesario profundizar en el conocimiento sobre los hábitos, actitudes y nivel de información de la población respecto a estas infecciones. Asimismo, este estudio permite identificar posibles necesidades educativas y contribuir al diseño de estrategias de prevención y promoción de la salud más eficaces. De esta manera, la investigación pretende aportar información relevante que favorezca la concienciación social y la reducción del impacto sanitario y social asociado a las ITS.

2. Antecedentes y estado de la cuestión

2.1 Investigaciones previas

Las investigaciones sobre ITS en población joven coinciden en que, aunque los jóvenes conocen los riesgos asociados a estas infecciones, muchos continúan manteniendo relaciones sexuales sin adoptar las medidas preventivas adecuadas. Por ello, la mayoría de estudios se centran en analizar las causas de este comportamiento y las motivaciones que influyen en el uso o no uso de métodos de protección.

Para llevar a cabo estas investigaciones, se suelen seleccionar muestras de jóvenes de entre 13 y 30 años, dependiendo de los objetivos del estudio. Los participantes responden cuestionarios o encuestas en los que se recopilan datos personales y se analiza su nivel de conocimiento sobre las ITS, la educación sexual recibida, sus experiencias sexuales y el uso de métodos anticonceptivos. Algunos estudios utilizan grandes muestras cuantitativas, mientras que otros emplean grupos más reducidos para profundizar en las percepciones y actitudes de los jóvenes frente a las medidas preventivas.

Los resultados muestran que los jóvenes conocen los métodos anticonceptivos y las ITS, pero no siempre actúan de manera coherente con ese conocimiento. El preservativo es el método más conocido y utilizado, aunque su uso constante sigue siendo reducido. Además, factores como la confianza en la pareja o el consumo de alcohol influyen negativamente en la adopción de medidas de protección. También se destaca que muchos jóvenes utilizan anticonceptivos principalmente para evitar embarazos y no tanto para prevenir infecciones.

Por otro lado, los estudios coinciden en que la educación sexual actual es insuficiente y poco efectiva, ya que suele impartirse de forma puntual y sin adaptarse a la realidad de los adolescentes. Debido a ello, se plantea la necesidad de desarrollar una educación sexual más completa, temprana y continua, orientada a fomentar conductas sexuales responsables y prevenir así el aumento de las ITS entre los jóvenes.

2.2 Situación actual de las infecciones de transmisión sexual: Datos globales y análisis regional.

Las ETS constituyen uno de los problemas sanitarios más graves a los que se enfrenta la humanidad en la actualidad debido a su elevado índice de contagio. Según Rodríguez Granger (2020), se estima que diariamente se registran aproximadamente un millón de nuevos casos a nivel mundial. En la misma línea, la OMS calcula que cada año se producen cerca de 340 millones de infecciones por enfermedades de transmisión sexual en todo el mundo y aproximadamente 2,5 millones de muertes.

Según los datos proporcionados por la Consejería de Salud de la Región de Murcia, el número de personas infectadas por infecciones de transmisión sexual (ITS) en dicha comunidad ha experimentado un incremento constante desde el año 2017. Entre estas infecciones, la gonococia (causada por Neisseria gonorrhoeae) ha sido la que ha mostrado el mayor aumento, pasando de 30 casos registrados en 2016 a 487 en 2022, lo que representa un crecimiento significativo del 1523,33%. Además de la gonococia, también se ha observado un aumento en los casos de otras ITS como la infección por Chlamydia trachomatis y el linfogranuloma venéreo.

Por otro lado, los datos de la misma consejería indican que estas infecciones han afectado en mayor medida a los hombres que a las mujeres. No obstante, se ha registrado un incremento notable en el número de mujeres jóvenes, especialmente en el grupo de edad comprendido entre los 20 y los 24 años, que han sido diagnosticadas con alguna ITS.

En consecuencia, este proyecto adquiere una notable relevancia en el contexto actual, dado que las infecciones de transmisión sexual (ITS) constituyen un problema de gran magnitud tanto desde el punto de vista sanitario como económico. De hecho, según datos de IM Médico (2023), “en el caso de que se redujera la inversión sanitaria en prevención, los costes totales derivados de las infecciones de transmisión sexual en España podrían alcanzar casi los 300 millones de euros (296,79 millones) en el año 2025”.

A través de esta investigación se pretende contribuir a la reducción del número de personas infectadas por ITS en la Región de Murcia comprendiendo mejor las motivaciones que llevan a los jóvenes a utilizar —o a no utilizar— métodos de protección, como el preservativo, en sus relaciones sexuales, lo que representaría un avance significativo en términos de salud pública y sostenibilidad económica.

3. Objetivos de la investigación

El objetivo principal de la presente investigación es identificar cuáles son las motivaciones y situaciones que incitan a los jóvenes de la Región de Murcia a usar o no métodos anticonceptivos. Para completar este proyecto también se han propuesto los siguientes objetivos específicos:

Evaluar qué sexo muestra mayor precaución frente a las enfermedades de transmisión sexual mediante la realización de encuestas a jóvenes.

Determinar el rango de edad que presenta un mayor nivel de precaución frente a las enfermedades de transmisión sexual por medio de encuestas.

Concienciar sobre la importancia de la formación educativa en prevención de ITS

4. Materiales y métodos

4.1 Materiales

Para este trabajo se empleó el uso exclusivamente de herramientas digitales las cuales fueron Google forms para la recogida de datos y Excel para la discusión de los resultados.

4.2 Metodología

En este proyecto se empleó una metodología cualitativa basada en encuestas dirigidas a jóvenes de entre 18 y 30 años seleccionados de forma aleatoria. El cuestionario se difundió mediante la colaboración de distintos participantes, quienes lo compartieron con familiares y amigos para aumentar el número de respuestas obtenidas. La muestra se organizó según sexo, edad y situación académica o laboral.

4.3 Muestra

Participaron un total de 94 jóvenes, quienes respondieron de forma voluntaria y anónima a preguntas relacionadas con su conocimiento sobre las infecciones de transmisión sexual, sus conductas sexuales y el uso de métodos anticonceptivos. Solo las preguntas sobre edad y sexo fueron obligatorias, permitiendo omitir cualquier otra cuestión que generara incomodidad.

De los participantes, 81 afirmaron haber mantenido relaciones sexuales coitales, mientras que 13 indicaron no haberlas tenido (Imagen 1). En cuanto a la distribución de la muestra, participaron 50 mujeres y 44 hombres (Imagen

2). La mayoría de los encuestados tenía entre 18 y 22 años (Imagen 3), y gran parte se encontraba cursando estudios universitarios, aunque también participaron estudiantes de formación profesional y jóvenes trabajadores.

5. Resultados

5.1 Datos recogidos

Los resultados de la encuesta reflejan que la mayoría de los jóvenes considera haber recibido una educación sexual adecuada, ya que casi todos valoraron su formación por encima de 3 en una escala de 1 a 5. Además, los participantes demostraron un alto conocimiento sobre las enfermedades de transmisión sexual más conocidas, especialmente el VIH, la gonorrea y la sífilis. Sin embargo, las ITS menos frecuentes, como el linfogranuloma venéreo o el chancro blando, eran prácticamente desconocidas para gran parte de la muestra (Imagen 4), lo que evidencia ciertas carencias en la educación sexual recibida.

También se analizó la influencia de conocer casos cercanos de ETS. La mayoría de los encuestados afirmó no conocer a nadie que hubiera padecido una infección de este tipo, mientras que un grupo reducido sí había tenido contacto o conversaciones sobre experiencias relacionadas con estas enfermedades. Este aspecto se incluyó con el objetivo de estudiar si la cercanía a casos reales favorecía una actitud más preventiva.

En cuanto a los métodos anticonceptivos, el preservativo fue claramente el más utilizado por los jóvenes, muy por encima del resto de métodos. Después se situaron las píldoras anticonceptivas y el método de la marcha atrás. Otros métodos, como el DIU o el anillo hormonal, presentaron porcentajes de uso bajos, mientras que algunos, como el parche anticonceptivo, apenas fueron utilizados y solo una pequeña parte de los participantes declaró no emplear ningún método anticonceptivo en sus relaciones sexuales (Imagen 5).

Respecto a la percepción del riesgo, muchos jóvenes mostraron un bajo nivel de preocupación ante la posibilidad de contraer una ETS, pese al elevado número de contagios existentes en la actualidad. Más de la mitad afirmó utilizar métodos anticonceptivos siempre, aunque todavía existe un porcentaje que solo los utiliza ocasionalmente o nunca (Imagen 6).

Sobre las razones para usar preservativo, la mayoría señaló que lo emplea tanto para prevenir embarazos como enfermedades de transmisión sexual. Sin embargo, un porcentaje importante indicó que lo utiliza únicamente para evitar embarazos, mientras que sólo una minoría afirmó hacerlo exclusivamente para prevenir ETS (Imagen 7). De forma similar, cuando se planteó la posibilidad de mantener relaciones con una persona que ya utilizaba otro método anticonceptivo, más de un tercio afirmó que no utilizaría preservativo, lo que demuestra que muchos jóvenes siguen asociando su uso principalmente a la prevención del embarazo y no tanto a la protección frente a infecciones.

Finalmente, se estudió la influencia del alcohol y otras sustancias en el uso de métodos anticonceptivos. Aunque la mayoría aseguró que el consumo no afecta a sus decisiones, una parte de los participantes reconoció que sí puede influir negativamente.Finalmente, la mayoría de los encuestados mostró un elevado grado de confianza en la eficacia de los métodos anticonceptivos, especialmente en los valores más altos de la escala utilizada en la encuesta (Imagen 8).

5.2 Discusión de los resultados

Los resultados muestran diferencias importantes según el sexo y la edad de los participantes. Las mujeres presentan conductas sexuales más preventivas, ya que suelen combinar el preservativo con otros métodos anticonceptivos y muestran una mayor preocupación por las ITS. Además, poseen un conocimiento más amplio sobre estas infecciones y se ven menos influenciadas por el consumo de alcohol u otras sustancias. Por el contrario, los hombres recurren con mayor frecuencia a métodos menos seguros, como la marcha atrás, y presentan conductas de mayor riesgo.

En relación con la edad, los jóvenes de entre 18 y 22 años son quienes muestran comportamientos más arriesgados, debido a una mayor confianza en métodos poco fiables y a una mayor influencia del alcohol. Los participantes de entre 23 y 26 años presentan una actitud más responsable y un uso más frecuente de métodos anticonceptivos seguros. Por su parte, el grupo de 27 a 30 años destaca por tener un mayor conocimiento sobre las ITS y una mayor constancia en el uso de métodos de protección.

También se observó que conocer a alguien que ha padecido una ITS favorece conductas más preventivas, aumentando la frecuencia de uso del preservativo y la preocupación por evitar enfermedades. Por último, los participantes que consideran haber recibido una mejor educación sexual y aquellos que confían más en la eficacia del preservativo son quienes utilizan con mayor regularidad métodos anticonceptivos seguros.

6. Conclusiones

6.1 Reflexión de los objetivos

La investigación cumplió los objetivos propuestos al identificar distintos factores que influyen en el uso del preservativo entre los jóvenes, como el consumo de alcohol o conocer a alguien que haya padecido una ETS. Los resultados muestran que las mujeres presentan una actitud más preventiva y que el grupo de entre 27 y 30 años es el más responsable en la adopción de medidas de protección.

Además, el estudio ha contribuido a aumentar la concienciación sobre las ETS mediante la realización de encuestas y la difusión del trabajo en el IES Floridablanca. En conjunto, la investigación permitió conocer mejor la percepción y las conductas de los jóvenes frente a estas enfermedades.

6.2 Análisis de limitaciones

Aunque la investigación obtuvo resultados positivos, presentó algunas limitaciones. La principal fue el tamaño de la muestra, ya que una participación mayor habría permitido obtener resultados más representativos, especialmente en el grupo de 27 a 30 años, que fue el menos numeroso.

Además, se consideró incluir a estudiantes de bachillerato para ampliar el estudio a edades más tempranas, pero esta posibilidad no se llevó a cabo debido a las dificultades éticas y legales relacionadas con la participación de menores de edad y la necesidad de autorización familiar.

6.3 Futuras líneas de investigación

De cara a futuras investigaciones, sería interesante ampliar el estudio a una población más joven para analizar su conocimiento, conductas preventivas y motivaciones respecto a las ETS. También podría explorarse qué estrategias son más eficaces para fomentar el uso correcto y constante del preservativo entre los jóvenes.

Estas líneas de investigación permitirían contribuir a la reducción de las infecciones de transmisión sexual y de los embarazos no deseados, además de disminuir los costes sanitarios y sociales asociados mediante una mayor prevención.

7. Agradecimientos

Este es uno de los proyectos en los que he invertido mayor tiempo y dedicación, y no habría sido posible sin la colaboración y el apoyo de todas las personas que me han acompañado a lo largo de este proceso y de mi trayectoria académica.

En primer lugar, deseo expresar mi agradecimiento a Ana María Machuca Reche por habernos transmitido los conocimientos fundamentales en materia de investigación, así como a mis compañeros en el primer proyecto —Germán Castillo Hernández, Nieves Alarcón Rodríguez e Israel Munuera Melenchón— por haber constituido una fuente constante de apoyo durante nuestro primer año.

Asimismo, quisiera agradecer a nuestra tutora, Nieves Soriano Nieto, por su seguimiento continuo, su atención a nuestros proyectos y su permanente disposición para ayudarnos. De igual modo, expreso mi reconocimiento a María Dolores Martínez, cuyos conocimientos y aportaciones han sido esenciales para la consecución de este trabajo.

Por último, agradezco a mi familia y amigos por su apoyo y sus contribuciones a lo largo de este exigente año, así como a las personas encuestadas, cuya participación ha sido imprescindible al compartir información personal de gran relevancia para el logro de los objetivos propuestos.

8. Bibliografía

Carrillo Maravilla, E. y Villegas Jiménez, A. (2004) 'El descubrimiento del VIH en los albores de la epidemia del SIDA', Revista de Investigación Clínica, 56(2), pp. 130–133.

Garrote González, A. (2024) Conocimientos y actitudes de los jóvenes españoles sobre salud sexual y los riesgos de las ETS.

MedlinePlus (s.f.) Infecciones de transmisión sexual. Disponible en: https://medlineplus.gov/spanish/sexuallytransmittedinfections.html (Accedido: 9 mayo 2026).

Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad (2013) Mortalidad por VIH/SIDA en España. Año 2011. Evolución 1981–2011.

Organización Mundial de la Salud (s.f.) Infecciones de transmisión sexual. Disponible en: https://www.who.int/es/health-topics/sexually-transmitted-infections#tab=tab_1 (Accedido: 9 mayo 2026).

Región de Murcia, Consejería de Salud, Dirección General de Salud Pública y Adicciones (2023) Vigilancia epidemiológica de las infecciones de transmisión sexual (ITS). Región de Murcia. Datos 2022.

Rodríguez Carranza, S.I. y Aguilar Salinas, C.A. (2004) 'Anormalidades metabólicas en pacientes con infección por VIH', Revista de Investigación Clínica, 56(2), pp. 193–208.

Rodríguez-Granger, J. et al. (2020) 'Actualización en el diagnóstico de las infecciones de transmisión sexual'.

Saura, S., Fernández de Sanmamed, M.J., Vicens, L., Puigvert, N., Mascort, C. y García, J. (2010) 'Percepción del riesgo de enfermedades de transmisión sexual en población joven', Atención Primaria, 42, pp. 143–148. doi: 10.1016/j.aprim.2009.09.015.

Teva, I., Bermúdez, M.P. y Buela-Casal, G. (2009) 'Variables sociodemográficas y conductas de riesgo en la infección por VIH y las enfermedades de transmisión sexual en adolescentes en España', Revista Española de Salud Pública, 83, pp. 309–320. doi: 10.1590/S139-35182009000300002.

ANEXO

Imagen 1: Participantes que han mantenido relaciones sexuales coitales.

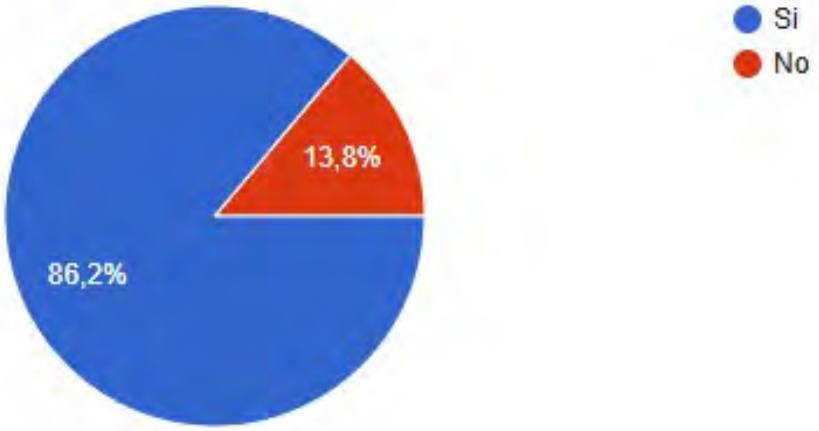


Imagen 2: Sexo de los participantes.

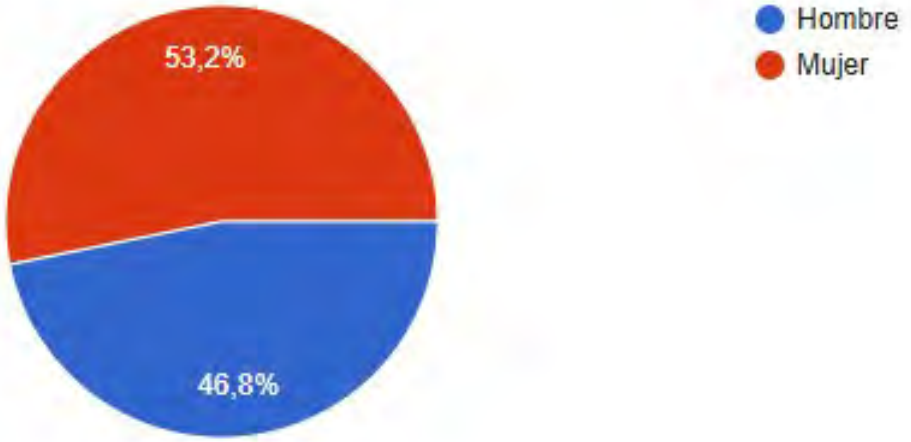


Imagen 3: Rango de edad de los participantes.

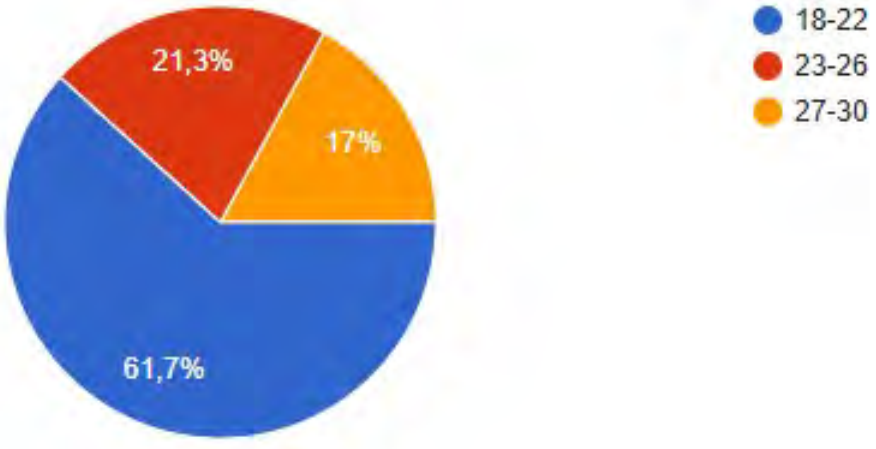


Imagen 4: Situación académica/ laboral de los participantes.

Imagen 4: Enfermedades de transmisión sexual que conocen los participantes.

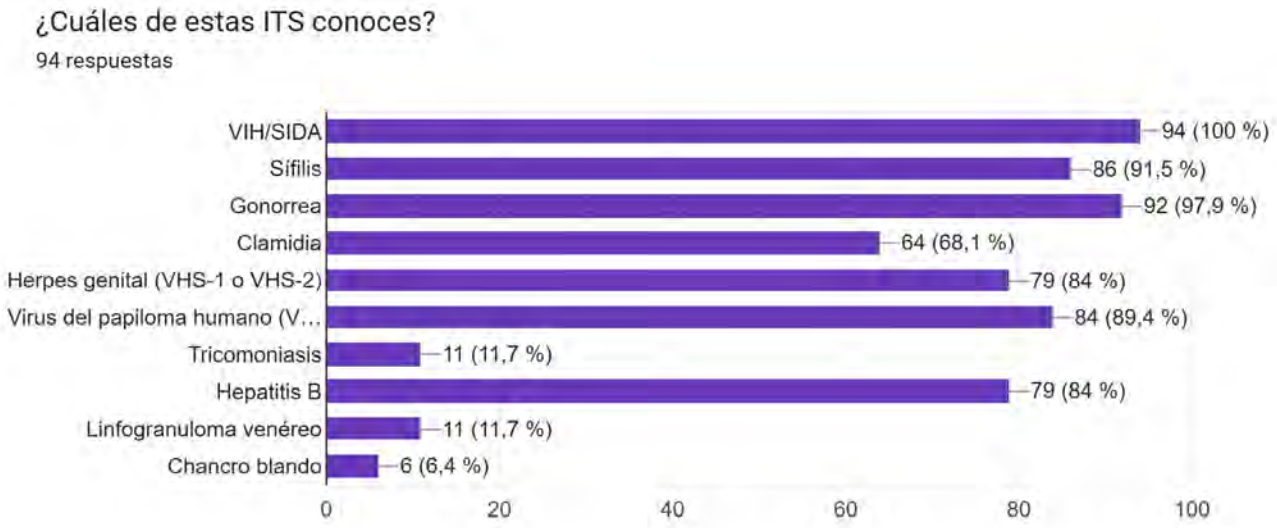
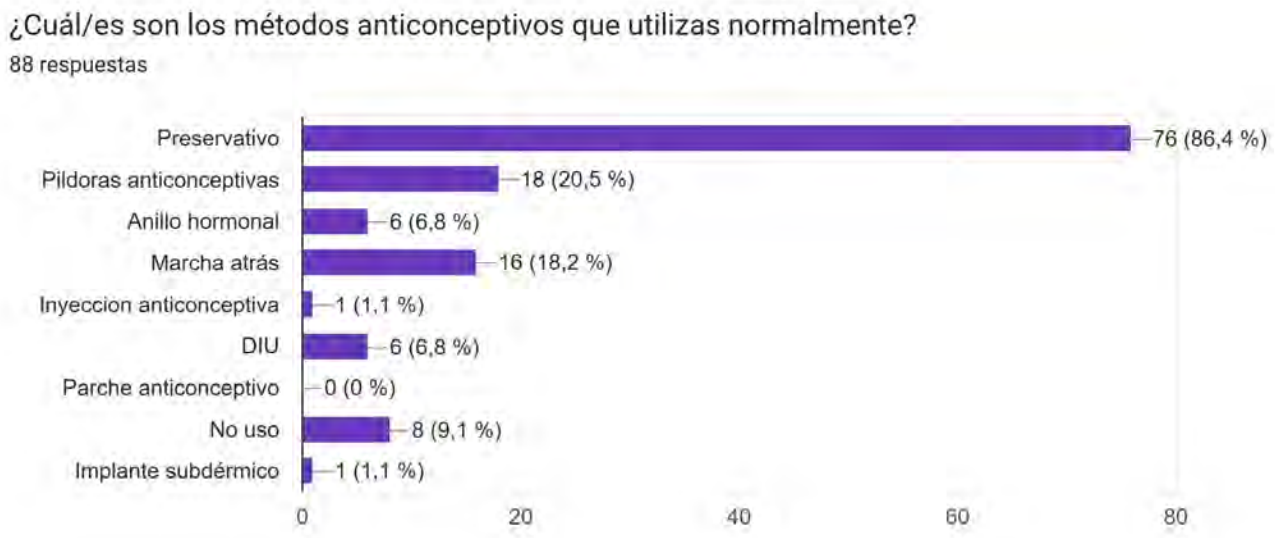


Imagen 5: Métodos anticonceptivos que usan los participantes



.

Imagen 6: Frecuencia con la que los participantes hacen uso de los métodos anticonceptivos.

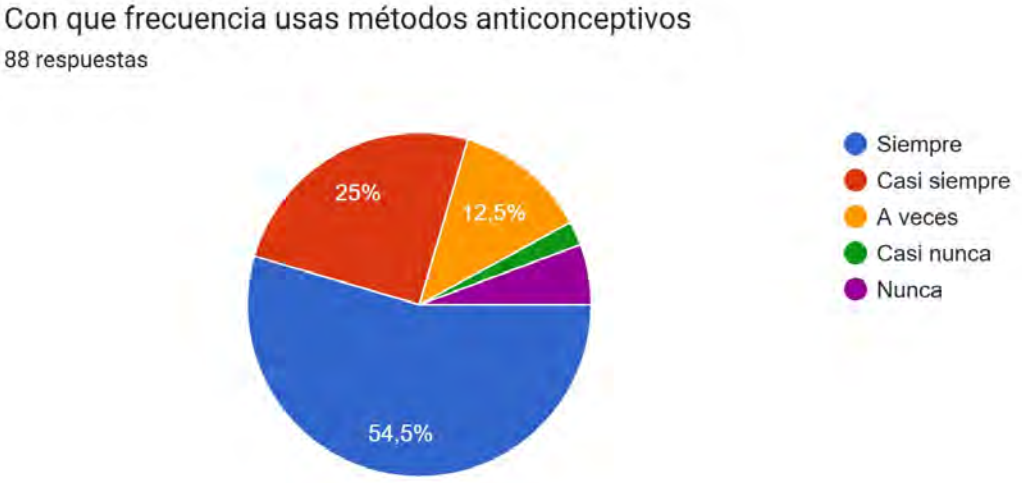
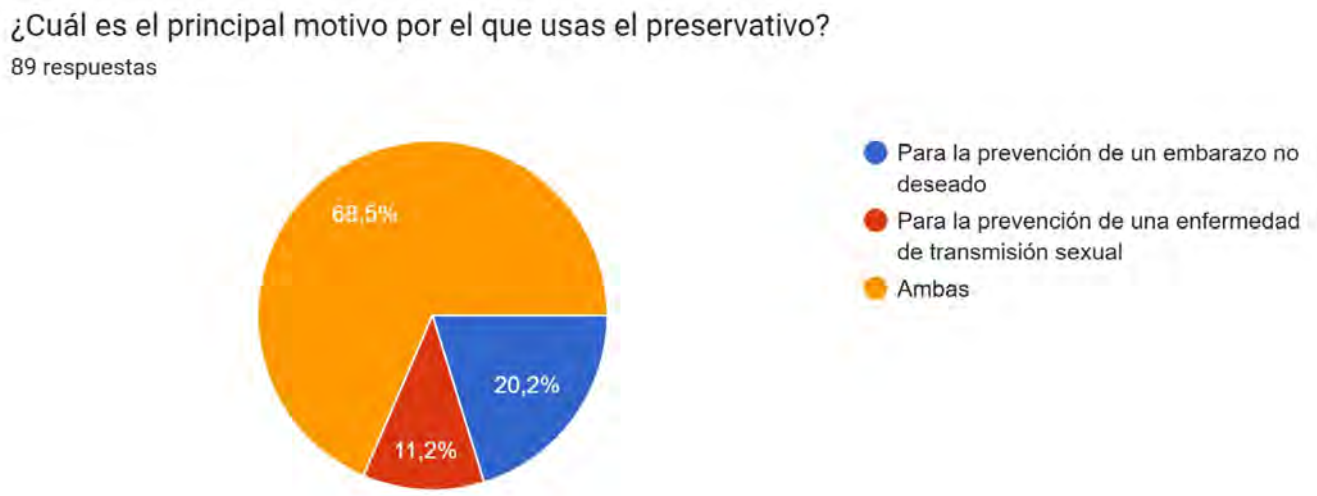


Imagen 7: Principales motivos por los que los participantes usan el preservativo.



Título del trabajo:

Relación entre el nivel de actividad física y el estado de ánimo en adolescentes

Autora (nombre y apellidos del alumno o alumnos) Curso Académico y Nivel

María Nieves Alarcón Rodríguez. Curso 25/26. 2º de Bachillerato

Datos de la Tutora:

María Dolores Martínez García. Profesora de Biología y Geología. IES Floridablanca.

Centro docente:

IES Floridablanca

Índice con los epígrafes de los trabajos y su paginación

Resumen del tema a desarrollar / Abstract — pág. 3
1. Introducción — pág. 4
2. Antecedentes y estado de la cuestión — pág. 4
   2.1 Antecedentes — pág. 4
   2.2 Estado de la cuestión — pág. 4
   2.3 Investigaciones previas — pág. 4
3. Hipótesis de trabajo y objetivos de la investigación — pág. 5
4. Materiales y métodos — pág. 5
   4.1 Población, muestra y procedimiento — pág. 5
   4.2 Variables e instrumentos — pág. 5
   4.3 Análisis de datos — pág. 5
5. Resultados — pág. 6
   5.1 Análisis descriptivo — pág. 6
   5.2 Análisis inferencial — pág. 6
   5.3 Análisis de subgrupos — pág. 6
6. Conclusiones — pág. 6
7. Agradecimientos — pág. 7
8. Bibliografía — pág. 7
9. Anexo — pág. 8

Resumen del Tema a desarrollar (250 palabras máximo, en castellano)

La depresión representa un desafío creciente para la salud pública, especialmente en la adolescencia. Este estudio analizó la relación entre la actividad física habitual y el estado de ánimo en una población vulnerable: estudiantes de 2.º de Bachillerato del IES Floridablanca (Murcia).
Metodología: Se realizó un estudio transversal, analítico y observacional con una muestra probabilística de 124 estudiantes. Se emplearon instrumentos validados como el PHQ-9-A para medir sintomatología depresiva y el IAFHA para el nivel de actividad física, integrando además variables de control y percepción de causalidad. El análisis incluyó pruebas de correlación de Spearman, U de Mann-Whitney y regresión lineal múltiple.
Resultados y conclusiones: Los resultados revelaron una asociación inversa estadísticamente significativa entre el ejercicio y los síntomas depresivos, incluso tras ajustar por variables confusoras. El efecto protector del deporte fue crítico en estudiantes con altos niveles de estrés, tabaquismo o uso excesivo de pantallas. Ante la alta prevalencia de sedentarismo y depresión detectada (especialmente en mujeres), el estudio concluye que es urgente implementar planes de salud pública que fomenten la actividad física para mitigar el impacto de la depresión en este grupo académico.

Resumen del Tema en inglés (250 palabras)

Depression represents a growing public health challenge, especially during adolescence. This study analyzed the relationship between habitual physical activity and mood in a vulnerable population: 12th-grade students (2.º de Bachillerato) at IES Floridablanca (Murcia, Spain).
A cross-sectional, analytical, and observational study was conducted with a probabilistic sample of 124 students. Validated instruments were used, such as the PHQ-9-A to measure depressive symptoms and the IAFHA for habitual physical activity levels, while also integrating control variables and perceived causality. Data analysis included Spearman correlation, Mann-Whitney U, and multiple linear regression tests.
The results revealed a statistically significant inverse association between exercise and depressive symptoms, which persisted even after adjusting for confounding variables. The protective effect of sport was critical for students with high stress levels, tobacco use, or excessive screen time. Given the high prevalence of sedentary lifestyles and depression detected (especially among females), the study concludes that it is urgent to implement public health plans that promote physical activity to mitigate the impact of depression in this academic group.

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1. Introducción

La depresión es un problema de salud pública de primer orden con una incidencia creciente, especialmente en la población adolescente. Esta etapa se caracteriza por una profunda reorganización cerebral que intensifica la vulnerabilidad emocional y el riesgo de conductas graves, existiendo además una marcada brecha de género: la prevalencia en mujeres (35,1%) supera significativamente a la de los hombres (24,4%). Factores como la presión académica y la sobreexposición tóxica a las redes sociales, donde la búsqueda de aceptación digital genera angustia y baja autoestima, agravan esta situación.

En este contexto, el ejercicio físico emerge como un factor de protección fundamental. Aunque la OMS advierte que el 81% de los adolescentes es sedentario, la evidencia científica sostiene que el deporte no solo previene enfermedades físicas, sino que es una herramienta terapéutica que favorece la liberación de neurotransmisores asociados al bienestar. Por el contrario, el sedentarismo, fomentado por el uso excesivo de dispositivos digitales, se vincula directamente con un aumento de la ansiedad y la fatiga cognitiva.

La presente investigación se fundamenta, por tanto, en la necesidad crítica de abordar la salud mental adolescente mediante estrategias preventivas eficaces. A pesar de la sólida base científica global, existe una falta de investigaciones contextualizadas en el entorno local. Por ello, este estudio se plantea determinar si la práctica regular de ejercicio físico actúa como un factor de protección real en los alumnos de 2º de Bachillerato del IES Floridablanca.

Los hallazgos pretenden servir de base para que equipos docentes y responsables educativos diseñen intervenciones de salud integral, alineándose con el Objetivo de Desarrollo Sostenible 3 (Salud y Bienestar) de la ONU. A nivel personal, este trabajo nace de una vocación por las ciencias de la salud y la observación directa del estrés académico en el entorno escolar, con el fin de evaluar cómo el deporte puede mitigar la carga emocional y mejorar el rendimiento y la calidad de vida de los estudiantes.

2. Antecedentes y estado de la cuestión

2.1 ANTECEDENTES

Históricamente, la relación entre el bienestar físico y mental ha pasado por diversas interpretaciones. En las civilizaciones antiguas, la enfermedad mental se vinculaba a castigos divinos o fuerzas sobrenaturales, lo que derivaba en prácticas extremas como las trepanaciones. Sin embargo, la Grecia clásica marcó un punto de inflexión con Hipócrates y su teoría de los humores, que ofrecía una explicación racional y biológica a la salud. En esta época, el ejercicio se institucionalizó en gimnasios y palestras no solo como entrenamiento, sino como un método científico para conservar la armonía personal.

Tras el predominio del teocentrismo medieval —donde el cuerpo se descuidaba en favor del alma y la locura volvía a verse como posesión demoníaca—, el Renacimiento y la Ilustración recuperaron la visión antropocentrista. Los pensadores ilustrados defendieron la higiene, la dieta y el ejercicio como pilares de la virtud moral y la claridad de pensamiento. Finalmente, en el siglo XIX, la Revolución Industrial y el auge de las ciudades dieron paso a la teoría higienista, consolidando el deporte como una herramienta fundamental para combatir los problemas de insalubridad y el estrés de la vida moderna

.

2.2 ESTADO DE LA CUESTIÓN

En la actualidad, la salud se define de forma integral como un derecho humano que combina factores biológicos, psicológicos y sociales. La ciencia contemporánea ha ratificado que la actividad física es un regulador emocional clave, gracias a la liberación de neurotransmisores como la serotonina y las endorfinas, que reducen la ansiedad y el estrés.

A pesar de este consenso, el panorama actual es preocupante: en España, más del 60% de los adolescentes no cumple con las recomendaciones de actividad física de la OMS. Existe una necesidad crítica de estudiar esta relación en colectivos específicos, como los estudiantes de 2º de Bachillerato, quienes enfrentan niveles máximos de estrés académico y se encuentran en una transición vital hacia la edad adulta donde el sedentarismo suele incrementarse.

2.3 INVESTIGACIONES PREVIAS

La relación entre bienestar emocional y deporte ha sido objeto de estudio desde la era moderna, evolucionando desde tratados filosóficos hasta la psicobiología actual. Obras fundamentales como De Arte Gymnastica de Mercuriale o La anatomía de la melancolía de Richard Burton ya recomendaban en los siglos XVI y XVII el ejercicio regular para combatir la tristeza y la ansiedad. Posteriormente, en el siglo XIX, George Beard relaciona el estrés de

la vida industrial con la "neurastenia", proponiendo la actividad física moderada como tratamiento. Estos antecedentes históricos han servido de base para las investigaciones cuantitativas contemporáneas que validan el impacto neurobiológico del ejercicio sobre el estado de ánimo.

En el ámbito científico actual, destacan estudios como el de Arboleda (2018), quien demostró en la población universitaria una reducción significativa de la tensión y la depresión tras sesiones de natación, confirmando el efecto agudo del ejercicio sobre el bienestar psicológico. En una línea similar, Reigal y Videra (2013) analizaron a adolescentes en España, concluyendo que incluso una sola sesión de Educación Física escolar es capaz de reducir la angustia y aumentar el vigor vital, con efectos diferenciados según el sexo.

La evidencia acumulada por autores como Lubans et al. (2016) sostiene que la práctica regular favorece la liberación de endorfinas y serotonina, mejorando la regulación emocional. Sin embargo, ante el dato de que el 60% de los adolescentes españoles son sedentarios, persiste una escasez de estudios centrados específicamente en colectivos sometidos a alta presión académica, como los estudiantes de 2º de Bachillerato, lo que justifica la pertinencia de la presente investigación.

3. Hipótesis de trabajo y objetivos de la investigación

Hipótesis: Existe una relación entre la actividad física habitual y los estados de ánimo en los estudiantes de 2º de Bachillerato.

El objetivo fundamental del estudio es evaluar la relación entre actividad física habitual y síntomas depresivos en estudiantes de 2º de bachillerato.

Los objetivos específicos son:

El análisis descriptivo de la subpoblación de estudiantes de 2º de bachillerato por medio de covariables.

Evaluar si existe una relación recíproca significativa entre algunas de estas variables.

Realizar un análisis de subgrupos para evaluar si la relación entre la variable independiente (ejercicio físico) y la variable dependiente (estado de ánimo) cambia entre distintos subgrupos.

4. Materiales y métodos

El presente estudio emplea un diseño transversal, analítico y observacional para evaluar la relación entre la actividad física habitual y la sintomatología depresiva en una etapa de alta exigencia académica. Este enfoque permite identificar asociaciones estadísticas y factores de riesgo en un momento temporal concreto sin interferir en la rutina de los sujetos.

4.1 POBLACIÓN, MUESTRA Y PROCEDIMIENTO

La población diana consistió en estudiantes de 2º de Bachillerato del IES Floridablanca de Murcia. Se llevó a cabo un muestreo probabilístico por conglomerados, seleccionando aleatoriamente clases completas hasta alcanzar un tamaño muestral de 124 alumnos (17-18 años). La recogida de datos se realizó de forma presencial en el centro, mediante un cuestionario autoaplicado en Google Forms, garantizando en todo momento el anonimato, la voluntariedad y el consentimiento informado de padres y alumnos.

4.2 VARIABLES E INSTRUMENTOS

El estudio se estructuró en torno a dos variables principales y una serie de covariables de control. Como variable dependiente, se midió el estado de ánimo mediante la escala PHQ-9-A (Patient Health Questionnaire-9), que categoriza la depresión desde niveles mínimos hasta severos. La variable independiente principal fue el nivel de actividad física habitual, evaluado con el IAFHA (Inventario de Actividad Física Habitual para Adolescentes), el cual permite calcular un índice total (IAF-Tot) basado en la actividad deportiva, escolar y de tiempo libre.

Para evitar distorsiones en la asociación principal, se midieron diversas covariables y confusores: sexo, nota media, índice de masa corporal (IMC), horas de sueño, uso de pantallas no académicas, consumo de tabaco/alcohol y sucesos estresantes. Asimismo, se incorporó un bloque de causalidad percibida para explorar la dirección de la relación entre el cambio de actividad física y el estado anímico según la percepción subjetiva del estudiante.

4.3 ANÁLISIS DE DATOS

El tratamiento estadístico se realizó mediante Microsoft Excel (Analysis ToolPak y Real Statistics), con el soporte técnico de la IA generativa Gemini para la validación de pruebas e interpretación técnica. Tras comprobar la distribución de la muestra mediante la prueba de Shapiro-Wilk, se optó por un análisis que incluyó:

Estadística descriptiva: Cálculo de medias, desviaciones estándar y frecuencias para caracterizar a la población.

Correlación de Spearman: Para determinar la fuerza y dirección de la relación entre la actividad física y los síntomas depresivos.

Prueba U de Mann-Whitney: Para comparar las diferencias significativas de estado de ánimo entre los grupos de sedentarios y activos.

Regresión lineal múltiple: Aplicada para valorar el efecto independiente del ejercicio sobre el estado de ánimo, ajustando y controlando el efecto de las covariables (confusores) para garantizar el rigor de los hallazgos.

5. Resultados

5.1 ANÁLISIS DESCRIPTIVO

La muestra de 124 alumnos presentó una puntuación media de 9,86 en el PHQ-9-A, situándose en el umbral de la depresión leve-moderada, con una prevalencia de sintomatología clínicamente significativa del 43,5%. En cuanto a la actividad física, el 65% de los estudiantes resultó ser sedentario, frente a solo un 31% moderadamente activo.

Respecto a las covariables, los estudiantes duermen una media de 6,8 horas y el 25% muestra un uso de pantallas no académicas superior a 4 horas diarias (consumo problemático). Además, el 57% reportó sucesos estresantes recientes. En términos de causalidad percibida, el 100% de los alumnos que aumentaron su actividad física percibieron una mejora en su ánimo, mientras que el 93% de quienes la disminuyeron se sintieron más desanimados.

5.2 ANÁLISIS INFERENCIAL

El eje central del estudio confirmó la hipótesis de partida mediante la prueba de correlación de Spearman, revelando una asociación inversa estadísticamente significativa ($r = -0,294$; $p = 0,0009$) entre el ejercicio y la depresión. Este hallazgo, con un nivel de confianza superior al 99%, demuestra que a mayor actividad física, menores son los síntomas depresivos. Asimismo, la prueba U de Mann-Whitney confirmó que el grupo de alumnos activos tiene niveles de depresión significativamente menores que el de sedentarios ($p = 0,011$).

La regresión lineal múltiple demostró la robustez de esta relación, confirmando que la actividad física condiciona el estado de ánimo de forma independiente a las horas de sueño, el estrés o el uso de pantallas. Mediante matrices de correlación (Heatmaps), se detectó que la relación más fuerte ocurre entre el estrés y la depresión, y que el uso excesivo de pantallas reduce drásticamente las horas de sueño.

5.3 ANÁLISIS DE SUBGRUPOS

El análisis estratificado reveló que el ejercicio actúa como un amortiguador crítico en perfiles de alta vulnerabilidad:

Estrés: En estudiantes estresados, ser activo reduce la depresión de 13,7 a 10,4 puntos.

Pantallas: Los sedentarios con alto uso de pantallas alcanzan los niveles más altos de depresión (13,8), mientras que ser activo neutraliza este efecto, bajándolo a 8,8.

Rendimiento: Los alumnos con notas excelentes (> 9) que son activos presentan mucha menos depresión (7,3) que sus pares sedentarios (11,2), sugiriendo que el deporte ayuda a gestionar la autoexigencia.

Género: Se confirmó una brecha de género donde las mujeres son más sedentarias y presentan mayor sintomatología depresiva, aunque el ejercicio beneficia a ambos sexos.

Hábitos de riesgo: En fumadores, la actividad física reduce la puntuación de depresión de 13,9 a 10,4.

6. Conclusiones

Tras el análisis de los datos obtenidos en el IES Floridablanca, se confirma la hipótesis principal de la investigación: existe una relación inversa y estadísticamente significativa entre el nivel de actividad física y la sintomatología depresiva en los adolescentes de 2º de Bachillerato. El ejercicio físico no solo actúa como un hábito saludable, sino como un regulador emocional clave y un factor de protección que reduce significativamente las puntuaciones de depresión, validando los hallazgos de la literatura científica nacional e internacional.

Los resultados revelan una realidad preocupante: los estudiantes de este curso son mayoritariamente sedentarios y presentan una prevalencia de síntomas depresivos alarmantemente alta (43,5%). Esta situación parece estar condicionada por la elevada presión académica, que empuja a los alumnos a reducir su actividad física habitual. Es reseñable que la percepción de causalidad entre los estudiantes es casi unánime: el 100% de quienes aumentaron su ejercicio percibieron una mejora anímica, mientras que el 93% de quienes lo redujeron asociaron este cambio a un mayor desánimo, lo que sugiere que el sedentarismo es una causa directa que agrava el malestar emocional.

Asimismo, se ha identificado una brecha de género crítica, situando a las alumnas como el grupo de mayor vulnerabilidad al presentar niveles de depresión más altos y menor actividad física que sus compañeros. El estudio

también demuestra que el deporte funciona como un amortiguador frente a la vulnerabilidad, siendo especialmente efectivo en estudiantes sometidos a altos niveles de estrés, uso excesivo de pantallas o hábitos como el tabaquismo.

A pesar de la limitación estructural del diseño transversal para establecer causalidad, las preguntas de percepción subjetiva aportan indicios sólidos de direccionalidad. En definitiva, estos hallazgos justifican la urgencia de implementar intervenciones de salud pública y educativa que incluyan el fomento del deporte y una reorganización de la carga lectiva, con el fin de proteger la salud mental de los estudiantes en este periodo crítico de su formación.

7. Agradecimientos

Me gustaría dar mis más sinceros agradecimientos a todas las personas que me han ayudado y han estado presentes a lo largo de la realización de este trabajo. Quisiera agradecer a mi tutora María Dolores Martínez, que me ha guiado durante todo este curso con mi estudio. Además, a mis profesoras de investigación Nieves Soriano y Ana María Machuca, que a lo largo de estos dos años de investigación me han enseñado las bases para realizar lo que hoy es mi investigación.

Por último, agradezco al instituto por brindarme tanto la oportunidad como el entorno adecuado para formar parte del Bachillerato de Investigación, una experiencia que ha enriquecido notablemente mi formación académica y personal.

8. Bibliografía

ArteRenacentista (2021) Humanismo y deportes en el Renacimiento: Juegos y entretenimiento. Disponible en: https://arterenacentista.es/blog/renacimiento-italia/humanismo-y-deportes-en-el-renacimiento-juegos-y-entretenimiento/ (Accedido: 29 mayo 2026).

Brito Mancheno, F.D. (2025) Impacto del ejercicio físico en la salud y el bienestar físico. Revista Mentor. Disponible en: https://revistamentor.ec/index.php/mentor/article/view/8195 (Accedido: 29 mayo 2026).

Naciones Unidas (2015) Objetivos de Desarrollo Sostenible: Objetivo 3 – Garantizar una vida sana. Disponible en: https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/health/ (Accedido: 29 mayo 2026).

OMS (Organización Mundial de la Salud) (2025) Directrices sobre actividad física y hábitos sedentarios. Ginebra: OMS.

Toscano, W.N. (2011) La relación ejercicios físicos – salud positiva. Dialnet. Disponible en: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5645402 (Accedido: 29 mayo 2026).

ANEXO

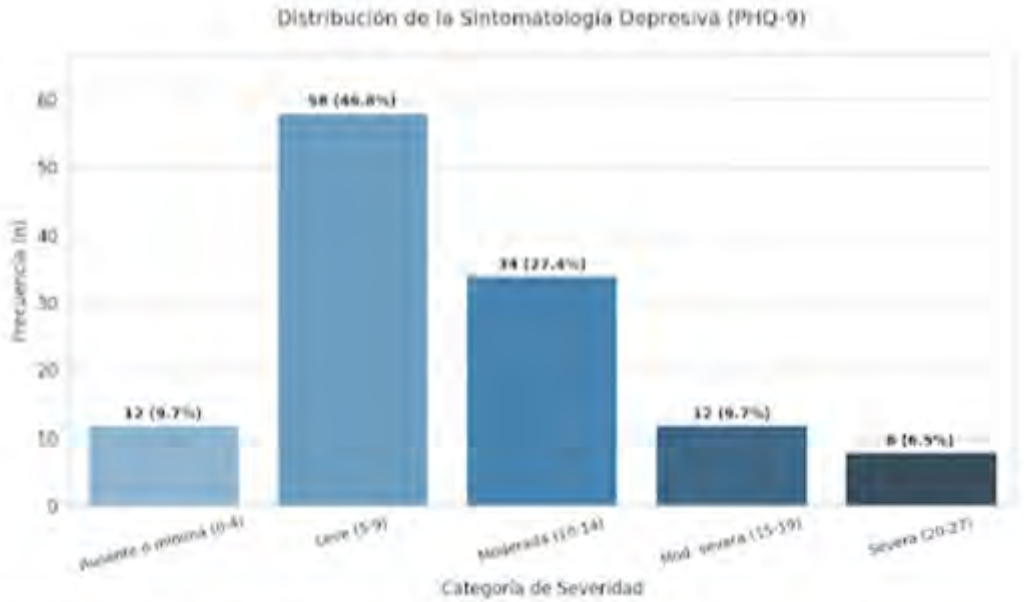


FIGURA 2: distribución por sintomatología depresiva

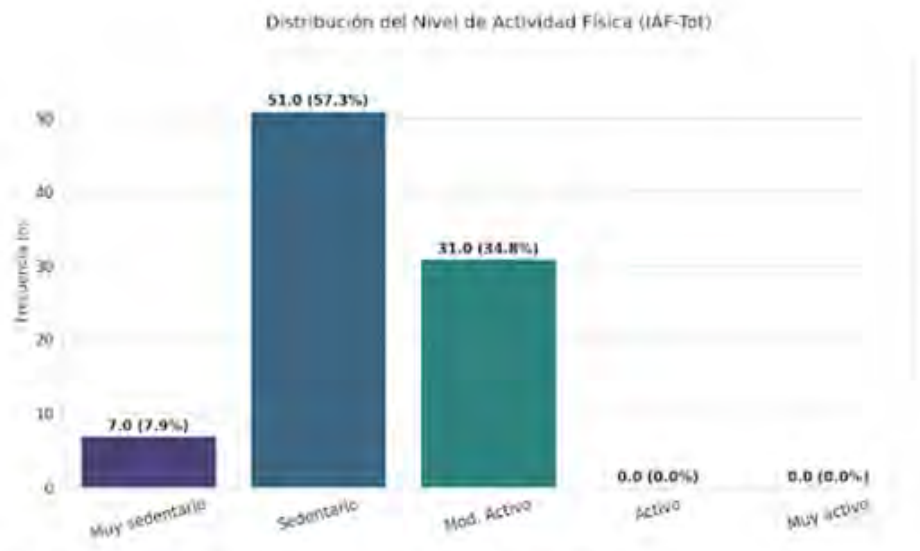


FIGURA 3: distribución por nivel de actividad física

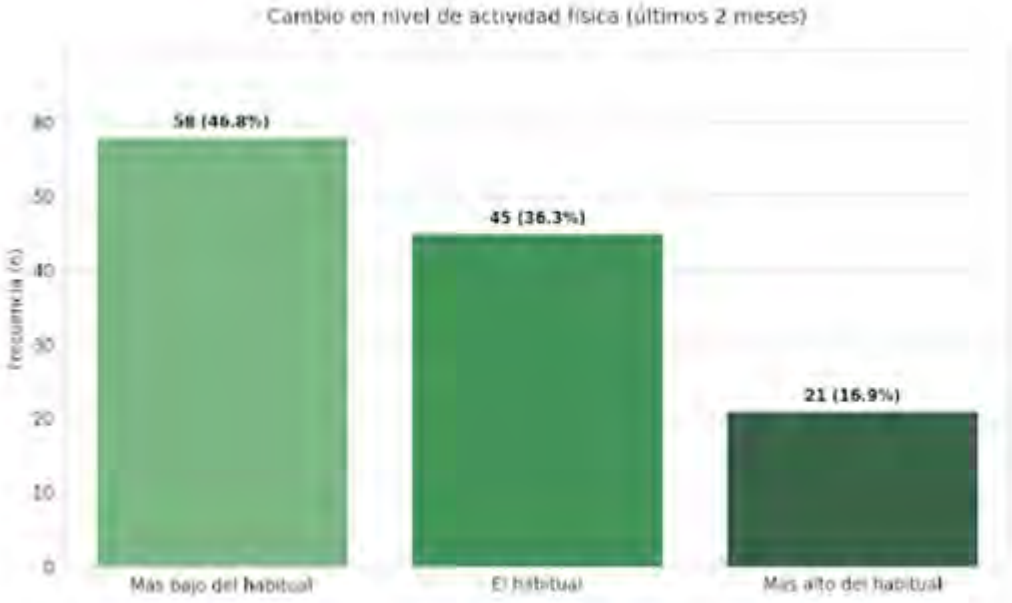


FIGURA 15: distribución por percepción de cambio en actividad física

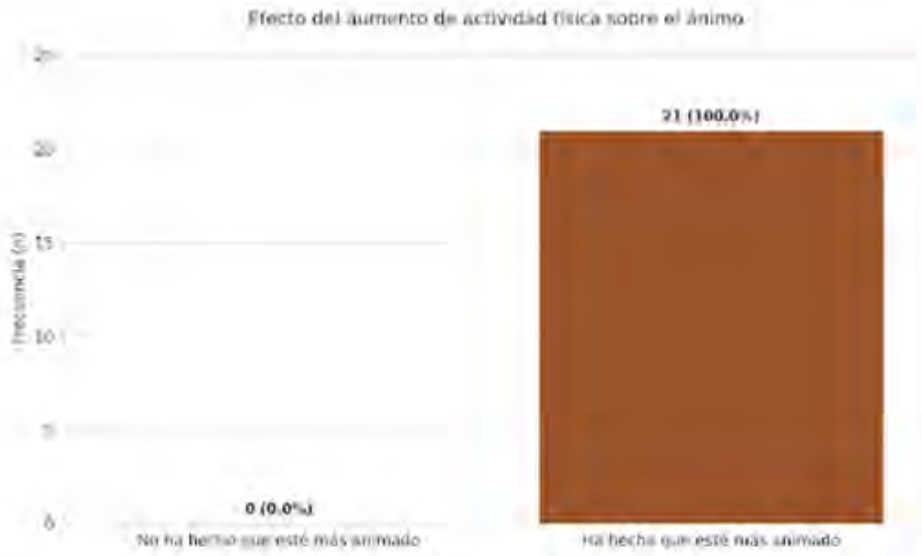


FIGURA 16: distribución por percepción de efecto sobre estado de ánimo de aumento de actividad física

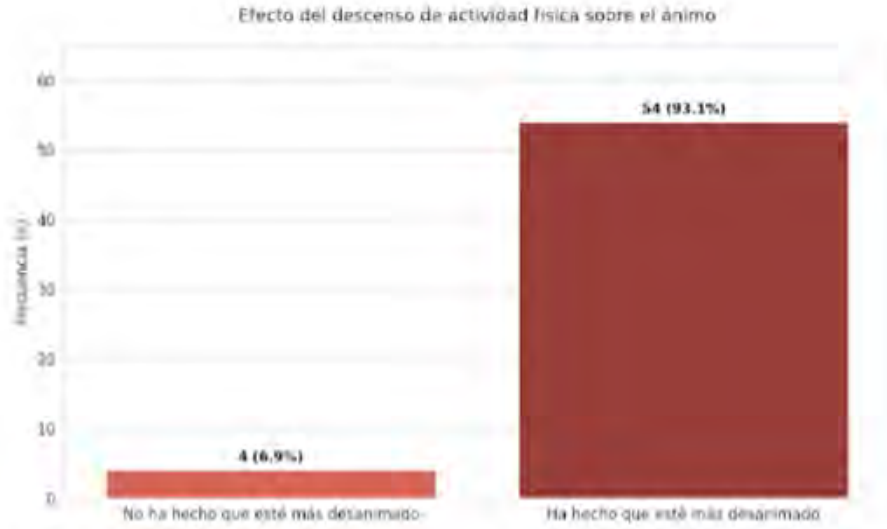


FIGURA 17: distribución por percepción de efecto sobre estado de ánimo de descenso de actividad física

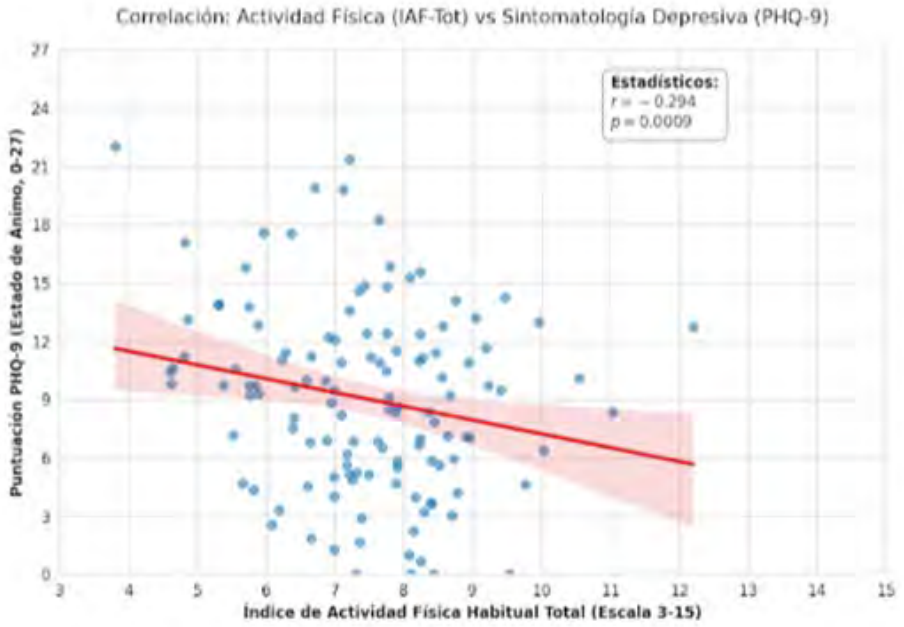


FIGURA 18: prueba de correlación de Spearman entre estado de ánimo y actividad física

XEROJARDINERÍA EN EL JARDÍN “MANOS UNIDAS”

AUTORA: Irene Menchón Gandía

CURSO: 2025-2026

IES Miguel Espinosa (Murcia)

TUTORA: Mª Carmen Vidal Martínez

Índice

1. Introducción 4
2. Antecedentes 4
2.1. Xerojardinería 4
2.2. Utilización de la flora mediterránea 5
2.3. Tapices verdes 5
2.4. El riego eficiente 5
2.5. Características generales del clima de Murcia. 6
2.6. Riego urbano en Murcia 7
2.7. Xerojardinería en Murcia 7
3. Hipótesis de trabajo y objetivos de la investigación. 8
4. Materiales y métodos 8
4.1. Materiales 8
4.1.1. Aplicaciones para el reconocimiento de plantas 8
4.2. Tratamiento de resultados 9
4.3. Metodología 9
5. Resultados 9
5.1. Flora en el Jardín Manos Unidas 9
5.2. Césped en el Jardín Manos Unidas 10
5.3. Hidrozonas y riego 11
5.4. Discusión de resultados 11
6. Conclusiones 12
7. Referencias 13
Anexo I 15

Resumen

La xerojardinería es una técnica que busca la planificación de jardines para un consumo racional del agua. Supone beneficios tanto económicos como ecológicos, especialmente en territorios áridos y secos como la Región de Murcia. El objetivo de este estudio es hacer una estimación del consumo de agua del Jardín Manos Unidas, en El Ranero, Murcia, para comprobar si se tiene en cuenta el ahorro de agua para planificar jardines urbanos; además de realizar una propuesta para hacer un uso del agua más eficiente en este jardín, usando plantas autóctonas y otras técnicas de xerojardinería. Para ello, se identificaron las especies vegetales utilizando dos aplicaciones de forma comparativa, Pl@ntNet y Arbolapp, y se cuantificó su abundancia en relación al total de individuos. Además, se valoró si las especies principales del parque cumplen las condiciones para considerarse xerófitas o autóctonas. La investigación permitió confirmar que el consumo de agua en el Jardín Manos Unidas es excesivo, y concluir que no se trata de un xerojardín, debido a la presencia de especies de flora con altas necesidades hídricas, como la *Poa annua L.* Esta planta, junto con los jazmines azules (*Plumbago auriculata),* serían reemplazadas por especies autóctonas y xerófitas, de porte arbustivo o tapizantes.

1. Introducción

En el territorio de la Región de Murcia predomina el clima mediterráneo, con una gran tendencia a la desertificación y a la aridez, y precipitaciones muy irregulares.[1] Además, la proximidad del desierto del Sáhara provoca frecuentes irrupciones de masas de aire cálidas y secas, que producen olas de calor por encima de los 40ºC.[2] Estos factores siempre han caracterizado a la Región, y sus habitantes han desarrollado numerosas estrategias para combatir la situación de déficit hídrico en la cuenca del Segura; acequias, norias y acueductos abundan en la huerta murciana, una de las más fértiles de España, y un pilar esencial en la economía de Murcia. Hoy en día, el ahorro y reutilización del agua siguen siendo una preocupación central en la Región, debido a su importancia para nuestra forma de vida, especialmente para una comunidad tan dependiente de la agricultura, y es un factor que se tiene en cuenta a la hora de diseñar infraestructuras[3]. De hecho, el ahorro de agua cada vez cobra más importancia, teniendo en cuenta el aumento de la temperatura terrestre.

El agua influye en el diseño de una gran variedad de infraestructuras en España, como pueden ser viviendas, locales, piscinas públicas y privadas, o parques y jardines urbanos. Este proyecto se centrará en estos últimos, más concretamente, en las especies de plantas que se incluyen en su diseño, desde la perspectiva del ahorro de agua.

En el Artículo 7 de la Ley sobre el incremento de las medidas de ahorro y conservación en el consumo de agua en la Región de Murcia[4], se recogen las medidas relativas a los parques y jardines. En este artículo se especifica el tipo de recursos hídricos usados para el riego y el uso de circuitos cerrados en las fuentes ornamentales, entre otras medidas. Sin embargo, el más relevante para este proyecto es el punto ocho, en el que se recomiendan una serie de medidas en el diseño; el jardín debe albergar “Hasta un máximo de un 10 por 100 de césped de bajas necesidades hídricas o con sistemas de retención hídrica en el sustrato”, y “La superficie restante entre arbustos y arbolado de bajas necesidades hídricas, a ser posible autóctono”. También indica que el suelo debe protegerse contra la evaporación del agua sin evitar la permeación del agua de lluvia y riego.

Estas son unas directrices generales y abstractas, pero evidencian que la elección de especies con bajo consumo de agua, es una parte esencial en el diseño de un jardín. Este es el tema del proyecto, aunque tratado de manera mucho más concreta. Para ello, se ha utilizado la xerojardinería como referencia.

El objetivo de la xerojardinería es la planificación de jardines con un consumo racional de agua, sin grandes extensiones de césped ni plantas exóticas que requieran un riego excesivo[5]. El término fue introducido en España por Silvia Burés Pastor, aunque se venía aplicando desde mucho antes en la jardinería tradicional.[6] Durante el proyecto, se ha investigado la aplicación concreta de la xerojardinería en Murcia.

2. Antecedentes

2.1. Xerojardinería

Consideramos la xerojardinería un medio para el ahorro de agua, siendo un tipo de jardinería que se basa en planificar jardines teniendo presente un uso racional del agua. Esto implica una cuidadosa selección de especies con un bajo consumo hídrico como criterio de selección principal.[7]

Sin embargo, un jardín con bajo consumo de agua no tendrá aspecto de secarral, poblado de cactus y plantas marrones, sino que contará con una gran variedad de especies y un aspecto agradable.[8]

---

[1] Millán Escriche, M. 2021

[2] Gil-Guirado, S., Pérez-Morales, A. 2019

[3] Asamblea Regional de Murcia. (s.f)

[4] Ley 6/2006, de 21 de julio. BOE núm. 267.

[5] Diputación de Badajoz, 2025.

[6] Catalán Neira, A. 2016.

[7] Diputación de Badajoz, Área de Desarrollo Rural, Reto Demográfico y Turismo. (2019).

[8] Fundación Ecología y Desarrollo. (2000).

2.2. Utilización de la flora mediterránea

La flora mediterránea, autóctona en la Región de Murcia, es muy utilizada en xerojardinería, dado que está adaptada a climas secos y áridos. Son especialmente convenientes las matas y arbustos aromáticos; el romero, los tomillos, las salvias, el espliego, el cantueso, etc.[3]

Aquí se engloba una variedad muy amplia de especies; los tomillos, por ejemplo, son más de quinientas especies, debido a su facilidad para producir mutaciones e hibridaciones. En nuestro país podemos encontrar: *Thymus zygis, Th. hyemalis, Th. vulgaris, Th. mastichina, Th. citriodorus, Th. corydothymus, Th. loscossi, Th. pipirella, Th. rumidicus hispanicus, Th. communis*, etc.[9]

Los arbustos siempreverdes y los árboles mediterráneos también son muy utilizados, al no necesitar mucha agua; el madroño, el durillo, las jaras (género *Cistus*), el lentisco, los almeces, los laureles, los olivos o las higueras, son algunos ejemplos.[3] *(Ver Anexo I, Figura 1)*

2.3. Tapices verdes

Más de dos terceras partes del agua consumida por un jardín se invierte en el césped, por lo tanto, es un elemento que se debe reducir al máximo en un xerojardín. Para ello, se puede sustituir por otro tipo de alfombras verdes que poseen raíces más profundas (por lo que fijan el suelo y aprovechan el agua), y no precisan de siegas periódicas. El mayor inconveniente es que no todas estas especies tapizantes resisten ser pisadas.[3]

En el libro *Guía práctica de la xerojardinería* de la Fundación Ecología y Desarrollo[10] se recomiendan en el capítulo siete una serie de especies con este propósito; la hiedra, el orégano o la clavelina, entre otras.

2.4. El riego eficiente

Para un sistema de riego eficiente, es necesario agrupar las plantas según sus necesidades hídricas en hidrozonas, que permiten aportar sólo el agua necesaria y en el momento óptimo, así como distribuir anualmente los riegos.[11]

Según un artículo del Área de Desarrollo Rural, Reto Demográfico y Turismo de Diputación de Badajoz[12], en la xerojardinería se establecen tres hidrozonas:

- Hidrozona 1: Esta hidrozona requiere muy poca agua, hasta el punto de no necesitar sistema de riego. Se recomienda que ocupe el 60% del jardín. En esta zona encontramos especies como: la adelfa, la retama, el tomillo, el romero, el cantueso, el ciprés, el pino, la olivilla, etc.
- Hidrozona 2: Esta hidrozona requiere riego moderado, y se debe incorporar un sistema de riego por goteo. Se riega sólo en periodos de sequía, y al cabo de 4 cuatro o cinco años estas plantas pueden llegar a ser autosuficientes. Se recomienda que ocupe el 30-40% del jardín. Se utilizan plantas resistentes a la sequía; durillo, hiedra, madroño, etc.
- Hidrozona 3: Esta hidrozona tiene un alto consumo de agua. Incluye plantas más vistosas, césped o una pradera natural que necesite riego por aspersión cada 3 o 4 días. Ocupará sólo un 10% de la superficie.

Varias fuentes coinciden en la conveniencia del riego por goteo enterrado (riego localizado). El sistema de riego, sea del tipo que sea, requiere un diseño muy cuidadoso para establecer el diámetro de las tuberías, la cantidad de agua, la presión, el caudal, etc. Esto lo realizan expertos con conocimientos agronómicos, hidráulicos y botánicos; siendo la automatización del sistema lo más adecuado para el mantenimiento del jardín. Existen, además, otros tipos de riego, a parte del localizado; el riego manual y el riego aéreo.[13]

El riego aéreo distribuye el agua como una lluvia de gotas pequeñas, y se instala en zonas de césped o similares. Pueden instalarse difusores, estáticos y de menor alcance, o aspersores, con un movimiento giratorio y mayor alcance. Los difusores, a pesar de tener menos exposición al viento, requieren un alto coste de instalación.

Este tipo de riego es eficaz en suelos con alta velocidad de infiltración, es adaptable a todas las pendientes, es muy eficaz en suelos muy ligeros, permite controlar el caudal y el horario de riego, y el agua se distribuye de forma homogénea cuando no hay viento. Los inconvenientes serían la

---

[9] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (1985).

[10] ECODES. (2000).

[11] Aznar Mena, R. (2015).

[12] Diputación de Badajoz, Área de Desarrollo Rural, Reto Demográfico y Turismo. (16 de abril de 2019).

evaporación del agua que se queda en las superficies, los altos costes de instalación, y los problemas sanitarios que pueden producirse al mojar las hojas.[3]

El riego manual, por otra parte, es útil en zonas que sólo necesitan aportaciones puntuales de agua en las épocas más secas. Consiste en la inundación de toda la superficie, por lo que no se puede usar en suelos con pendiente ni de alta permeabilidad. Además, dificulta calcular la cantidad de agua que se está usando y acoplar el riego a la velocidad de infiltración del suelo, lo que supone un uso ineficiente del agua.[3] Este sistema no es muy conveniente, ya que la automatización del riego permite controlar mejor las dosis, la frecuencia y determinar los riegos en función de la evapotranspiración (con sensores de humedad en el suelo o estaciones climatológicas sencillas)[13].

Por último, el riego localizado consiste en aplicar el agua mediante goteros a baja presión (de 0,5 a 1,5 atmósferas), que pueden ser superficiales o estar enterrados. Esto disminuye la evaporación del agua, y da mucho control sobre la cantidad de agua de riego, lo que permite un ahorro de dos a cinco veces superior al riego por aspersión. Por esto, es el sistema de riego más recomendado. Además, es adaptable a todos los terrenos y pendientes y supone unas pérdidas de agua muy reducidas. Sin embargo, los costes de instalación son mayores, la cal puede obturar los goteros y pueden aflorar sales en terrenos salinos. El riego localizado incluye el uso de microaspersores y microdifusores, que tienen un comportamiento similar al de los aspersores y difusores, pero más pequeños y de menor alcance (1-3 metros), con un caudal de entre diez y cincuenta litros por hora. Los microaspersores proyectan el agua en chorros y giran, mientras que los microdifusores proyectan el agua nebulizada y son estáticos. Ambos reparten el agua de forma más precisa que en el caso del riego aéreo, y pueden instalarse sobre el tubo que conduce el agua (lo que permite intercalar ambos sistemas) o sobre una derivación del tubo principal.[3]

La programación del riego (dosis, horarios, etc) debe depender del clima, la hidrozona y el tipo de sistema de riego, aunque se pueden establecer una serie de pautas generales. La frecuencia del riego debe ser cada 8-10 días, e ir reduciendo los riegos hasta que las plantas puedan vivir sólo con agua de lluvia. Esto excluye los primeros días tras la plantación, en los que las plantas necesitan más agua, y el verano, en el que las plantas necesitan un aporte extra de agua. Ir reduciendo los riegos (espaciando más las dosis) favorece que las plantas sean más profundas y puedan convertirse en autónomas. Un riego frecuente y en pequeñas dosis no es aconsejable, porque provoca desequilibrios entre la parte aérea y subterránea de la planta y crea dependencia de riego, así que se debe regar de forma abundante y espaciada.

Además, se debe evitar regar en horas de máxima insolación. En verano se debe regar en las últimas horas del día (para evitar que se evapore el agua durante el día), y en invierno a primera hora de la mañana (para evitar que el agua se congele).

Para comprobar la eficiencia del sistema de riego y calcular el consumo de agua, se pueden instalar contadores.[13]

Por otra parte, el agua de lluvia se puede aprovechar para el riego, especialmente en jardines pequeños. El agua recogida con los canalones o mediante el drenaje de los patios se puede conducir directamente al jardín o a un depósito, que permitirá realizar riegos pasadas las lluvias.[3]

2.5. Características generales del clima de Murcia.

La ciudad de Murcia está incluida en la región climática del Sureste de España, cuyos límites espaciales no están completamente definidos, pero tiene unas características climáticas especiales. Entre ellas destaca la aridez extrema, siendo la región de mayor aridez climática de Europa, en la que las precipitaciones no superan los 400 mm anuales. También podemos destacar la sequía estival y la torrencialidad de las precipitaciones, cuyo contraste da lugar a la variabilidad de las lluvias, tan característica de la ciudad. Cabe destacar las altas cifras de insolación y evapotranspiración potencial de la región, que es superior a los 1000 mm anuales.[13] La evapotranspiración potencial de un territorio es la cantidad de agua que sería devuelta a la atmósfera con un suministro de agua y unas condiciones vegetales óptimas. Expresa la demanda de agua por parte de la atmósfera y las plantas de un territorio.[14]

La cercanía del Mar Mediterráneo da lugar a inviernos suaves y altas temperaturas, ya que el agua tiene una temperatura alta durante gran parte del año, lo que supone una fuente de calor y un modo de atemperamiento térmico. También influye en el clima y en la torrencialidad de las lluvias por la inercia térmica que adquieren sus aguas.

---

[13] Gil-Guirado, Salvador; Pérez-Morales, Alfredo. (2019).

[14] Vicepresidencia Tercera del Gobierno, Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico. (s.f)

Por último, la proximidad del desierto del Sáhara (a menos de 500 km), provoca la irrupción de masas de aire cálidas y secas, que provocan las fuertes olas de calor sufridas en la ciudad. El desierto también aporta polvo en suspensión, que provoca lluvias de barro.[15] Estas lluvias alteradas tienen consecuencias en el territorio entre las que destacan los daños a la flora (al cubrir las hojas con una capa de barro y bloquear la fotosíntesis), y las alteraciones que sufre el suelo cuando el polvo limita su capacidad para filtrar agua.[15]

Además, también hay que mencionar Murcia como un desierto en sí misma, dado que es la comunidad autónoma más susceptible a la desertificación, debido a su clima; prácticamente un 100% del territorio está en riesgo, según un estudio de la EEZA (Estación Experimental de Zonas Áridas). La desertificación es la degradación del terreno por la actuación del ser humano, especialmente por el consumo excesivo de agua. La aridez del terreno murciano dificulta en extremo la regeneración natural, así como el cambio climático, que al ser tan intenso y acelerado, impide la adaptación de los ecosistemas. Según el mismo estudio, la desertificación también está vinculada a la agricultura de regadío, que crea una capa de sal sobre la superficie agrícola, dejando el terreno en unas condiciones muy malas tras su uso.[16]

Respecto al cambio climático, la Ciudad de Murcia es una zona profundamente afectada. El cambio climático incrementa el fenómeno conocido como “isla de calor”, que es una anomalía producida en el centro de las ciudades y que provoca un aumento de las temperaturas, especialmente durante las olas de calor. El cambio climático también afecta particularmente a las zonas costeras, dado el aumento de la temperatura superficial del Mediterráneo. Eso provoca el aumento de noches tropicales (con temperaturas superiores a 20ºC) en la región mediterránea.[17] Dada su ubicación en el sureste peninsular y su condición de ciudad, podríamos decir que Murcia es un área especialmente afectada por este fenómeno global.

2.6. Riego urbano en Murcia

Murcia dispone de una red alternativa a la del agua potable para el riego de los jardines, formada por un conjunto de sondeos, instalaciones elevadoras, depósitos y redes generales de tuberías para distribución y suministro del agua subterránea. El agua subterránea que se usa para el riego de jardines urbanos se controla regularmente para prevenir posibles focos de legionella[18], aunque se trata de un sistema distinto al del agua potable, que se nutre de la Mancomunidad de los Canales del Taibilla y las aguas propias de la Cuenca del Segura, que se reciben a través de las infraestructuras del Trasvase Tajo-Segura.[19]

Con respecto al riego de jardines, en 2020 se puso en marcha el proyecto LIFE Conquer en La Región de Murcia, cofinanciado por la Unión Europea, cuyo objetivo es promover el riego sostenible y mitigar la escasez hídrica. Se trata de un sistema de riego que permite reutilizar aguas freáticas contaminadas por nitratos y sales, manteniendo los nutrientes necesarios y eliminando la salinidad, para el riego de parques y jardines.[20]

Además, en 2025 se instalaron dispositivos y estaciones meteorológicas en muchos jardines murcianos, para optimizar su riego.[21]

2.7. Xerojardinería en Murcia

Murcia es un buen marco para la xerojardinería, dadas las características de su clima. De hecho, ya se han hecho aproximaciones; el Ayuntamiento es consciente de la conveniencia de las especies xerófitas, y las podemos encontrar en el barrio de San Pedro, San Antolín, parterres del plano de San Francisco y en el jardín del Salitre, además de en Aljucer, Guadalupe, Monteagudo, Sangonera la Seca, el Raal, Algezares o Gea y Truyols.

Concretamente, las especies más cercanas a los ciudadanos son cactus del género *Mammillaria* y *Ferrocactus* (casi medio centenar de grandes ejemplares). También destacan algunas especies como

---

[15] Ambientum Portal Líder Medioambiente. (3 de febrero de 2025).

[16] Agencia de Noticias EFE. (22 de marzo de 2024).

[17] Agencia Estatal de Meteorología. (2019).

[18] EMUASA, Aguas de Murcia. (s.f).

[19] EMUASA, Aguas de Murcia. (s.f).

[20] CETAQUA, Centro Tecnológico del Agua. (30 de octubre de 2024).

[21] Murcia Plaza. (12 de agosto de 2025).

el 'cactus cacahuete', con flores naranjas y púrpura, los *'Echinofossulocactus'*, cactus pequeños y esféricos con flores rosas o las *'Lobivias'*, que tienen unas llamativas flores rojas.

De su cuidado y mantenimiento se encargan los técnicos de la Concejalía de Desarrollo Urbano a través del Servicio de Parques y Jardines; un riego mínimo, y abonado según necesidades del suelo.[22]

Las especies autóctonas de la Región de Murcia están adaptadas al clima, por lo que suelen ser xerófitas. Algunas de estas especies son: *Asteriscus maritimus, Mirtus comunis, Rosmarinus officinalis var. postratum, y Santolina chamaecyparissus.*[23]

3. Hipótesis de trabajo y objetivos de la investigación.

Al ser un proyecto a pequeña escala, se ha analizado el parque Manos Unidas, en el Ranero, Murcia, partiendo de la hipótesis de que en este jardín se consume una cantidad excesiva de agua de riego desde un punto de vista medioambiental. Esta suposición se basa en la presencia de una gran extensión de césped, cuyas necesidades hídricas son altas.

Así, se plantean los siguientes objetivos:

1. Hacer una estimación del consumo de agua de las especies principales que alberga este jardín urbano.
2. Realizar una propuesta para aumentar la eficiencia hídrica del jardín, según los parámetros de la xerojardinería. Entre ellos, la reducción de superficies de césped, la predominancia de plantas autóctonas, la distribución adecuada de especies, etc.

4. Materiales y métodos

Se trata de una investigación aplicada, que busca la utilización de los conocimientos adquiridos para la mejora de un espacio público. Se ha utilizado un método descriptivo no experimental y los datos se han estudiado de forma cualitativa.

4.1. Materiales

4.1.1. Aplicaciones para el reconocimiento de plantas

Por lo general, las aplicaciones analizan las hojas para reconocer una determinada especie. Esto es porque, aunque las flores, los frutos, el tronco o la ramificación también son distintivos de cada especie, las hojas se pueden encontrar en la mayoría de especies vegetales y durante más tiempo. También son más fáciles de captar en cámara de forma fiable.

Las hojas se caracterizan por la nervadura, la textura o la forma de la hoja. La nervadura y la textura de las hojas tienen variaciones apenas perceptibles, por lo que el criterio que se utilizará para reconocer especies vegetales es, principalmente, la forma de las hojas. Así, estas aplicaciones se basan en la extracción de una descripción matemática de la forma de la hoja, con herramientas como el algoritmo de descriptores elípticos de Fourier, para poder hacer comparaciones entre las muestras de la base de datos.[24]

Para la identificación de las distintas especies de plantas encontradas en el Jardín Manos Unidas, a falta de un experto en la materia, se han utilizado de forma comparativa dos aplicaciones, recomendadas por el Ministerio de España para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico; Pl@ntNet y Arbolapp.[25]

Pl@ntNet es un "proyecto de ciencia ciudadana", un sistema basado en el reconocimiento de imágenes, que permite identificar plantas utilizando fotos tomadas en el momento. Desarrollada por un consorcio formado por científicos de CIRAD, INRA, INRIA, IRD, y la red Tela Botánica en un proyecto financiado por la Fundación Agrópolis.[26] *(Ver Anexo I, Figura 2)*

También se ha utilizado Arbolapp. Se trata de una aplicación cuya función es ser una guía de árboles y arbustos arborescentes (arbustos que pueden convertirse en árboles de forma natural) de la Península Ibérica y las Islas Baleares. Incluye 143 especies de plantas y más de 800 ilustraciones y

[22] Murcia.com. (26 de julio de 2020).

[23] Gómez, J. F. R., & Arnaldos, V. P. (s.f.).

[24] Valenzuela Pérez, S. U. (2013).

[25] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s.f).

[26] Pl@ntNet. (s.f).

fotografías. Es una iniciativa del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) impulsada por su Vicepresidencia Adjunta de Cultura Científica y el Real Jardín Botánico (RJB). Cuenta con financiación de la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT).[27] Esta aplicación no funciona con un sistema de reconocimiento de imágenes, sino con preguntas sobre el aspecto de la planta. La aplicación busca en su base de datos las plantas de la zona cuyas características se correspondan con las respuestas dadas. (Ver Anexo I, Figura 3)

Al funcionar de forma distinta a Pl@ntNet, la información contrastada será más fiable.

Para complementar los resultados obtenidos con estas aplicaciones, se han utilizado las publicaciones *El arbolado ornamental de la Región de Murcia. Una estadística*, y *El arbolado urbano de Murcia,* de J. Sánchez de Lorenzo Cáceres, para identificar las especies de árboles a estudiar. Al ser publicaciones antiguas, y que no incluyen arbustos ni otros tipos de plantas, se han tenido en cuenta de forma orientativa.

4.2. Tratamiento de resultados

En el caso de las especies arbóreas, matas y arbustos, se han cuantificado según el número de individuos.

Se ha valorado si las especies principales del parque cumplen las condiciones para considerarse xerófitas o autóctonas, considerando como especies principales las que se hallan en mayor proporción en el terreno. Las especies que se hallan en una proporción muy pequeña (menor al 3%) se han descartado por no considerarlas representativas.

Para valorar si las especies del parque son xerófitas, se ha tenido en cuenta si presentan adaptaciones al clima seco y si son autóctonas. También se ha comprobado si aparecen en el listado de especies xerófitas en el libro *Guía práctica de xerojardinería*, por la Fundación ECODES[28].

4.3. Metodología

Se han hecho una serie de visitas al parque para identificar las plantas allí presentes, todas durante los meses de octubre y noviembre de 2025.

Primero, se hizo una estimación del número de especies diferentes que hay, es decir, que se agruparon las plantas de la misma especie. Esta distinción entre especies se observa claramente en su distribución por el parque, y en sus rasgos generales.

Luego, utilizando la aplicación Pl@ntNet, se obtuvo una lista de especies. La aplicación se utilizó usando fotos de, al menos, dos plantas de cada grupo. Si los resultados de ambas plantas no coincidían (si las identificaba como especies distintas), el proceso se repetía con fotografías nuevas de ambas plantas.

Las fotografías se hicieron con un teléfono del modelo Realme C11, en el que también están instaladas las dos aplicaciones usadas.

Los resultados obtenidos con Pl@ntNet, basados en fotografías, se compararon con los resultados obtenidos con Arbolapp, basados en la observación de las plantas.

Los resultados de ambas aplicaciones deben coincidir para considerar el resultado válido.

5. Resultados

5.1. Flora en el Jardín Manos Unidas

Nombre común	Nombre científico	Ejemplares	Abundancia (%)
Árbol de fuego	*Brachychiton acerifolius*	2	0,75
Azahar de la China	***Pittosporum tobira***	**22**	**8,24**
Buganvilla	***Bougainvillea spectabilis Willd.***	**8**	**3,00**
Ciprés	***Cupressus sempervirens L.***	**19**	**7,12**

[27] Arbolapp. (s.f).

[28] ECODES. (2000).

Galán de noche	*Cestrum nocturnum*	5	1,87
Hibisco	*Hibiscus moscheutos L.*	7	2,62
Jacaranda	***Jacaranda mimosifolia***	**56**	**20,97**
Jazmín azul	***Plumbago auriculata Lam.***	**10**	**3,75**
Laurel	*Laurus nobilis L.*	3	1,12
Lechera de cabo	*Polygala myrtifolia L.*	6	2,25
Mirto	*Myrtus communis L.*	4	1,50
Morera	***Morus alba***	**40**	**14,98**
Palmera canaria	*Phoenix canariensis H.Wildpret*	1	0,37
Pino	***Pinus nigra***	**50**	**18,73**
Rosa de Siria	*Hibiscus syriacus*	3	1,12
Solano de flor azul	***Lycianthes rantonnetii***	**29**	**10,86**
Viburnum	*Viburnum odoratissimum Ker Gawl.*	1	0,37
Washingtonia	*Washingtonia filifera*	1	0,37
TOTAL		267	100,00

Tabla 1. Censo de plantas en el Jardín Manos Unidas. Elaboración propia.

Se han seleccionado las especies *Pittosporum tobira, Bougainvillea spectabilis Willd., Cupressus sempervirens L.*, *Jacaranda mimosifolia, Plumbago auriculata Lam., Morus alba, Pinus nigra, y Lycianthes rantonnetii,* para realizar este estudio sobre el consumo de agua de las plantas del Jardín Manos Unidas, en El Ranero. *(Ver Anexo I, Figuras de la 4 a la 11)* Se han descartado las demás por su abundancia, que no supera el 3% del total de ejemplares. Las especies seleccionadas representan un 87,64% de la flora del parque.

Pittosporum tobira[29]*, Cupressus sempervirens*[30]*, y* las especies de los géneros *Bougainvillea*[31] *y Pinus*[32]*,* presentan resistencia a la sequía. Además, las podemos encontrar en la lista de especies xerófitas del libro *Guía práctica de xerojardinería*, por la fundación ECODES[33]. Por lo tanto, las consideramos adecuadas para un xerojardín.

A pesar de no figurar en dicho libro, *Lycianthes rantonnetii* presenta resistencia a la escasez de agua característica de Murcia, por lo que también es una especie xerófita. Las especies *Jacaranda mimosifolia*[34] y *Morus alba*[35]*,* presentan una necesidad de agua ligeramente mayor que las otras especies durante periodos muy secos y sus primeros meses de vida, respectivamente. Sin embargo, se consideran especies con un bajo consumo de agua, y, por lo tanto, adecuadas al xerojardín (en una hidrozona diferente a las especies más resistentes, por supuesto).

Plumbago auriculata, sin embargo, requiere una gran cantidad de agua de riego en los meses más cálidos[36]. Por tanto, no es una especie xerófita.

[29] Benoit Contesse, I. (2005).
[30] Gilman, E., Watson, D. (1993).
[31] de Compostela, S. (2008).
[32] Rodríguez Horcajo, R. (2016).
[33] ECODES. (2000).
[34] Gilman, E., Watson, D. (1993).
[35] García, J. P., Giménez, J. C., López, A. (2012).
[36] Singh, K., Naidoo, Y., & Baijnath, H. (2018).

5.2. Césped en el Jardín Manos Unidas

El césped cubre de forma irregular la extensión ajardinada del parque, y comparte espacio con la mayoría de especies. Las especies predominantes son la grama (*Poa annua L.*) y el perifollo o perejil francés (*Anthriscus cerefolium*). *(Ver Anexo I, Figura 12)*

Este tipo de grama (*Poa annua L.*) es originaria de Europa, y capaz de colonizar rápidamente el suelo descubierto, formando densas poblaciones que compiten fuertemente por agua y luz con especies nativas. Es una planta sensible a la sequía[37], y debe ser regada dos veces por semana.[38]

El *Anthriscus cerefolium,* al igual que la grama, no es una especie xerófita, ya que necesita que el suelo se mantenga húmedo para mantenerse.[39]
(Ver Anexo I, Figura 4)

5.3. Hidrozonas y riego

Hay hidrozonas en cierta medida, ya que, en general, las plantas de la misma especie se agrupan en secciones y no se mezclan de forma desordenada con otras que requieran un riego distinto.

Sin embargo, esta regla se rompe en la distribución del césped, que puede encontrarse en la misma parcela que *Brachychiton acerifolius, Cupressus sempervirens L., Hibiscus moscheutos L., y Pinus nigra,* entre otras.

Dadas las necesidades hídricas opuestas del césped y de especies como el pino, esta es una distribución que no respeta la técnica de las hidrozonas y hace ineficiente el consumo de agua.

Además, el riego en el Jardín Manos Unidas se realiza mediante aspersores (riego aéreo) y mediante goteros (riego localizado).

El riego aéreo se instala en zonas de césped, y permite controlar el caudal y el horario. Sin embargo, el agua se distribuye de forma homogénea por toda la parcela, regando en la misma medida especies con necesidades hídricas opuestas, y el agua que queda en las superficies se evapora. Por ello, no se trata de la forma más eficaz de regar un jardín.

El riego localizado es el sistema más adecuado; disminuye la evaporación del agua y proporciona mucho control sobre la cantidad de agua de riego, lo que permite un ahorro de dos a cinco veces superior al riego por aspersión.

5.4. Discusión de resultados

El objetivo de este estudio era hacer un balance del consumo de agua de las especies principales que alberga el Jardín Manos Unidas, en El Ranero, y realizar una propuesta para aumentar la eficiencia hídrica del jardín, según los parámetros de la xerojardinería.

Así, concluimos que el Jardín Manos Unidas en El Ranero, Murcia, no cumple las condiciones necesarias para considerarse un xerojardín; aunque predominan las especies con un bajo consumo de agua, también podemos encontrar un número elevado de especies que requieren de un riego frecuente, como los jazmines azules. También encontramos una gran extensión de césped, que necesita grandes cantidades de agua al año.

Para un jardín más respetuoso con el medio ambiente, se debe sustituir el césped por otro tipo de tapices verdes, que poseen raíces más profundas (por lo que fijan el suelo y aprovechan el agua) y no precisan de siegas periódicas.

En el libro *Guía práctica de la xerojardinería* de la Fundación Ecología y Desarrollo, previamente citado en el marco teórico, se recomiendan una serie de especies con este propósito. Entre ellas, las más adecuadas para el Jardín Manos Unidas serían aquellas que no necesiten una exposición constante al sol, ya que es un parque con árboles frondosos que generan muchas zonas de sombra. Por lo tanto, las especies adecuadas serían: Consuelda media (*Ajuga reptans*), hiedra (*Hedera helix*), hierba de San Juan (*Hypericum calycinum)*, carrasquilla (*Teucrium chamaedrys*), y hierba doncella (*Vinca major* y *Vinca minor*).

Además, al eliminar el césped, podría cambiarse el sistema de riego aéreo por un sistema de goteros en todo el jardín, que harían más eficientes los riegos esporádicos.

Se trata de especies que no suponen un afeamiento del espacio con respecto a la grama. Además, encontramos hiedra en otras zonas ajardinadas de la zona, en la calle Sargento Ángel Tornel,

[37] Herrera, M. I. F. (2024).

[38] Picture This. (s.f).

[39] El Nou Garden. (s.f).

por lo que sabemos que responde adecuadamente las condiciones de la ciudad. Cualquiera de ellas sería apropiada para el xerojardín, en sustitución de la grama (*Poa annua L.*). Esta modificación también supondría una mayor aproximación a la técnica de las hidrozonas, aumentando la eficiencia del riego.

En sustitución de los jazmines azules (*Plumbago auriculata),* se podrían usar matas y arbustos aromáticos autóctonos de la Región de Murcia, muy utilizados en xerojardinería. Entre las opciones están: el romero, los tomillos, las salvias, el espliego, el cantueso, etc.[3] Los arbustos siempreverdes y los árboles mediterráneos también son una buena opción, por ejemplo el madroño, el durillo, las jaras (género *Cistus*), el lentisco, los almeces, los laureles, los olivos o las higueras.[40]

Aunque este estudio está limitado a un sólo jardín en la Ciudad de Murcia debido a la falta de recursos, se trata de un análisis que se podría extender a otras zonas similares en la ciudad, dada la importancia del ahorro de agua en una región seca y árida. Se trata de un análisis objetivo, y con propuestas claras para solucionar el problema planteado; cómo hacer una planificación más eficiente de los jardines para ahorrar recursos hídricos.

La limitación más importante en este estudio es la dificultad que implica la identificación de plantas. Esta dificultad se agrava por la presencia de plantas tanto locales como exóticas en el jardín, y por el tiempo limitado de observación, ya que hay muchas especies de las que no se han podido observar sus flores, que son un factor esencial a la hora de reconocer una especie concreta. Con más herramientas y expertos en la materia podría saberse con más seguridad las especies de plantas que encontramos en la Ciudad de Murcia, para no tener que depender de aplicaciones de reconocimiento de plantas, y aplicar la propuesta de mejora a todos los jardines de la ciudad, sustituyendo especies exóticas por otras adaptadas al clima.

6. Conclusiones

En definitiva, la investigación permitió confirmar la hipótesis planteada, que el consumo de agua en el Jardín Manos Unidas es excesivo, y concluir que no se trata de un xerojardín, debido a la presencia de especies de flora con altas necesidades hídricas, propias de zonas menos secas. Se esperaba un resultado en esta línea por la gran extensión de césped visible en el parque, en el que se suelen invertir más de dos terceras partes del agua consumida por un jardín.

Con respecto a los objetivos específicos del proyecto, no se ha obtenido un resultado cuantitativo del consumo de agua del jardín, pero sí una estimación del consumo general de las especies presentes y su abundancia. Estos datos nos proporcionan, sobre todo, una idea de aquello que podría mejorarse para reducir el riego.

En relación al segundo objetivo, proponer cambios en el jardín para aumentar su eficiencia hídrica, se ha logrado una propuesta coherente para sustituir las especies con un alto consumo de agua por otras xerófitas y adaptadas al clima de Murcia. Así, tras hacer la identificación y cuantificación de las especies vegetales en el parque, tanto el césped (*Poa annua L.*) que cubre el área ajardinada, como los jazmines azules (*Plumbago auriculata),* que suponen casi un 4% de la flora en el parque, serían reemplazados por especies más adecuadas. Entre las especies propuestas se encuentran arbustos siempreverdes, árboles mediterráneos, matas y arbustos aromáticos autóctonos de la Región de Murcia, como el romero o el tomillo, que requieren un riego mínimo y aportan el ser plantas aromáticas. Esto también incluye especies como el madroño, el durillo, las jaras o las higueras.

Para sustituir la gran extensión de césped en el jardín, pueden usarse diversas especies adecuadas a las condiciones del jardín, entre ellas la consuelda media (*Ajuga reptans*), la hiedra (*Hedera helix*), y la hierba doncella (*Vinca major* y *Vinca minor*).

Estos resultados indican que el ahorro de agua no es un factor tan determinante como debería en el diseño de los jardines murcianos. La relevancia de este resultado radica en que la Región es un territorio árido y con tendencia a la desertificación, por lo que el ahorro de agua es esencial. Además, cada vez cobra más importancia, debido al cambio climático y sus consecuencias. Por tanto, este criterio debería ser central a la hora de seleccionar especies vegetales para las áreas verdes de la ciudad, con el objetivo de minimizar el uso de agua de riego.

Finalmente, este estudio pone en relieve todo el camino que queda por delante para lograr una ciudad más sostenible y eficiente. Teniendo en cuenta el impacto negativo y global de nuestra forma de vida, y habiendo pasos tan sencillos para reducirlo, se hace evidente la necesidad de avanzar en todo lo que se pueda.

[40] ECODES. (2000).

7. Referencias

Agencia Estatal de Meteorología. (2019). *Efectos del Cambio Climático en España* [Archivo PDF]. https://www.lamoncloa.gob.es/serviciosdeprensa/notasprensa/ecologica/Documents/2019/260319-Open%20Data%20Clim%C3%A1tico.pdf

Ambientum Portal Líder Medioambiente. (3 de febrero de 2025). *Lluvia de barro: causas, efectos y soluciones prácticas.* https://www.lineaverdellucmajor.org/lv/noticiasDestacadas.asp?noticia=38030#

Arbolapp. (s.f). *Sobre Arbolapp*. https://www.arbolapp.es/sobre-arbolapp/

Asamblea Regional de Murcia. (s.f). *El agua en la región de Murcia: un elemento preciado y escaso.* http://www.asambleamurcia.es/divulgacion/murcia-y-el-agua-historia-de-una-pasion-capitulos/cap1-el-agua-en-la-region-de-murcia-un

Aznar Mena, R. (2015). *Desarrollo de un plan maestro para la implantación de la jardinería ecológica bajo criterios de sostenibilidad y xerojardinería en Valencia y su área metropolitana*[Tesis de Maestría, Universitat Politècnica de València, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural]. https://core.ac.uk/download/pdf/275605349.pdf

Barceló, M. y Parera, J. (2005). Jardinería y escasez de agua. *Bricojardinería & paisajismo, revista profesional de distribución en horticultura ornamental y jardinería,* (133), 24-31. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1233867

Benoit Contesse, I. (2005). Ficha Árboles Urbanos. Pitosporo (Pittosporum tobira) (Thumb.) Ait. Chile Forestal, n.320. página 61. https://bibliotecadigital.infor.cl/bitstream/handle/20.500.12220/13579/13579.pdf?sequence=1

Catalán, A. (2016) *La xerojardinería, un componente alternativo para el ahorro de agua en jardines urbanos de las ciudades del Triángulo del Sol* [Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Guerrero]. http://200.4.142.40:8080/bitstream/handle/uagro/763/OK13565823_maestria_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y

CETAQUA, Centro Tecnológico del Agua. (30 de octubre de 2024). *El proyecto LIFE Conquer llega a su fin después de conseguir tratar aguas freáticas para regar parques y jardines de la ciudad de Murcia.* https://www.cetaqua.com/life-conquer-final/

Diputación de Badajoz, Área de Desarrollo Rural, Reto Demográfico y Turismo. (16 de abril de 2019). *Xerojardinería, definición de hidrozonas, planificación y más soluciones de jardinería adaptadas al cambio climático.* https://desarrollorural.dip-badajoz.es/entrada/noticias/xerojardineria-definicion-de-hidrozonas-planificacion-y-mas-soluciones-de-jardineria-adaptada-al-cambio-climatico

ECODES. (2000). *Guía práctica de xerojardinería*. Bakeaz. https://diario.madrid.es/cieacasadecampo/wp-content/uploads/sites/61/2020/08/Gu%C3%ADa-pr%C3%A1ctica-de-xerojardiner%C3%ADa.pdf

EFE. (22 de marzo de 2024). Murcia es la región que está más cerca de convertirse en un desierto. *La Opinión de Murcia.* https://www.laopiniondemurcia.es/comunidad/2024/03/22/murcia-region-cerca-convertirse-desierto-99802681.html

El Nou Garden. (s.f). *Perifollo - Anthriscus cerefolium. https://elnougarden.com/products/perifollo-anthriscus-cerefolium?srsltid=AfmBOooU0N5wKJVOcb9d0zEsPbFEMC_Ie3JuSxaqXxbwgBp_6_3ep-k0*

EMUASA, Aguas de Murcia. (s.f). *Captación*. https://www.emuasa.es/captacion

EMUASA, Aguas de Murcia. (s.f). *Red alternativa a la del agua potable.* https://www.emuasa.es/red-urbano-de-riego#:~:text=Murcia%20dispone%20de%20una%20red%20alternativa%20al,adecuan%20al%20uso%20al%20que%20se%20destina

English, C. (2013). *Cottonwoods and Dry Meadow, View NW, San Fidel* [Fotografía]. Panoramio. https://web.archive.org/web/20161030073606/http://www.panoramio.com/photo/99190746

Erives Rodríguez, P. O. (2019). *Comportamiento fisiológico del pasto navajita azul (Bouteloua gracilis) en ambientes con concentraciones elevadas de CO2*[Tesis de Maestría, Universidad Autónoma de Chihuahua]. http://repositorio.uach.mx/250/1/TESIS.pdf

Gil Guirado, S., y Pérez Morales, A. (2019). Variabilidad climática y patrones termopluviométricos en Murcia (1863-2017). Técnicas de análisis climático en un contexto de cambio global. *Investigaciones Geográficas*, (71), 27–54. https://doi.org/10.14198/INGEO2019.71.02

Gilman, E. y Watson, D. (1993). *Cupressus sempervirens*. US Department of Agriculture. https://hort.ifas.ufl.edu/trees/CUPSEMA.pdf

Gilman, E. y Watson, D. (1993). *Jacaranda mimosifolia*. US Department of Agriculture. https://hort.ifas.ufl.edu/database/documents/pdf/tree_fact_sheets/jacmima.pdf

Infojardín. (2023). *Agrostis*. https://fichas.infojardin.com/cesped/agrostis-tenuis-agrostide-comun-chepica-alemana.htm

Ley 6/2006, de 21 de julio. Sobre el incremento de las medidas de ahorro y conservación en el consumo de agua en la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia. 21 de julio de 2006. BOE núm. 267.

Milles, D. (2011). *Bentley Priory The Greensward* [Fotografía]. Wikimedia Commons https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/05/Bentley_Priory_The_Greensward.jpg

Millán, M. (2021). Proceso urbanizador y clima: causas y consecuencias en el caso de la Región de Murcia (España). *Turismo y Sociedad,* 29, 95-127. https://doi.org/10.18601/01207555.n29.05

Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (1985). *El Tomillo: Aprovechamiento y Cultivo.* Hojas Divulgadoras del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Neografis S.L, https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1985_17.pdf

Ministerio para la Transición Ecológico y el Reto Demográfico. (s.f). *Aplicaciones de plantas: Pl@ntNet y PlantSnap.* https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/recursos/pag-web/plantner-plantsnap.html

Mulè, C. (2019). Jardines secos. En torno a los jardines en zonas áridas. *Consensus*, *23*(1), 53–68. https://doi.org/10.33539/consensus.2018.v23n1.1476

Murcia.com. (26 de julio de 2020). *60 variedades de cactus para un jardinería pública más eficiente.* https://www.murcia.com/noticias/2020/07/26-60-variedades-de-cactus-para-una-jardineria-publica-mas-eficiente.asp

Murcia Plaza. (12 de agosto de 2025). *Murcia implementa un sistema de riego inteligente para evitar el desperdicio de agua en sus jardines.* https://murciaplaza.com/murciaplaza/murcia/murcia-implementa-un-sistema-de-riego-inteligente-para-evitar-el-desperdicio-de-agua-en-sus-jardines

Pemán García, J., Giménez Cosculluela, J. y López Vivié, A. (2012). *Morus alba L.*[Archivo PDF]. https://www.researchgate.net/profile/Jesus-Garcia-46/publication/270215277_Morus_alba_L/links/54a29c930cf257a63604cb5b/Morus-alba-L.pdf

Picture This. (s.f). *Guía de cuidado de plantas. Poa annua.* https://www.picturethisai.com/es/care/Poa_annua.html

Pl@ntNet. (s.f). *Home*. https://plantnet.org/en/

Rodríguez Horcajo, R. (2016). *Efectos de la Sequía en el Crecimiento y la Capacidad de Resiliencia en tres Especies de Pinos que Coexisten en un Bosque Mediterráneo.* https://ebuah.uah.es/dspace/bitstream/handle/10017/25823/TFM_Rodr%c3%adguez_Horcajo_2016.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sánchez Lorenzo-Cáceres, J. M. (2008). *Selección de plantas ornamentales con bajas necesidades hídricas*. III Congreso de Jardinería de Asproga Innovaciones tecnológicas. Jardinería sostenible, Santiago de Compostela, A Coruña. https://arbolesornamentales.es/seleccion%20de%20plantas.pdf

Singh, K., Naidoo, Y., & Baijnath, H. (2018). A comprehensive review on the genus Plumbago with focus on Plumbago auriculata (Plumbaginaceae). *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, *15*(1), 199-215.

Sociedad Portuguesa de Botánica. (s.f). *Thymus zygis* [Fotografía]. Flora-On. https://flora-on.pt/?q=Thymus+zygis

Valenzuela Pérez, S. U. (2013). *Identificación de especies vegetales utilizando dispositivos móviles*[Tesis de Maestría, Universidad de Chile]. https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/113941/cf-valenzuela_sp.pdf

Vicepresidencia Tercera del Gobierno, Ministerio para la Transición Ecológica y el reto demográfico. (s.f). La desertificación en España. https://www.miteco.gob.es/en/biodiversidad/temas/desertificacion-restauracion/lucha-contra-la-desertificacion/lch_espana.html

Anexo I

Figura 1. *Thymus zygis* (Sociedad Portuguesa de Botánica, s.f)

Figura 2. Identificación de *Morus alba L.* usando la aplicación Pl@ntNet. Elaboración propia.

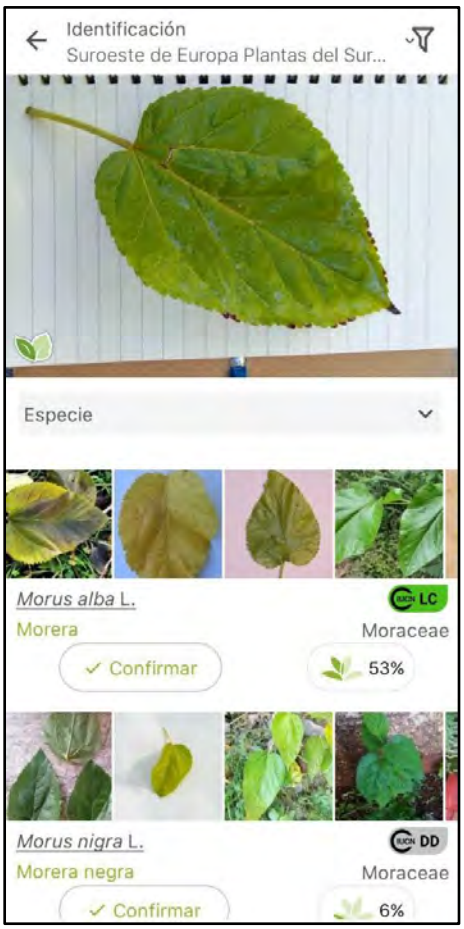


Figura 3. Identificación de Morus alba L. usando la aplicación Arbolapp. Elaboración propia.

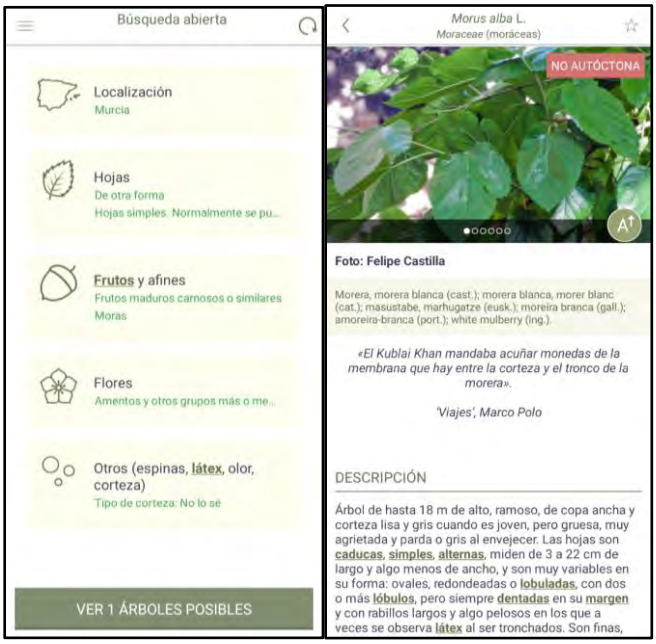


Figura 4. *Pittosporum tobira.* Elaboración propia.

Figura 5. *Bougainvillea spectabilis Wild*. Elaboración propia.

Figura 6. *Cupressus sempervirens L*. Elaboración propia.

Figura 7. Jacaranda mimosifolia. Elaboración propia.

Figura 8. *Plumbago auriculata Lam*. Elaboración propia.

Figura 9. *Morus alba* en la estación fría. Elaboración propia.

Figura 10. *Pinus nigra*. Elaboración propia.

Figura 11. *Lycianthes rantonnetii*. Elaboración propia.

Figura 12. *Anthriscus cerefolium* y *Poa annua L*. Elaboración propia.

La paradoja del ahorro en la cesta de la compra: análisis matemático de las estrategias promocionales de las grandes superficies

AUTORA: LUCÍA LÓPEZ YABETA
CURSO ACADÉMICO: 2025/2026
GRUPO: 2º BACHILLERATO A
TUTORA: ANA BELÉN MEGÍAS MARTÍN

Resumen

El presente estudio tiene como objetivo central examinar cómo influyen las promociones de los supermercados y cómo la capacidad de cálculo de los clientes determina su ahorro efectivo al hacer la compra. Se propone analizar si las tácticas de venta y la forma en que se presentan los precios logran condicionar las decisiones de compra, incluso cuando el consumidor cree estar actuando de forma lógica. Para ello, se adopta un enfoque práctico y cuantitativo que busca medir el impacto de la publicidad y el conocimiento matemático en la economía doméstica actual. El desarrollo de la investigación comprendió la realización de una entrevista a una especialista en gestión comercial, un examen matemático detallado de diversas ofertas y una encuesta a más de cien personas sobre sus rutinas de consumo. Se concluye, por consiguiente, que el marketing visual y la ubicación de los productos tienen más peso en la decisión final que el ahorro real. El estudio demuestra que muchas promociones comunes no siempre benefician al bolsillo, resaltando la importancia de que el consumidor desarrolle una mirada más crítica y analítica para proteger su presupuesto frente a los ganchos comerciales.

Palabras clave: Consumo, ahorro, ofertas, supermercados, marketing.

Índice

1. Introducción 2
2. Antecedentes 3
3. Objetivos de la investigación 4
4. Materiales y métodos 4
4.1. Enfoque metodológico 4
4.2. Diseño de la experiencia 4
4.2.1. Entrevista a expertos 4
4.2.2. Diseño de la encuesta 4
4.2.3. Recopilación de la información 4
5. Representación y análisis de los datos obtenidos 5
6. Conclusiones 12
7. Agradecimientos 12
8. Referencias 12

1. Introducción

En el siglo XXI, inmersos en una sociedad de consumo, la economía juega un papel crucial en las decisiones diarias. La situación actual, marcada por la inflación, impulsa a un número creciente de consumidores a buscar el máximo ahorro posible en sus compras, ajustando su consumo, optando por productos básicos, marcas blancas y descuentos en supermercados.

La gestión adecuada del presupuesto personal y la capacidad de discernir entre ofertas convenientes o perjudiciales pueden marcar la diferencia en la economía doméstica. Este proyecto surge como un apoyo para entender el ámbito de las ofertas en los comercios alimenticios.

En este contexto, la importancia de la economía se ha hecho más evidente. Incorporar formación en conceptos económicos básicos desde los primeros años de educación puede contribuir a que las futuras generaciones administren mejor sus recursos, promoviendo el ahorro, evitando dificultades financieras y fomentando un consumo responsable.

Las ofertas, juegan un papel importante en las decisiones de compra de los consumidores, sin embargo, aunque atractivas, pueden llevar a tomar decisiones de compra que no son las más beneficiosas para sus intereses, llegando incluso a perjudicar su ahorro si no se gestionan adecuadamente. La compra impulsiva, motivada por una supuesta oportunidad, puede acarrear gastos innecesarios y desequilibrar el presupuesto del comprador.

Las matemáticas juegan un papel fundamental a la hora de hacer la compra de manera inteligente: desde el cálculo de precios unitarios, para determinar la opción más económica, pasando por el análisis de porcentajes de descuento con el fin de evaluar su relevancia económica, hasta la estimación de gastos antes de llegar a la caja.

Ser consciente de estos aspectos y desarrollar habilidades matemáticas básicas nos permite tomar decisiones más responsables y evitar ser manipulados por estrategias de marketing engañosas. "Comprender las cifras nos ayuda a comprender la realidad y a tomar decisiones más informadas” (Quirós, 2011)

El término anumerismo fue popularizado en 1988 por el matemático John Allen Paulos en su ensayo *El hombre anumérico.* Entendido como “la incapacidad en diversos grados para desenvolvernos en el universo de las cifras” (Marín, 2011), el anumerismo puede llevar a errores de interpretación, por esto, es imprescindible tener un conocimiento básico en matemáticas.

El anumerismo es una realidad ampliamente extendida; ejemplos de ello son frases corrientes como “he comprado una casa de 90 metros” o “le voy a dar un giro de 360º a mi vida”.

Existe una propensión a aceptar con indulgencia la falta de habilidades numéricas básicas, justificándolo con el dicho "soy de letras", sin embargo, esta actitud revela una peligrosa desconexión con la realidad, ya que el desconocimiento de los números nos convierte en ciudadanos más manipulables

Por ello, la presente investigación va a tener los siguientes objetivos: en primer lugar, comparar la política de ofertas que nos proporcionan las grandes superficies y contrastarlo con la información de pequeños supermercados y, posteriormente, determinar el comportamiento de un consumidor medio respecto a las ofertas. Como objetivos secundarios, pretendemos analizar en qué medida el anumerismo impide que los consumidores identifiquen si una oferta representa un ahorro real o si, por el contrario, basan su decisión en la intuición y el marketing visual; y, además, analizar las consecuencias que se pueden derivar de ello. En este sentido, se va a intentar comprender la influencia de las matemáticas en nuestra vida diaria, en particular en las decisiones a la hora de encarar las estrategias promocionales de los supermercados.

Esta investigación se ha realizado desde una metodología descriptiva mediante observación. Se llevó a cabo una entrevista a dos expertos en el sector (gerente de un supermercado y autónomo) para recabar información derivada de la experiencia profesional y se recopiló, mediante una encuesta a una muestra de las familias del alumnado, datos relativos a sus hábitos de consumo, para cuyo tratamiento se utilizó

una hoja de cálculo. Así mismo, se analizó matemáticamente diferentes ofertas recogidas en diversos supermercados para extraer conclusiones.

2. Antecedentes

Entre los estudios previos relacionados con el objeto de nuestra investigación cabe mencionar los siguientes:

- Investigaciones sobre las preferencias del consumidor (Clemente, 2022):

"Mercadona es el supermercado preferido en general por su distribución y ambiente, mientras que Carrefour destaca en promociones/precios". Este supermercado lidera la preferencia del consumidor español gracias a su precio, trato, calidad percibida, buena distribución y ambiente agradable, a pesar de usar menos promociones explícitas que otros supermercados.

- Trabajos sobre las marcas de distribuidor Medina et al. (2002); (Fernández y Martínez, 2004).

En este estudio se menciona que los productos eran considerados inferiores y de calidad baja, pero que "poco a poco esta mentalidad ha ido cambiando y, actualmente, el consumidor valora positivamente las marcas de distribuidor y considera que tienen una calidad similar a la de las marcas líderes de la categoría, pero con un precio sensiblemente inferior.

- Investigaciones sobre las motivaciones para cambiar de supermercado (Pérez, 2022)

Sobre una muestra de 398 personas de Venezuela, el 81% de los consumidores se cambiaría de supermercado si este presenta precios elevados.

- Trabajos sobre el comportamiento del consumidor ante las ofertas (Salinas y Gutiérrez, s. f.):

Los consumidores más inclinados a adquirir productos con precios promocionales son aquellos para quienes el precio es un factor determinante en sus decisiones de compra. Las promociones actúan como un gancho para atraer la atención e impulsar las ventas, y su eficacia radica en identificar la propensión al ahorro de los compradores; la preocupación por los precios está intrínsecamente ligada a este beneficio económico.

Las mujeres muestran una mayor propensión que los hombres a comprar productos con precios promocionales, una posible explicación es que todavía asumen una mayor responsabilidad en la gestión del hogar y la optimización del presupuesto familiar. En segundo lugar, las personas con un nivel de ingresos bajo son significativamente más proclives a adquirir ofertas. Finalmente, los consumidores con menor nivel de formación, como aquellos sin estudios o con estudios primarios, tienden a comprar más productos en oferta que aquellos con formación secundaria o superior. Esto podría relacionarse con el hecho de que una menor formación suele asociarse a menores ingresos, lo que a su vez aumenta la sensibilidad al precio.

3. Objetivos de la investigación

En el presente trabajo de investigación nos proponemos estudiar los tipos de consumidores, el análisis de ofertas y la comparación de precios de productos alimentarios.

Nos planteamos los siguientes objetivos:

- Comparar la política de ofertas que nos proporcionan las grandes superficies y contrastarlo con la información de los pequeños supermercados.
- Determinar el comportamiento de un consumidor medio respecto a las ofertas

4. Materiales y métodos

4.1. Enfoque metodológico

Estamos ante una investigación de campo, de carácter descriptivo, mediante la observación y registro de los datos obtenidos a través de una encuesta, que tiene como finalidad básica el describir y analizar los tipos de consumidores. Se trata de una investigación no experimental, dado que no requiere

la modificación de las variables, cuyo enfoque, es principalmente cuantitativo, ya que busca recopilar datos numéricos para realizar análisis estadísticos.

4.2. Diseño de la experiencia

4.2.1. Entrevista a expertos

Con el fin de establecer las líneas de investigación, se redactó una carta de presentación dirigida a un total de tres encargados de supermercado, solicitando su colaboración, obteniéndose como resultado dos respuestas afirmativas, por parte de Dña. Vanesa Jiménez (encargada del supermercado Lidl) y de D. Alberto Morales (autónomo, tienda de ultramarinos El Pencho). Fruto de las entrevistas realizadas, derivada de su experiencia profesional y recomendaciones, se acotaron los aspectos clave que dirigirían este trabajo (Anexo I).

4.2.2. Diseño de la encuesta

Se creó una encuesta, estructurada en cinco secciones, que constaba de preguntas mayoritariamente cerradas, aunque con presencia también de abiertas y semiabiertas.

En un primer bloque se preguntaba acerca del género, edad, la ocupación, el número de miembros que componían el hogar y el gasto promedio de la cesta básica.

En un segundo bloque, se presentaban preguntas sobre hábitos y preferencia de compra, se preguntó la frecuencia de compra, los puntos de venta de compra y el criterio de elección de su establecimiento habitual.

En un tercer bloque, se hizo preguntas sobre promociones y ofertas, para establecer el tipo de ofertas que compraban los consumidores, en qué productos las buscaban más y en qué medida influían en los consumidores.

En un cuarto bloque se indagó acerca de la preferencia de marca, marca blanca o de fabricante. Se preguntó en que productos compraban cada una de estas marcas.

En un quinto bloque se sondeó la experiencia en tienda y el marketing sensorial para ver qué aspectos influían a la hora de hacer la compra.

Tras su elaboración se realizó una prueba preliminar de la misma, enviándola a una selección de individuos, con el fin de depurar el cuestionario, detectando y subsanando errores de escritura, o de interpretación de los enunciados, procediéndose a la modificación de la encuesta de las preguntas afectadas, además de la inclusión o retirada de otras, obteniéndose así la encuesta definitiva (Anexo II).

4.2.3. Recopilación de la información

En previsión de que hubiera un número insuficiente de respuestas para obtener conclusiones válidas se decidió enviar la encuesta al censo formado por las familias y el profesorado del centro. Esto nos permitió obtener un número suficiente de unidades de análisis de la población objetivo y se procedió a su estudio.

Finalmente, los datos recolectados se tabularon y analizaron mediante el software Google Sheets y posteriormente se realizaron los gráficos pertinentes para la presentación de los resultados.

5. Representación y análisis de los datos obtenidos

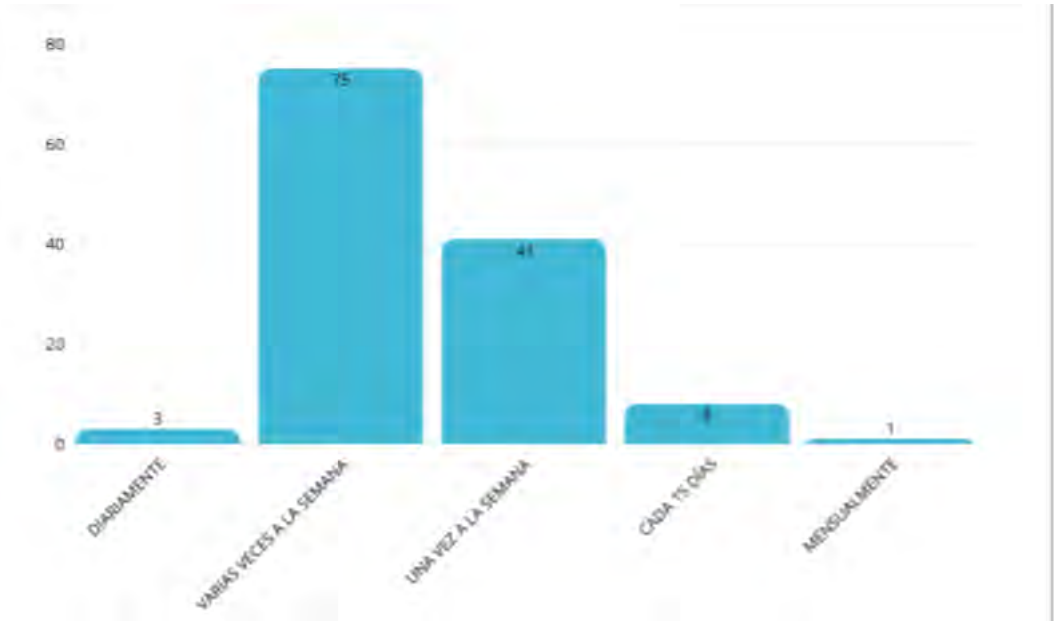
En este estudio se investigó las preferencias de compra y el comportamiento de los consumidores, centrándose especialmente en cómo las promociones influyen en la toma de decisiones y en analizar sus preferencias en cuanto a establecimientos, marcas e influencia del marketing. Se realizó una encuesta al profesorado y a las familias para evaluar la frecuencia de compra, el gasto semanal y la respuesta ante estímulos sensoriales en los establecimientos, obteniendo un total de 128 respuestas.

Los resultados mostraron la existencia de una tendencia al control del gasto, con un 80,28% de los encuestados situando su presupuesto semanal entre 51€ y 250€ (Tabla 1). Sin embargo, la frecuencia de compra fue elevada, ya que el 58,59% acude al supermercado varias veces por semana (Gráfica 1).

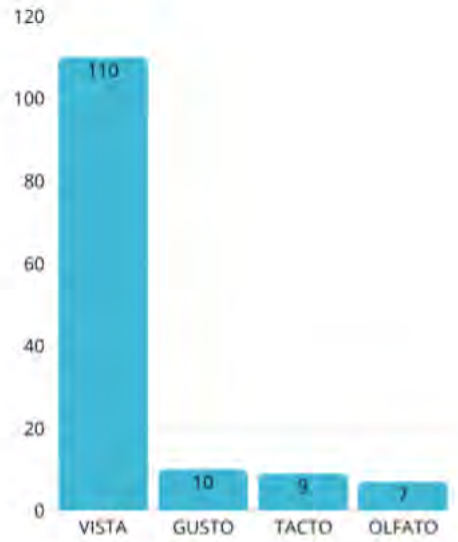
Además, se observó una fuerte vulnerabilidad al entorno: el 80,88% de las decisiones se vieron condicionadas por la vista, la cartelería y la disposición de productos (Gráfica 2 y Gráfica 3).

Número de miembros				
Gasto semanal	1 o 2	3 o 4	5 o más	TOTAL
Menos de 50€	1	0	0	1
Entre 51 y 100€	8	17	3	28
Entre 101 y 150€	5	29	5	39
Entre 151 y 200€	0	21	4	25
Entre 201 y 250€	0	16	5	21
Entre 251 y 300€	1	3	1	5
Más de 300€	1	7	1	9
TOTAL	16	93	19	128

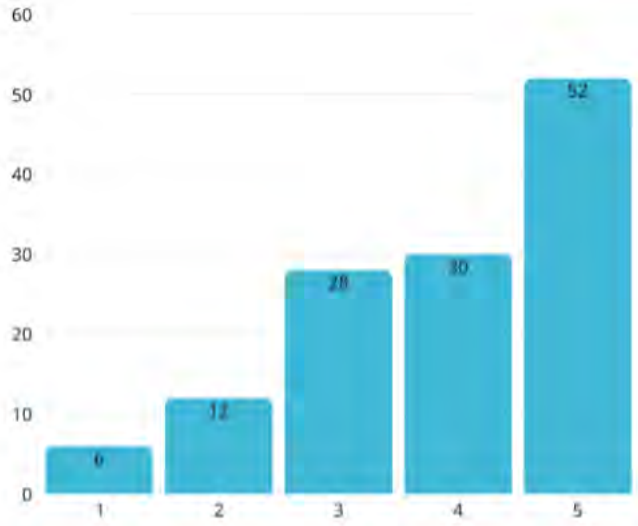
Tabla 1. Gasto promedio por nº de miembros del hogar. Elaboración propia.



Gráfica 1. Frecuencia de compra. Elaboración propia.

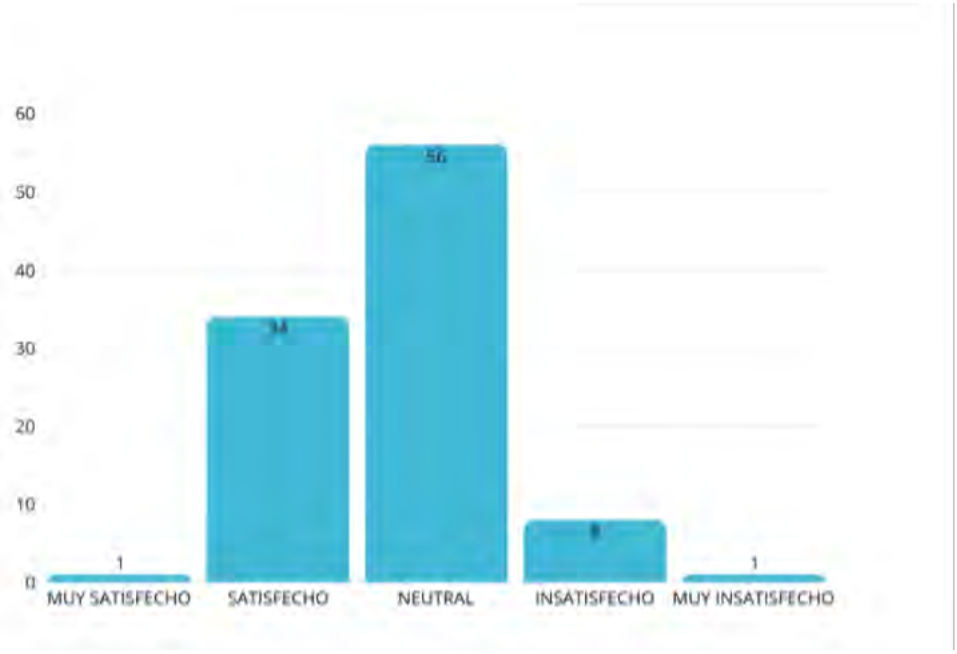


Gráfica 2. Influencia de los sentidos en la decisión de compra. Elaboración propia.

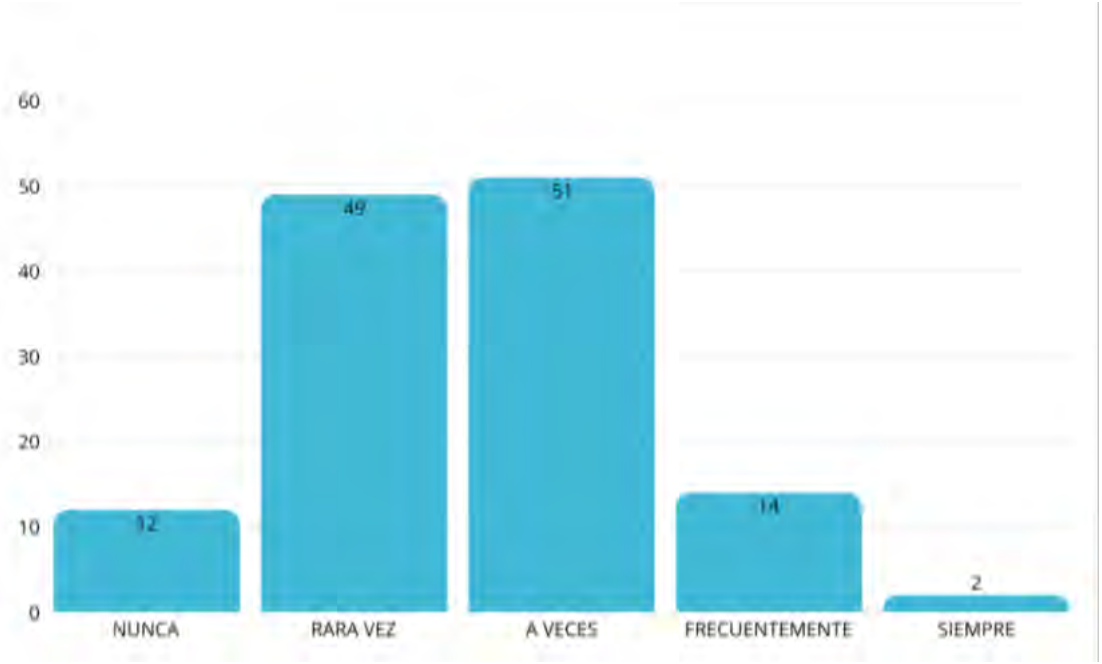


Gráfica 3. Colocación estratégica de los productos. Elaboración propia.

Este hallazgo puede explicarse por lo que se ha denominado como "el espejismo del ahorro", entendido como el hecho de que muchas promociones no representen un ahorro real cuando se comparan con otros establecimientos sin oferta. Aunque los consumidores busquen optimizar su presupuesto ante la inflación, la alta frecuencia de visitas al punto de venta los expone constantemente a ganchos promocionales. Existe una clara contradicción: los usuarios se sintieron atraídos por el marketing visual —especialmente por el uso de colores rojos y amarillos o precios acabados en .99—, pero el 65% declararon no estar satisfecho con las ofertas de su supermercado (Gráfica 4) y percibieron que estas rara vez permitían un ahorro real en la cuenta final (Gráfica 5).

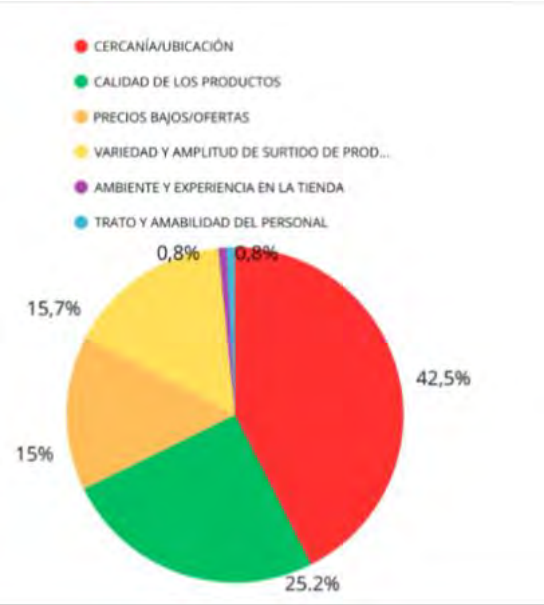


Gráfica 4. Grado de satisfacción con las ofertas y novedades del supermercado. Elaboración propia.



Gráfica 5. ¿Permiten las promociones que ahorre usted dinero?. Elaboración propia.

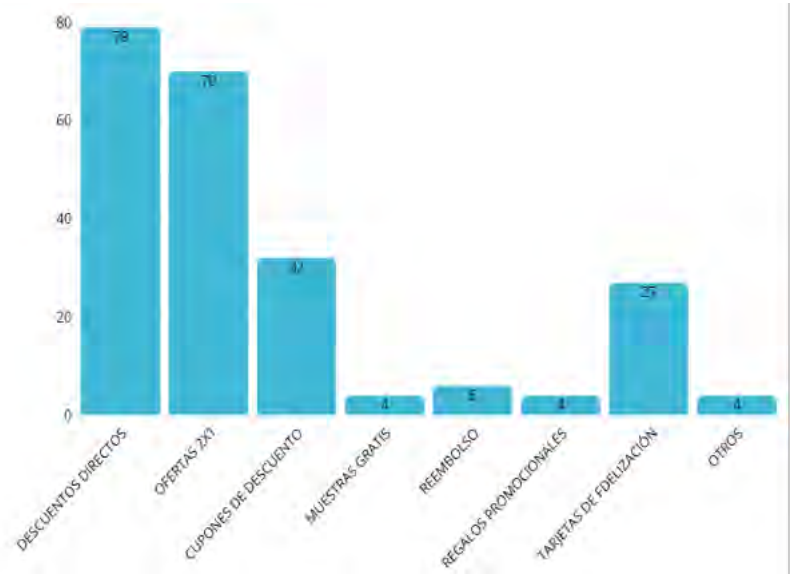
Estos resultados concuerdan con el estudio (Pérez Ríos, 2022), el cual describe a un consumidor que controla el gasto y prefiere la cercanía/ubicación; factor clave para el 42,5% de los encuestados (Gráfica 6). También se observa una coincidencia con el estudio (Fernández y Martínez, 2004) al validar la "compra inteligente", donde la elección entre marca blanca o de fabricante depende del producto y se basa primordialmente en la calidad percibida (Tabla 2). Asimismo, los datos confirman la teoría del trabajo (Clemente, 2022) sobre las ofertas como "gancho", siendo el descuento directo (62,2%) y el 2x1 (55,12%) las herramientas más influyentes (Gráfica 7).



Gráfica 6. Criterio para la elección de supermercado. Elaboración propia.

Preferencia de marca					
Razón principal	Depende del producto	Marcas de distribuidor	Marcas de fabricante	No compro	TOTAL
Calidad percibida	33	2	12	1	48
Confianza/Fiabilidad	16	3	6	1	26
Disponibilidad	2	1	0	1	4
Experiencia previa	15	4	1	0	20
Precio	13	9	0	3	25
Variedad de opciones	1	0	0	2	3
TOTAL	80	19	19	8	126

Tabla 2. Razón por la preferencia de marca. Elaboración propia.

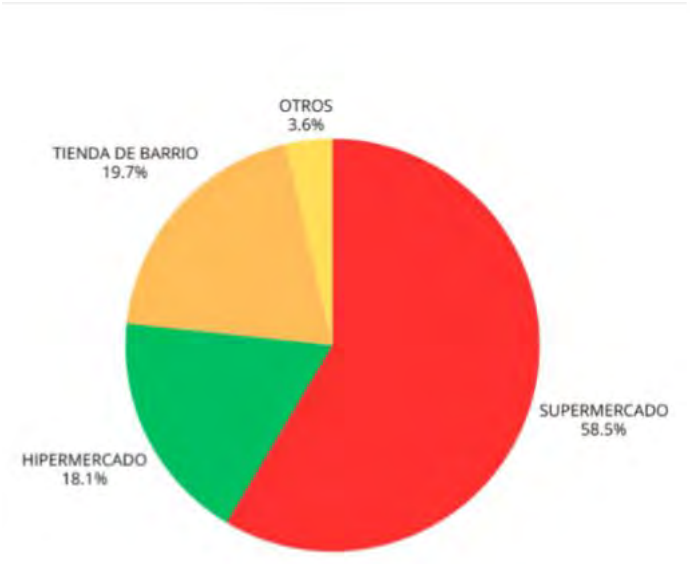


Gráfica 7. Promociones más elegidas. Elaboración propia.

Al aplicar la clasificación de consumidores de Pérez (2022) a los resultados, se identificaron los siguientes perfiles en la muestra:

- Socioentusiastas: Aquellos que se guían por las ofertas (el 39,84% muy influido en los datos obtenidos).
- Busca-promociones: Identificados con el grupo mayoritario que elige marca blanca o de fabricante según el producto para maximizar la relación calidad-precio.
- Promoindependientes: Representados por el 21,87% de los encuestados que declaran no estar condicionados por las promociones.

Sin embargo, los datos obtenidos difieren de lo expuesto en dichos estudios, donde se describe a un cliente que realiza una comparación de precios activa y prefiere las tiendas de barrio. En este estudio, la elección del supermercado predominó claramente (58,5%) frente a la tienda de barrio (19,7%) (Gráfica 8)



Gráfica 8. Establecimiento habitual. Elaboración propia.

Para el análisis de las ofertas, se calculó el índice de ahorro de cada producto mediante el siguiente proceso:

En primer lugar, se calculó el precio unitario de los productos con oferta y sin oferta respectivamente, dividiéndose el desembolso requerido entre la cantidad adquirida (Tabla 4)

Espirales 500g **Oferta 3X2**	Precio sin oferta: 0.79€ Precio con oferta: 0,53€	Precio unitario sin oferta: 0.79/500 = 0.00158€ Precio unitario con oferta: 0.53/500= 0.0010€

Tabla 4. Cálculo del precio unitario. Elaboración propia.

Posteriormente, se calculó el porcentaje de descuento esperado y el aplicado respectivamente. El descuento aplicado se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$Descuento\ aplicado = \left(1 - \frac{\text{Pr}\,e\,cio\ unitario\ con\ oferta}{\text{Pr}\,e\,cio\ unitario\ \text{sin}\quad oferta}\right) \cdot 100$$

De tal forma que:

$$Descuento\ esperado = \left(1 - \frac{2}{3}\right) \cdot 100 = 33\%$$

$$Descuento\ aplicado = \left(1 - \frac{0.0010}{0.00158}\right) \cdot 100 = 37.5\%$$

A continuación, se procedió a calcular el índice de ahorro mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Í}ndice\ de\ ahorro = \frac{descuento\ aplicado}{descuento\ esperado}$$

De tal forma que resulta:

$$I = \frac{0.375}{0.333} = 1.12$$

Finalmente, se interpretaron los índices de ahorro. Un índice de ahorro negativo significa que el producto ofertado tiene un precio superior al del supermercado, por lo que no existe oferta. Si el resultado estaba entre 0 y 1 el producto era más económico sin oferta, siendo el beneficio obtenido inferior al esperado en otro supermercado. Si el índice es superior a 1, la oferta era más rentable de lo esperado, aunque en muchos casos el desembolso inicial era importante (Anexo III).

Tras analizar las ofertas seleccionadas, se observó un claro predominio del tipo 3x2, complementado por descuentos directos del 50% y del 70%, además de superprecios. Si bien el descuento teórico del 33,33% se cumplía formalmente, la ventaja real para el bolsillo del consumidor variaba ampliamente según el producto elegido. Esta modalidad promocional, utilizada para liberar stock acumulado de forma rápida y asegurar la venta de productos que no se venden de forma deseada o tienen una fecha de caducidad próxima, se observó un compromiso financiero importante, ya que exige un desembolso inicial significativo que, como mínimo, duplica el gasto previsto. Por el contrario, las ofertas de descuento directo resultaron mucho más eficientes y atractivas; estas no solo ofrecieron un ahorro porcentual mayor, sino que permitieron al consumidor notar el alivio económico de inmediato sin necesidad de gastar tanto dinero de golpe.

Se observó que la efectividad de estas promociones fue muy irregular. En 14 productos (el 47%) la oferta fue realmente superior a la esperada, lo que se tradujo en un precio final por unidad mucho más bajo que en cualquier otro supermercado. Además, en 5 de estos casos el precio final que se pagó por unidad fue exactamente el mismo que se encontró en otro supermercado, lo que obligaría al consumidor a acumular producto. Sin embargo, en 16 productos (el 53%) el descuento fue menor a lo esperado, lo

que significó que la rebaja fue tan pequeña que apenas se percibió tras haber realizado el gran desembolso inicial. De hecho, se detectaron 3 de estos productos que no representaron una oferta real ni supusieron beneficio alguno.

En conclusión, más allá del precio, el consumidor debería realizar un análisis crítico antes de comprar, evaluando la capacidad de almacenamiento, la caducidad del producto (sobre todo en productos perecederos) y si la necesidad real justifica el gasto extra inmediato.

Descuento real				
Tipo de oferta	Superior o igual	Inferior	No hay	TOTAL
Ofertas 3X2	12	11	1	24
Descuentos directos	2	1	0	3
Superprecios	0	1	2	3
TOTAL	14	13	3	30

Tabla 3. Descuento real de las ofertas estudiadas. Elaboración propia

El análisis presentó otras limitaciones fundamentales que deben ser consideradas para la interpretación de los resultados: el listado de productos evaluados no fue exhaustivo. Al centrarse en una selección específica de ofertas, los resultados obtenidos representaron una tendencia observada en categorías concretas, pero no pretendieron abarcar la totalidad de las referencias disponibles en los establecimientos. Por otra parte, el estudio careció de un carácter longitudinal por lo que no fue posible observar la evolución de los precios o la recurrencia de las ofertas a lo largo del tiempo, lo que limitó la capacidad de detectar patrones estacionales o cambios en las estrategias comerciales de largo plazo.

A pesar de ello, los datos indican que las ofertas solo son interesantes si el consumidor realiza una comparación activa; de lo contrario, el beneficio por unidad se ve neutralizado por el aumento del gasto inicial o el volumen innecesario de producto.

Estos resultados implican que el consumidor actual sabe que las ofertas no siempre ahorran dinero, pero su comportamiento sigue condicionado por el marketing sensorial y la ubicación estratégica de los productos. Esto sugiere la necesidad de una mayor educación financiera para evitar caer en ganchos comerciales que merman el ahorro real.

Como futuras líneas de investigación se propone extender el análisis a otros grupos etarios y realizar un estudio que compare el ticket final de compra de una cesta básica entre establecimientos con políticas de promoción agresiva y aquellos con una estrategia de precios estables. Esto permitiría contrastar si el ahorro percibido por el consumidor se corresponde con el ahorro real a largo plazo.

6. Conclusiones

La investigación permitió identificar que el 47% de los productos analizados bajo promociones (especialmente 3x2) en grandes superficies presentan un ahorro real frente a otros establecimientos. Sin embargo, se descubrió que en un 53% de los casos, la oferta no supone ninguna ventaja económica o incluso resulta en un precio superior al de la competencia.

Se cumplió el objetivo de contrastar la información entre establecimientos, evidenciando que las grandes superficies utilizan formatos como el 3x2 para generar precios por unidad más competitivos en artículos no perecederos.

Se determinó que el factor principal de elección del supermercado es la cercanía (42,5%), por encima del precio o las ofertas mismas.

La investigación confirma la presencia del anumerismo en las decisiones de compra, ya que los consumidores a menudo perciben un ahorro mayor al real por no realizar el cálculo del precio por unidad de medida.

Se evidencia un claro predominio del supermercado (58,5%) frente a la tienda de barrio (19,7%) como punto de compra principal. Los resultados revelan una desconexión entre la percepción de oferta y el ahorro real. Mientras que el 80,88% de los encuestados admite que su decisión de compra está condicionada por la cartelería y disposición de productos, el 65% declara no estar satisfecho con las ofertas recibidas. Esto implica que las estrategias de marketing (como el uso de colores amarillo y rojo o precios acabados en .99) son altamente efectivas para captar la atención, pero fallan en generar una satisfacción real de ahorro en el cliente.

Se demuestra que el ahorro efectivo en la cesta de la compra no depende únicamente de la existencia de promociones, sino de la capacidad analítica del consumidor para discernir entre oportunidades reales y estrategias de volumen. La importancia de este resultado radica en la necesidad de fomentar la educación financiera y matemática desde etapas tempranas para evitar el anumerismo y promover un consumo responsable.

El hecho de que los encuestados pertenezcan a un entorno similar se manifiesta como la limitación más significativa, pues no se puede generalizar los resultados a la totalidad de la población española. Por otro lado, la recogida de ofertas, se realizó en un momento concreto. Lo que significa que los datos pueden variar según el periodo en el que se recojan.

La investigación se centró en 30 productos de la cesta básica. Aunque incluye categorías variadas, no abarca la totalidad de productos que componen una dieta o cesta de hogar completa. Esto limita la capacidad de concluir si el ahorro del 47% detectado en las ofertas se mantiene constante en secciones como frescos (carnicería, pescadería), donde el precio por kilo cambia semanalmente.

7. Agradecimientos

Por último, quisiera agradecer a mi tutora del proyecto, Ana Belén Megías, por la paciencia que ha tenido, a mis profesores de investigación: Pablo Muñoz Muñoz y Mari Carmen Meseguer; y en general, a todos los profesores por la comprensión y el apoyo que me han dado.

8. Referencias

Abril-Flores, J. F., Zurita-Altamirano, J. C., Ramos-Guevara, J. E., y Albán-Bautista, M. L. (2019). La influencia del Merchandising en el punto de venta: Caso práctico Supermercados "Mi Caserita". *Polo del Conocimiento*, *4*(5), 323-337. https://doi.org/10.23857/pc.v4i5.988

Acevedo López, M. I., y Mercado Jaramillo, M. I. (2019). *Trade marketing para el comercio* [Trabajo de fin de grado, Universidad Icesi]. Biblioteca Digital Universidad Icesi. https://repository.icesi.edu.co/biblioteca_digital/handle/10906/85375

Alcaraz Flores, M. P. y Medina Zavala, C. (2018). *Ventanas a la divulgación científica: miradas desde el diseño, la comunicación y las artes.* Universidad Autónoma de Baja California. http://arquitectura.mxl.uabc.mx/publicaciones/ventanas.pdf#page=96

Buil Carrasco, I., Martínez Salinas, E., y Montaner Gutiérrez, T. (2007). El comportamiento del consumidor ante la promoción de ventas y la marca de distribuidor. *Universia Business Review, 22*, 22-34. https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2480474.pdf.

Clemente Martín, M. del M. (2022). *La experiencia de compra en los supermercados*. [Trabajo fin de grado, Universidad de Almería]. Repositorio Institucional de la Universidad de Almería https://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/14893/CLEMENTE%20MARTIN%2C%20MARIA%20DEL%20MAR.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Corrales, A. y Hornillos, O. (2024). *La distribución alimentaria en España*. Savils https://pdf.euro.savills.co.uk/spain/nat-esp-2024/2024-07-boletin-alimentacion-esp.pdf

Fernández, A. y Martínez, E. (2004). *Las marcas de distribuidor y el consumidor español: un estudio empírico*. Distribución y Consumo, p. 12-25. https://www.mercasa.es/wp-content/uploads/2022/10/marcas_distribuidor.pdf

Flores-Rueda, I. C., Sánchez-Macías, A., Peñalosa-Otero, M. E. y Cheverría-Rivera S. (2024). ¿Eres lo que pagas? Análisis de conocimiento de precios y perfiles de consumidores. *Retos Revista de Ciencias de la Administración y Economía, 14(27)*, 69-83. https://doi.org/10.17163/ret.n27.2024.05

García, F. (2017). *Tendencias en la distribución 2017*. Kantar Worldpanel. https://share.google/WKoPGIb2b1RGkNzJT

Guillén Diaz, C. (2019). *Estudio de la oferta de productos de marca de distribuidor y de fabricante en los establecimientos comerciales* [Trabajo Fin de Grado, Universidad de Zaragoza]. ZAGUAN Repositorio Institucional de Documentos https://zaguan.unizar.es/record/85739

Marín, B. (2011). El "anumerismo" también es incultura. *El País*. https://elpais.com/diario/2011/04/06/sociedad/1302040801_850215.html

Mesa, J. (2025). Mercadona roza el 27% de cuota de mercado y comparte con Grupo Ifa el mayor crecimiento en 2024. *El Economista.* https://www.eleconomista.es/retailconsumo/noticias/13218884/02/25/mercadona-roza-el-27-de-cuota-de-mercado-y-comparte-con-grupo-ifa-el-mayor-crecimiento-en-2024.html

Ministerio de Industria, Comercio y Turismo. (2018). *Tendencias del consumidor español: Resumen de resultados*. Secretaría de Estado de Comercio. https://comercio.gob.es/ComercioInterior/Actuaciones_competitividad/Estudios/CI_20_TendenciasConsumidor.pdf

Ocando, A., y Bracho, J. (2012). Estrategias promocionales aplicadas por los supermercados para fidelizar clientes. *Centro de Investigación de Ciencias Administrativas y Gerenciales*, 10 (1), 202-220. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5028141

Oña Serrano, A. X., Mejia Guzmán, K. H., Toledo Rivadeneira, L. I., y Morales Vaca, M. J. (2019). Estudio exploratorio de estrategia de descuento que utilizan las principales cadenas de supermercados del Ecuador para persuadir el consumo de alimentos. *UDA AKADEM, (4)*, 137–156. https://revistas.uazuay.edu.ec/index.php/udaakadem/article/view/240/319

Paz, L. (2025). Más de 50.000 locales de comercio minorista han cerrado desde la pandemia, mientras el consumo electrónico se ha disparado. *El País.* https://elpais.com/economia/2025-07-30/mas-de-50000-locales-de-comercio-minorista-han-cerrado-desde-la-pandemia-mientras-el-consumo-electronico-se-ha-disparado.html

Pérez Ríos, W. E. (2022). *Estrategias promocionales de los supermercados en la ciudad de Cartagena: efectos en el comportamiento del consumidor de estratos medios.* [Trabajo fin de grado, Universidad de Cartagena]. Repositorio Digital de la Universidad de Cartagena. https://repositorio.unicartagena.edu.co/entities/publication/ecfcaf99-5136-472f-b3ed-209acc9bb358

Romera, J. (2024). Mercadona, Carrefour y Lidl acaparan ya el 43% de cuota en la distribución española. *El Economista.* https://www.eleconomista.es/retail-consumo/noticias/12755028/04/24/mercadona-carrefour-y-lidl-acaparan-ya-el-43-de-cuota-en-la-distribucion-espanola.html

Romera, J. (2025). Carrefour y Alcampo sufren el declive de los hipermercados frente a Mercadona y Lidl: sus ventas caen en España. *El Economista*. https://www.eleconomista.es/retail-consumo/noticias/13280653/03/25/carrefour-y-alcampo-sufren-el-declive-de-los-hipermercados-frente-a-mercadona-y-lidl-sus-ventas-caen-en-espana.html

Rosa Díaz, I. M., y Villarejo Ramos, Á. F. (2007). Comportamiento del consumidor ante los precios promocionales: Una experiencia empírica en J. C. Ayala Calvo & Grupo de investigación FEDRA (Eds.), *Conocimiento, innovación y emprendedores: Camino al futuro* (pp. 2174-2186). Universidad de Sevilla. https://idus.us.es/items/f711d23c-c98b-4857-987f-8bbb5ba44956

Salinas, E. M., y Gutiérrez, T. M. (s. f.). Caracterización de los compradores de marca de distribuidor. DIalnet. https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2486874.pdf

Serrano Vigil, F. (2023). *El declive del hipermercado en España y el ascenso del supermercado de proximidad*. [Trabajo Fin de Grado, Universidad de Valladolid]. UVaDOC. https://uvadoc.uva.es/handle/10324/63736

Zirar Benjana, F. (2022). *Plan de marketing para la empresa española Mercadona.* [Trabajo Fin de Grado, Universidad Miguel Hernández de Elche]. Repositorio RediUMH https://dspace.umh.es/bitstream/11000/28053/1/TFGZirar%20Benjana%2C%20Fadoua.pdf

IES
Ramón y Cajal
Murcia

Título del trabajo:

Cazadores de lo invisible. Detección de partículas fundamentales mediante la construcción de una cámara de niebla

Nombre del autor: **Gloria Domínguez Muñoz**

Tutor: **Bruno Martiz Liza**

Centro educativo: **IES Ramón y Cajal**

Curso académico: **2º Bachillerato**

ÍNDICE

Resumen **3**
1. Introducción **3**
2. Antecedentes, estado de la cuestión e investigaciones previas **3**
2.1. Modelo estándar de partículas 3
2.1.1. Fermiones y bosones 3
2.1.2. Interacciones Fundamentales 4
2.2 Fondo radiactivo 4
2.3 La cámara de niebla de Wilson 4
2.4. Estudios anteriores 5
3. Objetivos **5**
4. Materiales y metodología **5**
4.1. Materiales 5
4.2 Procedimiento experimental 5
5. Análisis y discusión de los resultados **6**
5.1 Clasificación de partículas 6
6. Conclusiones **7**
7. Agradecimientos **7**
8. Bibliografía **8**
9. Anexos **9**

Resumen

El presente trabajo de investigación se centró en la construcción de una cámara de niebla y en la identificación y posterior clasificación de las posibles trazas detectadas procedentes del fondo radiactivo, para así confirmar su existencia como se describe en el Modelo Estándar de la física de partículas. La investigación adoptó un enfoque experimental-descriptivo-interpretativo basado en la observación de partículas mediante la construcción de una cámara de niebla casera, que permitió visualizar trayectorias por condensación del vapor sobresaturado al incidir partículas ionizantes. Para construir la cámara de niebla, se siguió un procedimiento sistemático de montaje, sellado y enfriamiento. Los materiales empleados incluyeron una pecera de vidrio, una placa metálica, bandas de fieltro impregnadas en isopropanol, hielo seco, una pieza de granito como fuente radiactiva natural, material aislante y una linterna de luz neutra. Tras alcanzar la temperatura adecuada, se registraron en un vídeo las trayectorias observadas. El análisis de resultados permitió identificar trazas atribuibles a partículas alfa, beta (electrones), muones, protones y eventos asociados a la creación de pares electrón-positrón y el decaimiento de un muón.

1. Introducción

La física de partículas surge de la curiosidad por comprender la materia en su nivel más fundamental, y ha permitido avances clave en nuestra comprensión del universo. Más allá de la teoría, sus aplicaciones tienen un impacto directo en la vida cotidiana. Un ejemplo destacado es la medicina: gracias al conocimiento del mundo cuántico, hoy contamos con herramientas como las técnicas de radiodiagnóstico como el PET-TAC o con tratamientos oncológicos con partículas pesadas, que han beneficiado a más de 100.000 pacientes enfermos de cáncer . De igual manera, la física de partículas también ha sido fundamental en el desarrollo de ordenadores que prometen resolver en segundos problemas que cualquier ordenador clásico tardaría miles de años. Incluso se aplican técnicas basadas en física de partículas para mejorar la eficiencia de paneles solares (CPAN, s.f.). Por dichas razones, el presente trabajo tiene como objetivo esclarecer de qué está hecha la materia, ofreciendo una demostración experimental de la existencia de partículas fundamentales que forman todo lo que nos rodea.

2. Antecedentes, estado de la cuestión e investigaciones previas

2.1. Modelo estándar de partículas

El modelo estándar de partículas es una teoría que identifica las partículas fundamentales que conforman la materia y explica cómo interactúan entre ellas (Moreira, 2009).

2.1.1. Fermiones y bosones

Todas las partículas presentes en el universo se dividen en fermiones y bosones (figura 1):

- **Fermiones**. Comprenden quarks y leptones. Por un lado, existen 6 tipos o también llamados sabores de quarks, como bien se puede observar en la figura 1 (up, down, charm, strange, top y bottom). Junto con sus correspondientes antipartículas, cuyas características sólo difieren de las partículas de materia en una propiedad (carga eléctrica, espín…), suman 12 quarks. En añadido, considerando una propiedad de los quarks llamada carga color con tres variantes (rojo, verde y azul), se concluye con una suma de 36 sabores de quark (Musser, 2008). Los quarks nunca se encuentran en la naturaleza de manera independiente, sino que se unen formando hadrones. Estos a su vez se dividen en bariones y mesones. Los bariones se componen de 3 quarks o 3 antiquarks: el protón (formado por dos quarks up y uno down), el neutrón (compuesto por dos quarks down y uno up) y sus opuestos, antiprotón y antineutrón. La estructura interna de los mesones es siempre de un quark y un antiquark. Se dividen en piones, mesones y kaones.

Por otro lado, existen 12 sabores o tipos de leptones: 6 de materia (electrón, neutrino del electrón, muón, neutrino del muón, tauón y neutrino del tauón) y sus correspondientes en antimateria (figura 1).

- **Bosones.** Son las partículas mediadoras de las cuatro interacciones fundamentales que dan lugar a todo lo que conocemos. Estos son: fotón, bosones W^+ , W^- y Z^0, gluón y gravitón (CPAN, s.f.)

Todos los fermiones se clasifican a su vez en 3 generaciones, diferenciándose únicamente por su masa y estabilidad. La primera generación, con las partículas más ligeras, engloba toda la materia estable;

se corresponden con las primeras columnas de materia y antimateria de la figura 1. La segunda, con partículas más pesadas, La tercera generación incluye las partículas más pesadas: el quark top, el quark bottom, el tau y el neutrino tau. Las partículas de la segunda y tercera generación tienen un tiempo de vida muy corto, son inestables, ya que rápidamente decaen en partículas de la primera generación (CPAN, s.f.).

2.1.2. Interacciones Fundamentales

Las partículas interactúan entre sí de diferentes formas para dar lugar a todo lo existente en el universo. Las cuatro interacciones fundamentales del Modelo Estándar se definen como "fundamentales" dado que todas las demás interacciones entre partículas pueden explicarse sobre la base de estas:

-
- La interacción gravitatoria es la que atrae a los objetos con masa hacia el centro de la Tierra y tiene alcance infinito. Debido a que es la interacción más débil, experimentalmente, la partícula mediadora de esta fuerza, el gravitón, no ha sido aún detectada (Cobián, 2018).

- La interacción electromagnética actúa entre partículas con carga eléctrica y puede ser una fuerza de atracción o repulsión. Une átomos y moléculas. Es mediada por el fotón, más fuerte que la gravitacional y tiene alcance infinito, pero pierde intensidad con la distancia (Ordiales-Plaza, 2007).

- Las interacciones nucleares débil y fuerte ocurren a nivel subatómico, por lo que ambas tienen un alcance muy corto y cobran más importancia a esas distancias (Vidal y Sánchez, 2023). La fuerza nuclear débil es la causa del cambio de sabor de las partículas elementales, es menos fuerte que la electromagnética o la nuclear fuerte, pero a nivel subatómico es más intensa que la gravitacional. Sus partículas mediadoras son los bosones W^+, W^- y Z^0 (Cobián, 2018).

En cuanto a la fuerza nuclear fuerte, entra en juego para impedir que la electromagnética separe los protones del núcleo atómico al tener cargas iguales. También mantiene unidos los quarks formando hadrones. Su partícula de intercambio es el gluón (Musser, 2008).

2.2 Fondo radiactivo

El fondo radiactivo es un elemento clave en la detección de partículas, ya que inició la necesidad del desarrollo de dispositivos como la cámara de niebla. Continuamente somos atravesados por partículas que provienen de la radiación de cuerpos del espacio o de la desintegración natural de materiales terrestres. Los rayos cósmicos primarios, mayoritariamente protones de alta energía, interactúan con la atmósfera generando rayos secundarios que alcanzan la superficie terrestre. Por otro lado, la radiación terrestre proviene de la desintegración de elementos pesados como el uranio, el torio y el potasio, presentes en rocas y minerales. El torio es el que más se encuentra en abundancia (García-Martín, 2014). Se conocen 29 isótopos de torio, todos inestables; el que más se destaca es el Torio-232, ya que está presente en la naturaleza. Este es un emisor alfa cabecera de su serie de desintegración natural que termina siendo estable con el Plomo-208.

2.3 La cámara de niebla de Wilson

La cámara de niebla es un dispositivo ideado por Charles Thomson Rees Wilson en 1911, con el fin de observar la trayectoria de las partículas. De acuerdo con Galve Barranco (2019) y su proyecto de construcción de una cámara de niebla, su funcionamiento radica en la sobresaturación de un vapor, se suele usar normalmente alcohol isopropílico, ya que se evapora muy fácilmente. Este gas es además muy ionizable, es decir, poca energía es necesaria para arrancar un electrón de un átomo, por lo que se condensa con facilidad. En una cámara de niebla casera, la parte superior en la que se sitúa el isopropil se encuentra a temperatura ambiente, permitiendo su fácil evaporación.

Conforme el vapor se va aproximando a la base de la cámara enfriada con hielo seco, entra en un estado de supercondensación, formando una niebla fina y poco espesa, conocida como el mar de niebla. Cuando partículas ionizantes atraviesan este medio, forman iones positivos que actúan como núcleos de condensación, formando gotas a lo largo de su trayectoria, haciéndola visible.

2.4. Estudios anteriores

Diversos estudios previos han demostrado que la construcción de una cámara de niebla casera permite la observación directa de partículas. Por ejemplo, García Martín (2014) elaboró un trabajo de fin de grado en la Universidad de Granada, en el que detalló el diseño y la construcción de una cámara de niebla y realizó una clasificación de las partículas observadas, mostrando así que con materiales accesibles es posible visualizar su trayectoria. De manera similar, Manzaneda et al. (2018) y Mena (2021) construyeron una cámara de niebla de difusión y documentaron la identificación de diversas partículas cósmicas, probando la eficacia de este dispositivo para trabajos experimentales de física de partículas y facilitando la enseñanza y comprensión de la física de partículas en entornos educativos.

Estudios como estos confirman que el uso de la cámara de niebla para visualizar trazas de partículas, permite obtener resultados satisfactorios y ofrece evidencia empírica de la existencia de las partículas que componen la materia. Por ello, el presente trabajo se basa en estos estudios previos, empleando una metodología similar para la fabricación de una cámara de niebla casera.

3. Objetivos

1.- Construir una cámara de niebla para detectar, sin equipos costosos, partículas fundamentales descritas en el modelo estándar.
2.- Registrar y clasificar las trazas de partículas detectadas en la cámara de niebla construida.

4. Materiales y metodología

La metodología de la presente investigación fue experimental y adoptó un alcance descriptivo-interpretativo. Su diseño fue no probabilístico, basado en la observación directa de partículas atravesando el medio de la cámara de niebla. Para ello, se empleó una cámara de niebla cuyo funcionamiento radica en la formación de un gradiente de temperatura entre la superficie y la base, que genera vapor sobresaturado. La condensación del vapor se ve inducida por la ionización producida por partículas cargadas, haciendo visible su trayectoria. Los materiales y la metodología empleada en la elaboración de la cámara de niebla protagonista en el presente trabajo ha tenido como base el tutorial publicado por García (2021).

4.1. Materiales

Los materiales utilizados fueron: acuario de vidrio, placa metálica ajustada a la base, superficie de polietileno, bandas de fieltro absorbentes, material de aislamiento, linterna de luz neutra, hielo seco (CO_2 sólido), isopropanol y pieza de granito.

4.2 Procedimiento experimental

- En primer lugar, se adhirió a la parte inferior del interior de las paredes colindantes con la base las tiras de fieltro con la medida de anchura y profundidad de la pecera.

- Luego, se recubrieron las aristas superiores de la pecera con el material de aislamiento.

- Después, se empaparon las tiras de fieltro con isopropanol.

- Posteriormente, se adhirió con cinta americana la pieza de granito a un lado del envés de la placa metálica.

- Seguidamente, se colocó la placa metálica en la pecera a modo de tapadera y se aseguró con cinta aislante (figura 2).

- Para finalizar con el montaje, se cubrió de hielo seco la superficie de polietileno y se volteó el recipiente completo quedando la placa metálica en contacto con el hielo seco.

- A continuación, se colocó la estructura en un espacio sin luz y se iluminó lateralmente.

- Pasados 25 minutos, la cámara de niebla alcanzó la temperatura necesaria para apreciar a ras de la base el mar de niebla creado con la condensación del isopropanol. Por ello, se colocó la cámara de una tablet ipad en el lateral opuesto a la linterna y se inició la grabación.

- Finalizadas las dos horas en las que estuvo en óptimas condiciones, se realizó un análisis exhaustivo de dichas grabaciones, seleccionando las trazas más representativas y apreciables mediante capturas de pantalla y vídeos a cámara lenta.

5. Análisis y discusión de los resultados

Para asegurar la observación de partículas en una cámara de niebla, el granito es especialmente relevante, dado que contiene uranio, torio y potasio-40, además de liberar radón, lo que incrementa la actividad detectable. Por lo tanto, las partículas más frecuentes son las alfa, beta, muones y electrones. A esta variedad se suman las partículas procedentes del fondo radiactivo presente de forma natural, como protones y neutrones, además de las ya mencionadas que de igual manera pueden ser originarias del fondo radiactivo. Sin embargo, la observación de las trazas dejadas por las partículas en la cámara de niebla construida se hizo en un sótano, esto limitó la visualización
de las partículas procedentes del fondo radiactivo, pues la mayoría de protones de alta energía que proceden del mismo es posible que no hayan llegado a la cámara debido a que se ha realizado el experimento en un lugar “blindado” por la estructura del edificio. A lo largo del intervalo de tiempo de dos horas en el que la cámara de niebla elaborada estuvo en condiciones óptimas de temperatura, se detectó una amplia variedad de trayectorias gruesas, finas, rectas, curvadas, combinaciones de las anteriores y bifurcaciones. De la diversidad de trayectorias detectadas se ha realizado una selección de aquellas más visibles y significativas, las cuales serán interpretadas y clasificadas a continuación.

5.1 Clasificación de partículas

Algunas de las trazas de las partículas observadas corresponden con electrones de baja energía, su traza es característica por ser delgada y tenue. Debido a su baja energía cinética y por ende poca masa y poca velocidad, la trayectoria que describen es curva o errática con diversos cambios de dirección (Alcusa Sáez y Hueso González, 2010) (figura 3). Provienen probablemente de la cadena de desintegración del radón, generado a partir del torio o el uranio contenido en el granito, pues las trazas observadas son muy similares a las descritas por Trujillo-Alfaro et al. (2014).

Otra de las trazas detectadas se muestra en la figura 4. Se caracterizan por ser notablemente gruesas, brillantes y cortas. Según la bibliografía consultada (Alcusa Sáez y Hueso González, 2010; Nuledo, s. f.) corresponde a partículas alfa. Debido a su gran energía de ionización, pierden la energía rápidamente, dejando unas trazas cortas y luminosas (figura 4a). Al analizar dicha traza, podríamos pensar que se trata de una cadena de desintegraciones vía alfa que provienen de la cadena de la desintegración del Torio (figura 4b). En esta cadena aparece en cierto momento Radón-220 (que puede provenir de la pieza de granito o del suelo) que es muy inestable y decae rápidamente en Polonio-216 emitiendo una partícula alfa. Este Polonio, de vida media muy corta, decae en Plomo-212 emitiendo otra partícula alfa (Espino Ordoñez, 2021). Sin embargo, si analizamos exhaustivamente la grabación (Anexo I), las trazas observadas también podrían deberse a la descomposición de un núcleo padre emitiendo una partícula alfa y el retroceso del padre (Alcusa Sáez y Hueso González, 2010), es decir, es posible que se esté observando la emisión de una partícula alfa y el retroceso del propio núcleo, el cual deja una traza más gruesa, aunque demasiado larga para ser un núcleo tan pesado (si bien podría ser debido al movimiento del gas de la cámara).

Otras trazas observadas parecen ser debidas a la producción de pares. Uno de los procesos que se produce al interaccionar el fotón con la materia, produciendo un par electrón-positrón (Alcusa Sáez y Hueso González, 2010). Este tipo de trazas son simétricas y en forma de V, y pueden ser rectas o curvadas dependiendo de la energía del fotón de partida (figura 5). Al no tener un campo magnético en la cámara, no podemos saber cuál de ellas pertenece al electrón y cuál al positrón. Sin embargo, al no poder observar el vértice con nitidez, no podemos asegurar que no se trate de este proceso (Anexo II).

Entre las trazas detectadas con mayor frecuencia se encuentran las representadas en la figura 6. Este tipo de traza, rectilínea y delgada, que en ocasiones atraviesa el medio sensible de la cámara de niebla, es posible que se trate de muones (Mera, 2021). Estas trazas no siempre son distinguibles de electrones y protones de alta energía (Alcusa Sáez y Hueso González, 2010). Sin embargo, dado que la visualización de trazas se ha realizado en un sótano, donde se ve limitada la llegada de partículas procedentes de rayos cósmicos, resulta poco probable que se trate de electrones. Por ello, es lógico decantarse por muones, cuya alta energía les permite llegar al nivel subterráneo del sótano.

Por otro lado, en la figura 7 se observa una traza similar a las de la figura 6. Sin embargo, sería lógico pensar que no se trata de un muón sino de un protón, dado que como se muestra en la figura, la traza es más gruesa.

Finalmente, la figura 8 muestra una traza que parece el decaimiento de un muón (Anexo III).
Un muón decae en un neutrino y antineutrino, que no se detectan y un electrón. La traza característica de esta desintegración tiene forma de L, que corresponde con la traza del muón que súbitamente cambia de dirección al emitir un electrón (Trujillo-Alfaro et al., 2014).

6. Conclusiones

A la luz de los resultados obtenidos y teniendo en cuenta los objetivos planteados se puede concluir que:

- Se ha construido una cámara de niebla con materiales accesibles, probando con los resultados obtenidos la existencia de partículas descritas en el Modelo Estándar y procedentes de la radiación ambiental y de una roca de granito.

- Se han identificado y clasificado las partículas en función de la forma de las trazas detectadas, correspondiendo probablemente a: partículas alfa; partículas beta (electrones); protones; la formación de un par electrón-positrón y muones y sus procesos de decaimiento.

La principal limitación de este trabajo ha sido la dificultad en la inequívoca identificación de las partículas debido a la semejanza de las trazas. Por otra parte, hubiera sido conveniente utilizar un campo magnético para identificar el tipo de partículas cargadas y realizar el experimento en un lugar que no fuera un sótano para no limitar el tipo de partículas observables.

7. Agradecimientos

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento al tutor de mi proyecto, el profesor Bruno Martiz Liza, por su excelente dirección, valiosos consejos, gran dedicación y por el sincero apoyo que me ha brindado a lo largo del desarrollo del presente trabajo de investigación.

De la misma forma, me gustaría agradecer a Llanlle Millán Callado, doctora en física nuclear experimental, por su asesoramiento exhaustivo y especial interés en la parte experimental de la identificación de partículas en la cámara de niebla y al Instituto de Física Corpuscular de Valencia por haberme proporcionado material teórico para la parte teórica de la cámara de niebla y su construcción y funcionamiento.

Por último, pero no menos importante, aprecio y agradezco la atención prestada por mis familiares y amigos, que me han animado a lo largo del desarrollo de este trabajo.

8. Bibliografía

Alcusa Sáez, E., & Hueso González, F. (2010). *Visualización de trazas y medida de la concentración de radón atmosférico con la cámara de niebla de difusión.* Laboratorio de Física Nuclear y de Partículas, Universidad de Valencia. Disponible en: https://ific.uv.es/~martinee/CN.pdf [consulta: 7 marzo 2026].

Cobián, J. (2018). El modelo estándar de la física de partículas. *Sociedad Nuclear Española*. Disponible en : https://www.sne.es/wp-content/uploads/2020/03/NT_0118_Fisica_de_particulas.pdf [consulta: 20 enero 2026].

CPAN. (s.f.) *Aplicaciones de la física de partículas*. [en línea] disponible en: https://www.i-cpan.es/es/content/aplicaciones-de-la-f%C3%ADsica-de-part%C3%ADculas [consulta: 10 enero 2026].

CPAN. (s.f.) *El Modelo Estándar de la Física de Partículas*. [en línea] disponible en: https://www.i-cpan.es/es/content/el-modelo-est%C3%A1ndar-de-la-f%C3%ADsica-de-part%C3%ADculas [consulta: 10 junio 2025].

Espino Ordoñez, G. (2021). "El radón: un enemigo invisible y escurridizo". *UBUinvestiga* [blog] 29 abril. Disponible en https://ubuinvestiga.es/el-radon-un-enemigo-invisible/ [consulta: 15 enero 2026].

Galve Barranco, G. (2019). *Introducción a la física nuclear y desarrollo de una cámara de niebla* . Universidad de Barcelona. Disponible en: https://serviparticules.ub.edu/sites/serviparticules/files/2020-12/4-Desarrollo%20de%20una%20camara%20de%20niebla.pdf [consulta: 15 febrero 2026].

García, J.E. (2021). *Experimentos sencillos: Cámara de niebla con hielo seco e isopropanol.* [Vídeo online]. Disponible en: https://youtu.be/tVgzMZabVLQ?si=vF1fa946D8fjfy9z [consulta 5 diciembre 2025].

García Martín, L. M., (2014). *Construcción de una Cámara de Niebla*. Trabajo de fin de grado, Universidad de Granada. Disponible en : https://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/33356/GarciaMartin_CamaraNiebla.pdf?sequence=1&isAllowed=y [consulta 25 noviembre 2025].

Manzaneda, A., Calle García, C. A., & Monasterios, M. (2018)." Construcción de una cámara de niebla de difusión para la identificación de diferentes partículas cósmicas". *Revista Boliviana de Física*, 32(32), 25-28. Disponible en : http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1562-38232018000100005) [consulta 5 diciembre 2025].

Mera, L.B. (2021). *Detección de partículas ionizantes mediante la construcción de una cámara de niebla para uso didáctico*. Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador. Disponible en: https://dspace.espoch.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/b5cd873b-4ec9-41bc-bdb1-42dcefcc79b9/content [consulta 25 noviembre 2025].

Moreira, M. A. (2009). El modelo estándar de la física de partículas. *Revista brasileña de Enseñanza de física*, 31(1), 1306. Disponible en: https://www.if.ufrgs.br/~moreira/modeloestandar.pdf [consulta 10 noviembre 2025].

Musser, G. (2008). *The complete idiot's guide to string theory*. Alpha.

Nuledo. (s.f.). *Cloud chambers*. [en línea]. Disponible en: https://nuledo.com/en/ [consulta

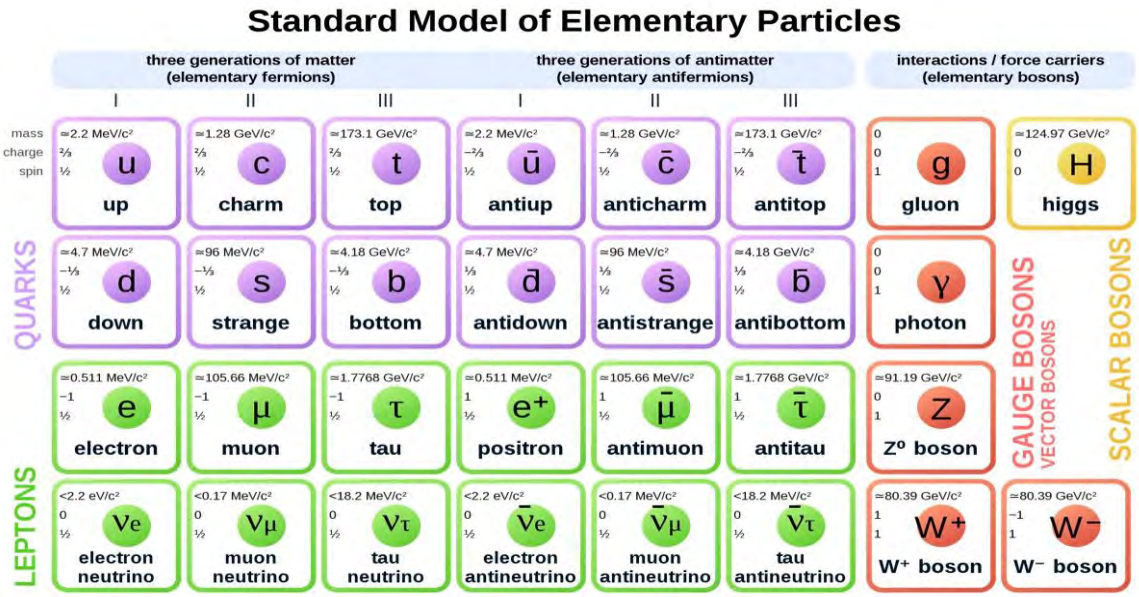
Ordiales Plaza, R. (2007). "Prontuario de la radiación electromagnética". *El Escéptico*, 24. Disponible en: http://www.eeza.csic.es/Documentos/Publicaciones/RadiacionElectromagnetica_Esceptico24.pdf [consulta 10 noviembre 2025].

Trujillo-Alfaro, L., Rodríguez-Rodríguez, N.I. y Vega-Carrillo, H.R. (2014). "Cámara de Niebla para Visualizar Partículas Cargadas ionizantes", en *XXV Congreso Anual de la Sociedad Nuclear Mexicana. XIII Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Seguridad Radiológica*. Veracruz, México.

Vidal, M.C., y Sánchez, D. (2023). *Física*. Santillana.

9. Anexos

Figura 1
Modelo Estándar de las partículas elementales

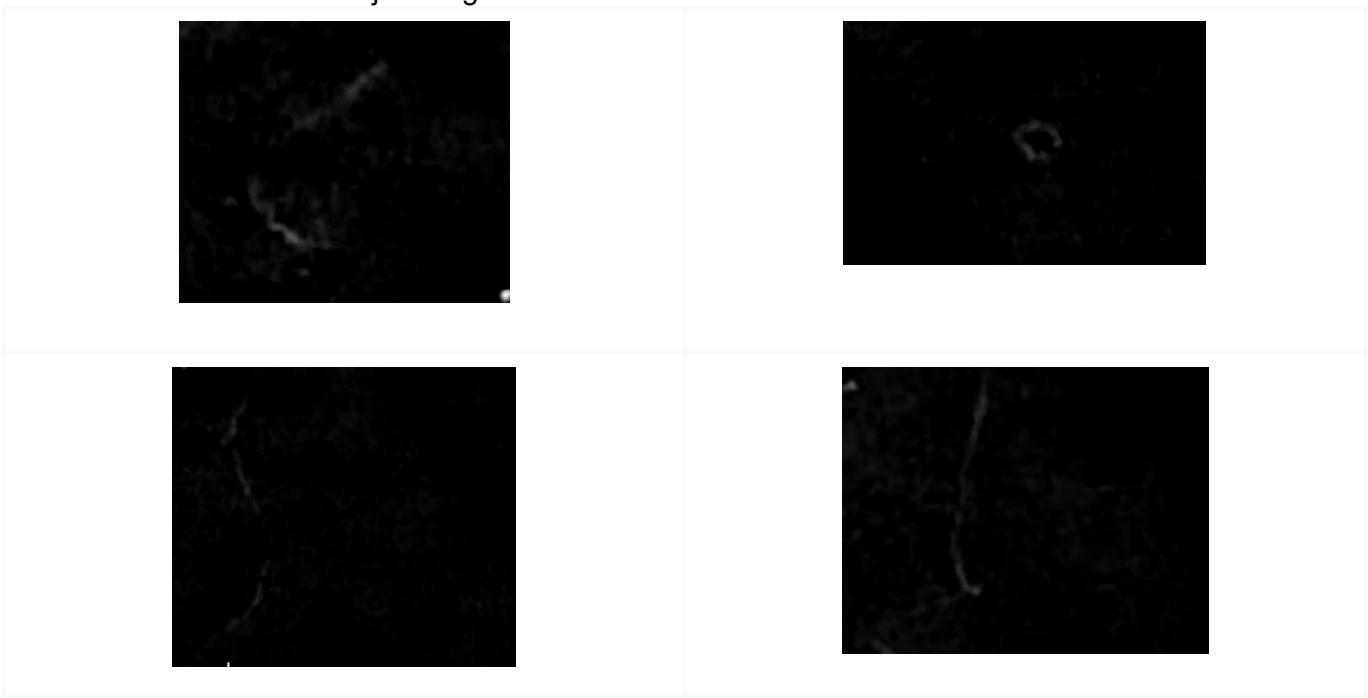


Nota. Fuente: (CPAN, s.f.)

Figura 2
Cámara de niebla

Nota. Fuente: elaboración propia

Figura 3
Trazas de electrones de baja energía



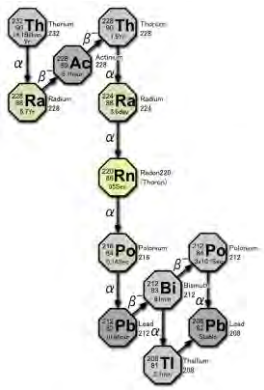
Nota. Fuente: elaboración propia

Figura 4

(a) Partículas alfa

Nota. Fuente: elaboración propia

(b) Cadena de desintegración del Torio-232



Nota. Fuente: (Tosaka, 2008). CC BY 3.0

Figura 5
Posible creación de pares

Nota. Fuente: elaboración propia

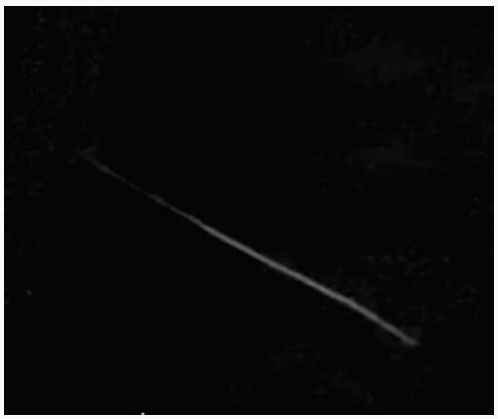
Figura 6
Posibles trazas de muones

Nota. Fuente: elaboración propia

Figura 7
Posible traza de un protón

Nota. Fuente: elaboración propia

Figura 8
Posible decaimiento del muón



Nota. Fuente: elaboración propia

Anexo II

Vídeo posible proceso de creación de pares

Anexo III

Vídeo posible decaimiento de un muón

Título del trabajo:

¡Que suene la ciencia!: Estudio físico-matemático de la música a través de la síntesis de notas musicales

Nombre del autor: **Yuzhao Zhou Ye**

Tutores del trabajo: **Bruno Martiz Liza y Francisco Gómez García**

Centro docente: **IES Ramón y Cajal**

Curso académico: **2º Bachillerato**

Índice

Resumen **2**
1. Introducción **3**
2. Antecedentes (marco teórico) **3**
2.1 El sonido y sus propiedades 3
2.2 Contexto histórico 3
2.3 Evolución histórica de la síntesis y grabación del sonido 4
2.4 Ondas 4
2.4.1 Movimiento armónico simple (M.A.S.) 4
2.4.2 Ecuación matemática de una onda armónica 4
2.4.3 Los armónicos 5
2.5 Teoría de Fourier 5
3. Hipótesis de trabajo y objetivos **5**
4. Materiales y métodos **5**
5. Resultados y Discusión **6**
5.1 Estudio del sonido 6
5.1.1 Forma de onda (tiempo-amplitud) 6
5.1.2 Espectrograma 6
5.1.3 Gráfica FFT 6
5.2 Síntesis de un sonido a partir de su frecuencia fundamental y armónicos 7
5.3 Estudio comparativo entre sonido sintetizado y sonido original 8
6. Conclusiones **9**
7. Agradecimientos **9**
8. Bibliografía y webgrafía **9**
9. Anexos **11**

Resumen

En el presente trabajo se ha investigado la relación entre el sonido y las matemáticas mediante el análisis del timbre musical, entendido como una cualidad que permite diferenciar dos instrumentos que generan la misma nota. El mundo está lleno de sonidos, desde pitidos y notas musicales hasta el bullicio de la calle o el sonido de un motor. Llevados al ámbito de la física, estos pueden analizarse como simples (o complejas) variaciones de la presión en el aire, es decir, el sonido es un fenómeno físico.

Se parte de la hipótesis de que cualquier sonido musical, en este caso notas musicales individuales, pueden descomponerse en una suma de frecuencias simples mediante la teoría de Fourier, y por tanto, puede reconstruirse la onda resultante de la superposición de dichas frecuencias. La metodología utilizada ha consistido en la grabación de la nota La de varios instrumentos musicales, como el clarinete o la guitarra, para el posterior estudio del sonido a través de distintas gráficas. Por otra parte, mediante algoritmos en Python, se emplearon herramientas de extracción de picos y se realizó la síntesis de un nuevo sonido a partir de dichos picos.

Los resultados mostraron que un sonido está sujeto a una multitud de variables y parámetros que influyen en su estructura armónica y física y su identidad. Finalmente, se utilizaron distintas herramientas de comparación objetiva de señales y se concluyó que la reproducción exacta del timbre de una nota musical implica una complejidad mayor que la simple suma de frecuencias.

1. Introducción

La música es una de las principales manifestaciones culturales de la humanidad y está integrada de forma natural en la vida cotidiana de muchas personas. A simple vista, esta disciplina emocional puede parecer muy distinta a las matemáticas o la física, que son más lógicas y rigurosas, pero comparten la naturaleza abstracta y están muy conectadas entre sí. De hecho, lo que escuchamos no es un ente o suceso abstracto, sino un fenómeno físico: el sonido.

La elección de este tema se refiere a la complejidad del sonido, cuya investigación no se basa en un sencillo estudio musical, sino que aborda temas complejos de diversas disciplinas como la acústica o las telecomunicaciones. Por ello, esta investigación interdisciplinar surge del interés académico por entender, desde otra perspectiva, la naturaleza del timbre. El trabajo se centra en el tema de la síntesis del sonido, que se puede definir como la técnica o herramienta de generar señales sonoras a través de algoritmos computacionales, en este caso, un *script* de Python. De este modo, se puede estudiar la complejidad del sonido desde una enfoque físico-matemático y tímbrico.

En este contexto, se han desarrollado investigaciones anteriores en relación a la conexión entre música y matemáticas (Liern y Queralt, 2008; Pastor, 2008), los armónicos y el timbre (Arbonés y Milrud, 2011; Navarro Torres, 2021), la Teoría de Fourier (Zamorano Castaño, 2010; Cortés et al., 2007) y la síntesis de sonidos (Cortés Osorio et al., 2012) .

2. Antecedentes (marco teórico)

2.1 El sonido y sus propiedades

El sonido consiste en vibraciones que se propagan a través de un medio elástico, como el aire o el agua, y la música, como sonido, utiliza estos mismos medios para su transmisión (Lluis-Puebla, 2003). Las propiedades del sonido son las siguientes:

1. La **altura** se puede definir de varias maneras. Físicamente, es una propiedad física de las ondas sonoras que llegan a los oídos humanos; psicológicamente, es el nombre dado a la experiencia subjetiva de ondas periódicas. Además, depende de la frecuencia (número de oscilaciones por segundo) y se mide en Hercios (Hz). Cuanto mayor sea la frecuencia, más “alta” o aguda será la nota musical (o el sonido); por otra parte, las notas más graves tendrán una menor frecuencia (Pierce, 1985).
2. La **duración** es la propiedad del sonido que se define como el intervalo de tiempo durante el cual el sonido persiste de forma continua. Se mide en segundos (s) y permite distinguir entre sonidos largos y cortos.
3. La **intensidad** de un sonido depende de la amplitud de la frecuencia, es decir, de la magnitud de la oscilación de la onda. Así, un sonido fuerte está caracterizado por una onda que ha oscilado más (mayor amplitud) que la onda que refleja un sonido débil (menor amplitud). Esta propiedad determina el volumen y permite diferenciar entre sonidos fuertes y débiles. Se mide en decibelios (dB).
4. Por último el **timbre**, la propiedad más compleja y más “reciente”. Antiguamente, las personas se preguntaban por qué dos instrumentos musicales que tocaban aparentemente la misma nota musical producían sonidos distintos y por qué las voces humanas también sonaban diferentes entre sí. El término timbre surge como respuesta a esta duda y se define como la cualidad o característica de una nota musical (distinta de la frecuencia) que permite distinguirla dependiendo del instrumento musical que haya generado dicha nota. Por ejemplo, la percepción de una nota musical emitida por un violín y un piano es completamente distinta, así como una misma vocal pronunciada en distintos idiomas.

2.2 Contexto histórico

La relación entre las matemáticas y la música comenzó a estudiarse en la Antigua Grecia (1200 a.C. - 146 a.C.), debido al significado que tenía con el mundo espiritual y físico (Lluis-Puebla, 2003). Pitágoras de Samos (582 a.C. - 500 a. C.), descrito a menudo como el primer matemático puro, fue un matemático, filósofo griego y fundador de una escuela filosófica y religiosa en Crotón (actual Crotona). Según relata Boecio, un escritor del siglo VI d.C., Pitágoras descubrió que aquellos martillos cuyos pesos mantenían proporciones numéricas sencillas entre sí generaban sonidos agradables al golpear el yunque (Aznar, 2007; Navarro Torres, 2021).

Por otra parte, su escuela, la escuela pitagórica, profundizó en este tema mediante un instrumento llamado monocordio, estudiando los intervalos musicales como relaciones matemáticas entre longitudes de cuerda. Así, surge la escala pitagórica, el primer intento exitoso de matematizar el sonido a través de proporciones físicas y sentó las bases para la posterior evolución de las escalas musicales. Siglos más tarde, tratados como el *Gradus ad Parnassum* de Johann Joseph Fux en 1725, continuaba relacionando los intervalos musicales con las matemáticas (Fux, 1725/2010; Navarro Torres, 2021).

2.3 Evolución histórica de la síntesis y grabación del sonido

Un sintetizador de sonidos es un aparato o utensilio que permite generar sonidos a voluntad del intérprete y cuya utilidad o finalidad esencial es ser usado en la producción musical (Martínez Zorrilla, 2008). Sin embargo, este "instrumento musical" logró ser diseñado tras el éxito y el fracaso de muchos otros.

El considerado primer instrumento musical electrónico fue el theremin, inventado por Lev Serguéievich Termén (1896 - 1993), músico y científico soviético especializado en el campo del electromagnetismo, durante la década de los 20s. Este instrumento musical permite producir sonidos de todo tipo, con distinto tono y volumen, al variar la distancia a la que colocamos las manos de las antenas. Sin embargo, su carácter continuo resultaba uno de sus inconvenientes más representativos, pudiendo detectarse cualquier desviación (Ares, 2016; Triano, 2024).

Por otra parte, antes de los sintetizadores, alguien tuvo que ser capaz de grabar, almacenar y volver a reproducir un sonido. El primer dispositivo capaz de grabar un sonido fue el "autofonógrafo", inventado por el francés Édouard-Léon Scott de Martinville y patentado el 25 de marzo de 1857 (Porcel, 2010). Posteriormente, Thomas Alva Edison, conocido como el más grande inventor y bienhechor de la humanidad (1847 - 1931) inventó el fonógrafo en 1877. Este dispositivo es "un aparato capaz de grabar sonidos en un cilindro recubierto con papel de estaño y reproducirlo más adelante" (Arias, 2004, p.2).

2.4 Ondas

El sonido consiste en vibraciones que se propagan a través de un medio elástico como el aire o el agua (Lluis-Puebla, 2003). Dichas vibraciones se transmiten hacia las partículas vecinas a través de ondas sonoras, que se propagarán en última instancia al aire y de esta manera podrán llegar a nuestros oídos. El efecto de propagación de estas ondas se presenta en las compresiones y expansiones de las partículas del aire, que es lo que nuestros oídos perciben como sonido. Esto se trata de una oscilación de estados de presión, es decir, de una onda.

Estas ondas sonoras se desplazan a través de un medio elástico (sólido, líquido o gaseoso) y no transportan materia, sino energía. Asimismo, las ondas pueden propagarse en varias dimensiones, en el caso del sonido, es una onda tridimensional, es decir, se propaga en las tres direcciones del espacio.

2.4.1 Movimiento armónico simple (M.A.S.).

El movimiento armónico simple es el movimiento periódico más sencillo: una partícula que se mueve a lo largo del eje *OX* describe un movimiento armónico simple cuando su desplazamiento x respecto del origen del sistema de coordenadas se representa por la siguiente expresión:

$$x = A \cdot sen(\omega t \pm \varphi_0) \qquad \text{o} \qquad x = A \cdot cos(\omega t \pm \varphi_0)$$

2.4.2 Ecuación matemática de una onda armónica.

Asimismo, un movimiento ondulatorio se origina por el movimiento vibratorio armónico simple (M.A.S.) y se obtiene (ecuación matemática de una onda armónica):

$$y(x,t) = A \cdot sen\,(\omega \cdot t \pm k \cdot x + \varphi_0) \quad ; \quad y(x,t) = A \cdot sen\,(k \cdot x \pm \omega \cdot t + \varphi_0)$$

$$y(x,t) = A \cdot cos\,(\omega \cdot t \pm k \cdot x + \varphi_0) \; ; \quad y(x,t) = A \cdot cos\,(k \cdot x \pm \omega \cdot t + \varphi_0)$$

Todas estas ecuaciones permiten el mismo estudio del movimiento ondulatorio y solo se distinguen y diferencian en el término constante de la fase inicial. En ellas, la A representa la amplitud; la ω la frecuencia angular de la oscilación; la t es el tiempo; $\omega t + \varphi_0$ es la fase total del movimiento (si φ_0 es negativa, la función avanza en sentido positivo del eje *X*, y viceversa); k es el número de onda y define la periodicidad en el espacio de la onda y x es la distancia al origen (Fidalgo y Fernández, 1996).

2.4.3 Los armónicos.

A lo largo de la historia, surge la duda del motivo por el cual una misma nota musical suena diferente según el instrumento que la genera, o por qué cada voz humana tiene un timbre único. La respuesta a esta pregunta se halla en el estudio de las ondas del sonido, las ondas sonoras.

Las ondas simples comentadas anteriormente, denominadas ondas senoidales, representan la oscilación de un sonido puro como el de un diapasón o un pitido, algo poco habitual en el mundo. En la vida cotidiana, así como en una banda musical, abundan los sonidos complejos, formados por una vibración principal denominada frecuencia fundamental o nota base y otros modos de vibración denominados armónicos. Estos armónicos son múltiplos de la frecuencia fundamental, por lo que serán sonidos más agudos (mayor frecuencia) y tendrán menor intensidad que la nota base. Además, pueden tener fases distintas, lo que demuestra que el timbre musical se debe a la superposición de los armónicos y que cada sonido se representa con una forma de onda única, característica de dicho sonido (Arbonés y Milrud, 2011).

2.5 Teoría de Fourier

El timbre viene determinado por los armónicos de un sonido, ya que este depende del espectro acústico (representación gráfica de las amplitudes con respecto a las frecuencias de las ondas sonoras que lo componen y constituyen el timbre de ese sonido) del sonido generado. Para analizar los armónicos de manera individual de un sonido cualquiera, es fundamental la aportación del matemático francés Jean-Baptiste Joseph Fourier (1768-1830).

La llamada Teoría de Fourier es un estudio sobre la transmisión del calor (*Théorie Analytique de la Chaleur)* que fue extrapolado al área del sonido. Fourier demostró que toda onda periódica de frecuencia *f* se puede descomponer en una serie de ondas senoidales y representar como superposición de una función armónica con su misma frecuencia (frecuencia fundamental) y como una o más funciones armónicas con frecuencias múltiplos de la fundamental (armónicos) (Arbonés y Milrud, 2011; Carrillo González, 2003; Cortés et al., 2007).

El oído humano no aísla ni puede aislar generalmente los armónicos, por lo que en realidad lo que se percibe es una suma de armónicos mezclados, que es lo que determina el timbre (Navarro Torres, 2021). De este modo, el estudio de Fourier sigue ayudando hoy en día en diversos campos, tales como el del presente trabajo: la síntesis de una onda compleja a partir de varias ondas simples senoidales (armónicos) o el proceso contrario, la descomposición de una onda compleja en ondas simples senoidales.

3. Hipótesis de trabajo y objetivos

El objetivo general de la presente investigación es analizar el timbre de distintos instrumentos musicales desde un enfoque científico a través de un estudio físico-matemático del sonido. Asimismo, de manera específica, este estudio busca:

- Demostrar que el timbre de un instrumento se debe a una superposición de ondas (armónicos).
- Aplicar la Teoría de Fourier para descomponer un sonido en su frecuencia fundamental y armónicos.
- Programar un algoritmo capaz de sintetizar un sonido a partir de sus frecuencias y estudiar los parámetros y las variables necesarias que caracterizan el timbre de un sonido.

Por otra parte, se parte de la hipótesis de que cualquier sonido musical, en este caso notas musicales individuales, pueden descomponerse en una suma de frecuencias simples mediante la teoría de Fourier, y por tanto, puede reconstruirse la onda resultante de la superposición de dichas frecuencias.

4. Materiales y métodos

El presente trabajo busca explicar la superposición de los armónicos, que junto con la frecuencia fundamental (*f*), constituyen la forma de onda característica de cada sonido. Por ejemplo, la onda generada por el sonido de un trombón es diferente a la de un violín y a la de un fagot. Esta complejidad de los sonidos se puede relacionar con el timbre musical, la propiedad que nos permite distinguir y caracterizar cada sonido (incluyendo los de los instrumentos), incluso cuando poseen la misma frecuencia.

La investigación que nos ocupa se clasifica como experimental y se ha desarrollado bajo un enfoque cuantitativo, dado que maneja la variable independiente (el instrumento musical) con el fin de obtener datos medibles y objetivos, como las frecuencias, el retraso entre dos señales o la amplitud. Además, el diseño es no probabilístico, ya que los procesos experimentales de síntesis de sonido se han regido por los criterios establecidos por el autor.

La metodología utilizada ha consistido en grabar la nota La4 (440 Hz) de varios instrumentos musicales como el clarinete, la guitarra o el metalófono, preservando al máximo la calidad sonora y su pureza espectral. Todos estos sonidos fueron grabados el mismo día, en la misma aula y con la misma grabadora de audio para evitar posibles alteraciones o distorsiones en el registro. Posteriormente, los sonidos se limpiaron mediante el programa de edición de audio Audacity para evitar posibles ruidos.

Cabe destacar que los programas y *scripts* de Python realizados en este trabajo han sido realizados con el apoyo de herramientas de inteligencia artificial (DeepSeek, ChatGPT, Gemini, entre otras), para optimizar el desarrollo del código y garantizar el cumplimiento de los objetivos planteados. No obstante, los parámetros y sus valores, así como el estudio detallado y riguroso del sonido, han sido estudiados, relacionados y/o modificados por el autor.

En primer lugar, se desarrolló un programa de Python destinado al estudio del sonido y de su estructura armónica, a través de distintas representaciones gráficas como espectrogramas, la forma de onda (tiempo-amplitud) o la gráfica FFT (*Fast Fourier Transform*: Transformada Rápida de Fourier).

En segundo lugar, se realizó la síntesis armónica a través de un segundo algoritmo en Python. Este programa extrae la frecuencia fundamental y los armónicos del sonido grabado y genera un nuevo sonido resultante de la superposición de dichas frecuencias, con el objetivo de que se asemejen lo máximo posible. Para ello, fue necesario ajustar múltiples parámetros y variables que influyen en la caracterización acústica del instrumento.

Por último, mediante diferentes herramientas matemáticas aplicadas en un tercer algoritmo de Python, se ha realizado una comparación objetiva entre la señal original y la sintetizada. Este análisis permitió evaluar su similitud espectral y determinar si el sonido sintetizado presentaba una elevada fidelidad acústica con respecto al original.

5. Resultados y Discusión

5.1 Estudio del sonido

En primer lugar, se ha realizado un estudio del sonido a través de varias gráficas. Para todas ellas, se ha utilizado la nota La de un clarinete (ver Anexo B. Audio 1).

5.1.1 Forma de onda (tiempo-amplitud)

En primer lugar, una forma de onda tiempo-amplitud (ver Anexo A. Figura 1). En ella observamos que el sonido dura poco más de 6 segundos: entre los segundos 0 y 0,3 se observa un ataque inicial, es decir, un aumento brusco seguido de una caída rápida; entre 0,3 y 5,5 segundos, una zona estable, en la que apenas varía la amplitud del sonido. Se aprecian leves oscilaciones o fluctuaciones (cambio de un valor) de la intensidad, que se relacionan con el timbre del instrumento y el soplado; por último, entre 5,5 y 6,2s, la extinción del sonido, en la que el sonido disminuye suavemente cuando el músico deja de tocar y la nota se apaga progresivamente.

5.1.2 Espectrograma

Otra gráfica importante es el espectrograma (ver Anexo A. Figura 2) frecuencia-tiempo-amplitud, en la que las líneas horizontales corresponden con las frecuencias: la línea situada más abajo corresponde con la frecuencia fundamental (440 Hz aproximadamente) y es la más gruesa ya que es la frecuencia de mayor amplitud. Por otra parte, los armónicos aparecen como líneas horizontales más finas. La distancia entre ellos es la misma dado que son múltiplos enteros de la fundamental. Además, no apreciamos ninguna anomalía causada por alteraciones o ruidos de fondo, lo que refleja la calidad de nuestra grabación.

5.1.3 *Gráfica FFT*

En la Figura 3 (ver Anexo A), se muestra la gráfica FFT (*Fast Fourier Transform*: Transformada Rápida de Fourier). De manera sencilla, se puede definir como una representación del sonido que nos

muestra las frecuencias que lo definen, así como la intensidad de cada una. Esta permite identificar la frecuencia fundamental, el pico de 430,7 Hz; y los armónicos de un sonido, que son los demás picos (882,9 Hz, 1313,5 Hz, 1765,7 Hz, etcétera).

La complejidad del sonido se ve reflejada de nuevo: en este caso, el segundo armónico es de mayor amplitud que el primero. Esto se debe a que los instrumentos de viento-madera, como el clarinete, tienen armónicos impares muy marcados. Asimismo, es importante aclarar que el término "impar" no hace referencia al número exacto del armónico, sino a que los armónicos marcados se alternan y siguen patrones como: el 1º, 3º, 5º… o el 2º, 4º, 6º… Por otra parte, al igual que en la anterior imagen, tampoco aparecen ruidos ni picos indeseados, lo que demuestra nuevamente la calidad de nuestro audio (Antón López, 2014)

Finalmente, es importante precisar que he utilizado el término magnitud para designar a la amplitud, puesto que el valor en decibelios de un sonido depende de otros factores externos. Por lo que el objetivo de las gráficas no es determinar la intensidad sonora de los armónicos, sino realizar una comparativa cuantitativa de la amplitud de las frecuencias.

5.2 Síntesis de un sonido a partir de su frecuencia fundamental y armónicos

El segundo programa de Python se ha realizado con el fin de sintetizar un sonido a partir de su frecuencia fundamental y sus armónicos. En otras palabras, a partir de los armónicos de un sonido, se sintetizará otro completamente nuevo, pero con el fin de que se asemeje lo máximo posible al original. A continuación, comenzaré exponiendo los pasos que he seguido para conseguir un programa que reproduzca un sonido fiel al original, buscando soluciones a los inconvenientes encontrados.

La extracción de los picos de frecuencia del sonido original dependerá de varios parámetros. En primer lugar, el umbral relativo de magnitud mínima, que considera un punto como pico de frecuencia. El valor establecido ha sido de 0,1, es decir un 10% del máximo. Este discrimina las frecuencias cuya magnitud sea tan baja que puede despreciarse y si el umbral es demasiado bajo, el análisis podría detectar picos que no son armónicos, sino interferencias, por lo que es importante ajustarlo al instrumento. En segundo lugar, se definió una distancia mínima entre picos, permitiendo que el análisis se centre exclusivamente en la estructura armónica fundamental del sonido estudiado.

A pesar de que algunos audios sintetizados son reconocibles (p.ej., el clarinete), no son realmente fieles. Por lo que se concluye que resulta imposible reproducir y sintetizar estos sonidos únicamente a partir de su frecuencia fundamental y sus armónicos, puesto que deben estudiarse más a fondo, a través del timbre.

El programa, hasta el momento, solo puede sintetizar sonidos continuos, puesto que no incluye ninguna variable ni parámetro que estudie y analice su extinción, reverberación, ruido, entre otras. Por lo tanto, se necesitan otras variables y parámetros para sintetizar un sonido semejante al original.

Anteriormente, para la extracción de picos se empleó la *Fast Fourier Transform* porque permitía obtener la estimación espectral desde la serie temporal original, pero no analiza señales no estacionarias y analiza la señal como un todo, asumiendo que sus propiedades no varían en el tiempo. Debido a esta deficiencia, se utiliza la *Short-Time Fourier Transform*, o transformada de Fourier con ventaneado. Esta adaptación, divide una señal $x(t)$ en pequeños segmentos, de manera que asume que la señal es estacionaria para cada segmento y permite calcular la Transformada de Fourier "clásica" para cada porción de la señal (Zamorano Castaño, 2010).

A través de la percepción auditiva, uno puede notificar que el sonido de un instrumento no es constante, sino que oscila, se extingue, cambia, entre otras características. Para combatir la continuidad de los sonidos generados por el programa, se hace uso de la envolvente ADSR: *Attack* (el ataque) cuando pasa del silencio al nivel máximo; *decay* (el decaimiento), fase en la que el nivel del sonido disminuye; *sustain* (el sostenido), mientras se sostiene la nota en términos de volumen; y por último, *release* (la liberación), fase en la que el silencio se apaga gradualmente hasta el silencio. Estos cuatro parámetros son distintos en cada instrumento y para aplicarlos, se han aplicado otros parámetros que reflejan las componentes de la envolvente, como el burst transitorio, que corresponde con el ataque; y el suavizado de la envolvente espectral del sonido y el suavizado de los parciales para el ruido, que evitan variaciones bruscas de la intensidad de las frecuencias, haciendo que la evolución sea natural y progresiva, y se relacionan con el decaimiento y el sostenido (Cuerno Dueñas, 2019).

Sin embargo, los sonidos seguían sin asemejarse al original puesto que seguían sonando artificialmente. Para ello, se aplicó un modelado de ruido, aportando realismo tímbrico mediante la representación de las componentes no periódicas del sonido, así como la reverberación, que simula la respuesta del espacio acústico: el tubo de un clarinete o la caja de resonancia y la placa metálica de un metalófono.

Por otro lado, las componentes residuales (lo que queda en un sonido tras eliminar los elementos y las frecuencias fundamentales) de los sonidos han representado un complicado desafío y problema que no se pueden resolver a través de la serie de Fourier. Estas corresponden con el soplido y las variaciones en el flujo en del aire para el clarinete, el ruido generado entre la púa (o los dedos) y su deslizamiento sobre la cuerda para la guitarra (instrumento de cuerda) , y para un instrumento de percusión como el metalófono, la componente residual corresponde con el impacto de la baqueta contra la lámina de metal. Para cada caso, es necesario añadir y ajustar un parámetro que simule las componentes residuales de cada sonido (Ministerio del Ambiente del Perú, 2012).

Asimismo, muchos otros parámetros exceden los límites y la complejidad de este estudio y no se han comentado, aunque se hayan añadido al programa mediante la ayuda de la inteligencia artificial, tales como el Filtro pasa-altos (HPF), el Jitter controlado, el control del bin k=0, entre otros.

5.3 Estudio comparativo entre sonido sintetizado y sonido original

Tras haber realizado el proceso de síntesis de los sonidos (ver Anexo B. Audio 2), se ha procedido a realizar un estudio comparativo objetivo entre el sonido original y el sonido sintetizado, con el objetivo de determinar si la señal sintetizada presenta una elevada fidelidad acústica al original. Para este análisis, se ha seleccionado el timbre del clarinete como objeto de estudio, dado que su comportamiento acústico presenta los resultados más fieles y coherentes al trabajo, y su síntesis ha resultado exitosa según el criterio de la percepción auditiva. Esta comparación se ha realizado a través de 3 herramientas:

En primer lugar, a través de sus espectrogramas y una correlación cruzada temporal que permite el alineamiento temporal entre las señales (ver Anexo A. Figura 4). Observando los espectrogramas y siendo el audio 1 el sonido real y el audio 2 el sintetizado, observamos que en ambos está representada la frecuencia fundamental (440 Hz) como la línea más gruesa situada debajo de todas. A simple vista, los espectrogramas son muy parecidos. Sin embargo, la correlación nos indica un retraso de 0,356 segundos de la señal sintetizada frente a la original. Por lo que se alinean temporalmente ambos sonidos mediante la aplicación Audacity, y observamos de nuevo la gráfica (ver Anexo A. Figura 5). Se ha conseguido un retraso nulo, y el pico alcanza un valor aproximado de 0,6. Matemáticamente, este valor indica que las señales no son idénticas, pero en el ámbito de la acústica este resultado es altamente significativo, demostrando que la señal sintetizada posee una estructura armónica parecida. Por lo que según está gráfica, los sonidos se asemejan medianamente bien

En segundo lugar, se ha estudiado la gráfica de la diferencia espectral expresada en decibelios (ver Anexo A. Figura 6), entre los espectrogramas. En general, se observa una gráfica homogénea, sin grandes cambios de color, lo que explica que no hay diferencias ni alteraciones significativas y que el proceso aplicado durante la síntesis no ha producido distorsiones en la señal. El color rosa, que expresa 0dB, es el predominante en la gráfica e indica que las componentes tímbricas se preservan en el sonido sintetizado. El azul, se puede interpretar como la falta de energía o de intensidad en bajas y altas frecuencias, probablemente debido a algunos parámetros utilizados en la síntesis. Por último, destacan las líneas verticales rojas en ciertos instantes del tiempo. Estas corresponden a incrementos de energía en un rango amplio de frecuencias, asociados a ataques acústicos o impulsos. Sin embargo, estas líneas pueden deberse a episodios o parámetros inarmónicos del clarinete del timbre y no puede afirmarse, por lo tanto, que el sonido sintetizado no corresponda con el de un clarinete. Finalmente, interpretamos que nuestro sonido sintetizado puede no ser igual al original, pero podríamos clasificarlo como un sonido de clarinete.

Por último, se ha decidido utilizar la *Log-Spectral Distance LSD* o Distancia Espectral Logarítmica (ver Anexo A. Figura 7), que se ajusta de manera eficaz a la realidad puesto que el nivel de intensidad sonora también tiene una escala logarítmica. La LSD mide el parecido en la forma del sonido de la nota musical, el timbre. Además, esta herramienta calcula un valor para cada *frame* (un total de 264.400 muestras en nuestro caso) y se ha utilizado la mediana como medida representativa. El valor ha sido 15,56 dB, lo que refleja una diferencia espectral considerable y significativa y se interpreta como un sonido sintetizado espectralmente muy distinto.

También se ha decidido calcular el percentil 95 de la LSD: 16,91 dB. Es decir, 95 de cada 100 valores de la LSD están por debajo de ese número. Por lo que los resultados de calcular la Distancia Espectral Logarítmica en el rango de 80-5000 Hz son subóptimos, tanto para la mediana como para el percentil 95, que presentan valores superiores al rango asociado a diferencias leves. Es decir, los sonidos difieren en lo que respecta a sus espectrogramas y composición tímbrica.

Finalmente, las herramientas de comparación de señales empleadas han mostrado que el sonido sintetizado muestra una escasa similitud espectral con respecto al sonido original grabado. Asimismo, no se han podido contrastar estos resultados con investigaciones previas, dado que no se han encontrado estudios comparables con el realizado. Esto se debe a que el hilo conductor y el enfoque metodológico del trabajo que nos ocupa ha tenido que adaptarse a la dificultad interdisciplinar encontrada en los ámbitos de las telecomunicaciones, las matemáticas, la programación y la música.

6. Conclusiones

Tras analizar los resultados y en consonancia con los objetivos planteados, se deducen las siguientes conclusiones de la investigación:

- La música está sumamente relacionada con las ciencias exactas y técnicas, como las matemáticas y la física. El estudio interdisciplinar de las tres ramas permite una mejor comprensión de ellas.
- Una nota musical no se caracteriza únicamente por su frecuencia fundamental, sino que depende de un conjunto de armónicos y parámetros adicionales.
- El timbre musical se debe a una superposición de armónicos (primer objetivo específico).
- Las herramientas tecnológicas son capaces de identificar la intensidad de cada armónico aplicando la Teoría de Fourier y realizar, a partir de ellos, una síntesis aditiva (segundo y tercer objetivo específico).
- El sonido está sujeto a una multitud de variables y sucesos que modifican su estructura armónica y física y su identidad (tercer objetivo específico).
- Las herramientas objetivas de comparación de señales muestran que pueden existir diferencias espectrales entre dos sonidos, aunque la percepción auditiva los procese como idénticos.
- La síntesis exacta y perfecta de un sonido es un desafío complejo que requiere de complejos factores dinámicos, temporales y tímbricos (objetivo general).

7. Agradecimientos

Me gustaría agradecer a todas aquellas personas que han contribuido en la realización de este trabajo de investigación. En primer lugar, desearía expresar mi más sincera gratitud a mis tutores Bruno Martiz Liza y Francisco Gómez García del IES Ramón y Cajal por su apoyo, su ayuda, su motivación y su paciencia.

Asimismo, extiendo mi agradecimiento a Antonio Guirao Piñera del Departamento de Física de la UMU y a Juan Miguel Navarro Ruiz de la Escuela Politécnica Superior de la UCAM, por su orientación y asesoramiento durante la fase práctica del trabajo.

8. Bibliografía y webgrafía

Antón Lopez, Ó. (2014). *Síntesis musical. Estudio de un instrumento armónico: el clarinete* [Tesis de pregrado, Universidad Carlos III de Madrid]. Biblioteca UC3M. https://hdl.handle.net/10016/26734

Arbonés, J. y Milrud, P. (2011). *La armonía es numérica. Música y matemáticas.* RBA.

Ares, L. (2016). *Diseño y elaboración de un Theremin.* [Tesis de pregrado, Universidad de Valladolid]. UVaDOC. http://uvadoc.uva.es/handle/10324/18991

Arias, G. C. (2004). THOMAS ALVA EDISON, EL MÁS GRANDE INVENTOR Y BIENHECHOR DE LA HUMANIDAD. *Ciencia e Investigación, VII*(1), 1-2. https://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/ciencia/v07_n1/Pdf/a09.pdf

Aznar, E. R. (2007). *Pitágoras, Matemático y filósofo griego (isla de Samos, actual Grecia, h. 582-Metaponto, actual Italia, h. 500 a.C.)*. Universidad Granada. https://www.ugr.es/~eaznar/pitagoras.htm

Carrillo González, C. J. (2003). *Fundamentos del análisis de Fourier*. Departamento de Enxeñería Eléctrica, Escola Técnica Superior de Enxeñeiros Industriáis, Universidade de Vigo. https://grupo_ene.webs.uvigo.es/wordpress/publicaciones/Apuntes_Fourier.pdf

Cortés Osorio, J. A., Knott, A. M., & Chaves Osorio, J. A. (2012). Aproximación a la síntesis de la música a través del análisis de Fourier. *Scientia et Technica*, *17*(52), 129–134. Universidad Tecnológica de Pereira. https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4271767.pdf

Cortés, J. A., Medina, F. A. y Chaves, J. A. (2007). DEL ANÁLISIS DE FOURIER A LAS WAVELETS ANÁLISIS DE FOURIER. Scientia et Technica, 2(34), 151-156. https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4807129.pdf

Cuerno Dueñas, P. (2019). *First Synth: diseño de un plug-in sintetizador de audio para un DAW en C++ usando la librería JUCE* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica de Madrid]. Archivo digital UPM. https://oa.upm.es/54111/1/TFG_PABLO_CUERNO_DUENAS.pdf

Fidalgo, J.A. y Fernández, M.R. (1996). *Física General.* EVEREST

Fux, J. J. (2010). *Gradus ad Parnassum* (J. F. Ortega, Trad., introd. y notas). Editorial Universidad de Granada

Martínez Zorrilla, D. (2008). *LOS SINTETIZADORES. Una breve introducción.* Lulu.

Ministerio del Ambiente del Perú [MINAM]. (2012). *Informe final: Protocolo nacional de monitoreo de ruido ambiental* (AMC Nº 031-2011-MINAM/OGA). https://www.munibustamante.gob.pe/archivos/1456146994.pdf#:~:text=El%20sonido%20residual%20definido%20por%20la%20NTP%2DISO,los%20sonidos%20espec%C3%ADficos%20bajo%20consideraci%C3%B3n%20son%20suprimibles.

Liern, V. y Queralt, T. (2008). Música y matemáticas. La armonía de los números. Federación Española Sociedades Profesores Matemáticas, Badajoz. https://matesymas.es/jm/12mayo/material.pdf

Lluis-Puebla, E. (2003). *Matemática en la musicología*. *Pro Mathematica, XVII*(33). Universidad Nacional Autónoma de México. https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/promathematica/article/download/8216/8517

Navarro Torres, J. Á. (2021). *Escalas musicales y el timbre: Perspectiva histórica* [Tesis de maestría, Universidad de Murcia, Facultad de Educación]. Archivo digital.

Pastor, A. (2008). Matemáticas en la música. Suma: Revista sobre Enseñanza y Aprendizaje de las Matemáticas, 59, 17-21. https://revistasuma.fespm.es/sites/revistasuma.fespm.es/IMG/pdf/59/017-021.pdf

Pierce, J. R. (1985). *Los sonidos de la música* (A. Lewin Richter, Trad.). Prensa Científica, Editorial Labor. (Trabajo original publicado en 1983)

Porcel, F. M. (2010). “DESARROLLO TECNOLÓGICO EN LA HISTORIA DE LA HUMANIDAD: INVENTORES E INVENTOS. EDISON Y EL FONÓGRAFO”. *INNOVACIÓN Y EXPERIENCIAS EDUCATIVAS*, (27). https://archivos.csif.es/archivos/andalucia/ensenanza/revistas/csicsif/revista/pdf/Numero_27/FRANCISCO_M_PORCEL%20GRANADOS_2.pdf

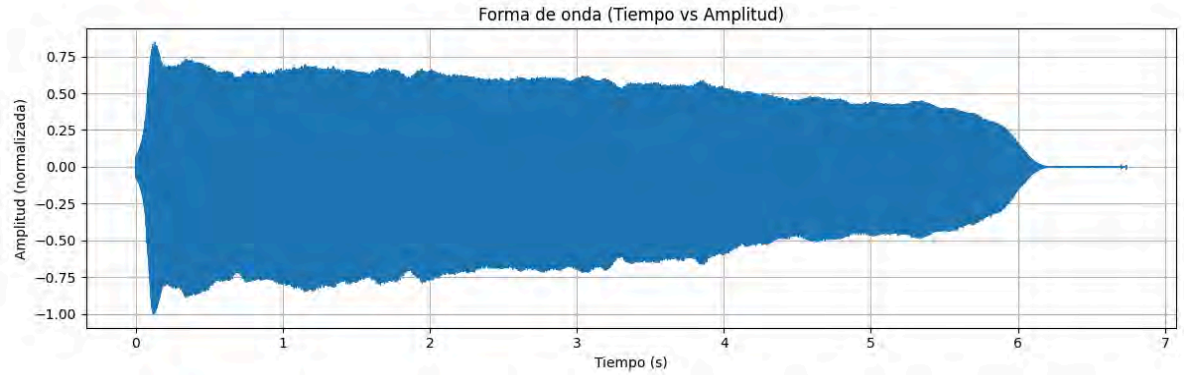
Triano, G. (2024). *Diseño e Implementación de un Theremin* [Tesis de pregrado, Universidad de Sevilla]. idUS. https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/95235/fichero/TFG-5235+Triano+Garrote.pdf

Zamorano Castaño, M. (2010). *Análisis de señales mediante STFT y Wavelet: aplicación a defectología en rodamientos* [Tesis de pregrado, Universidad Carlos III de Madrid]. CORE. https://core.ac.uk/download/pdf/30043746.pdf

9. Anexos

Figura 1

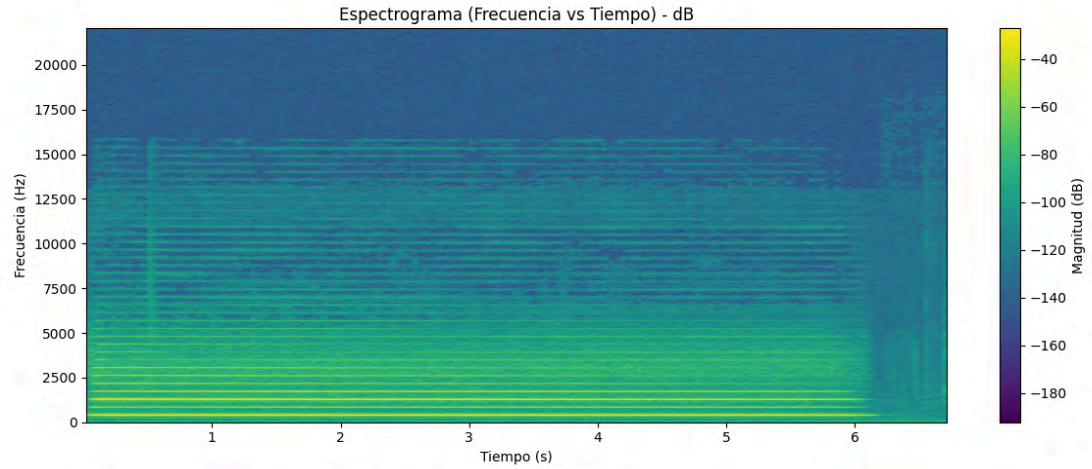
Forma de onda tiempo-amplitud de la nota La de un clarinete



Nota. Fuente: elaboración propia.

Figura 2

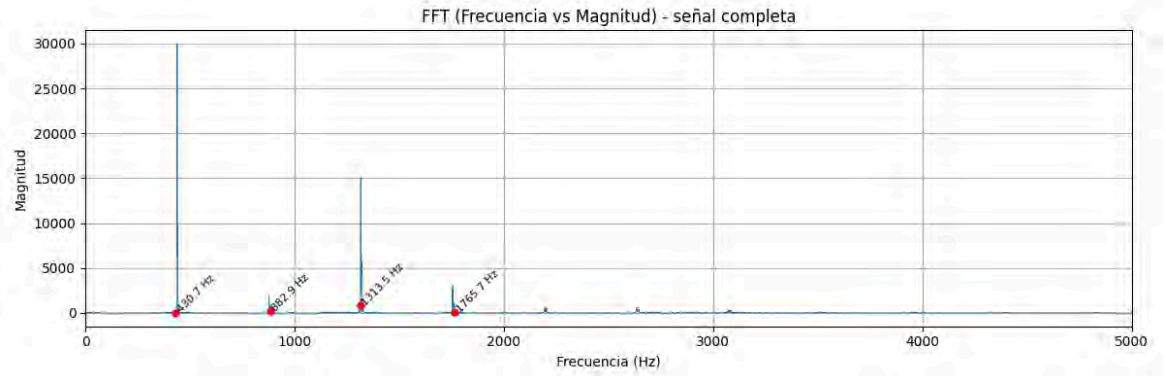
Espectrograma frecuencia-tiempo-amplitud de la nota La de un clarinete



Nota. Fuente: elaboración propia.

Figura 3

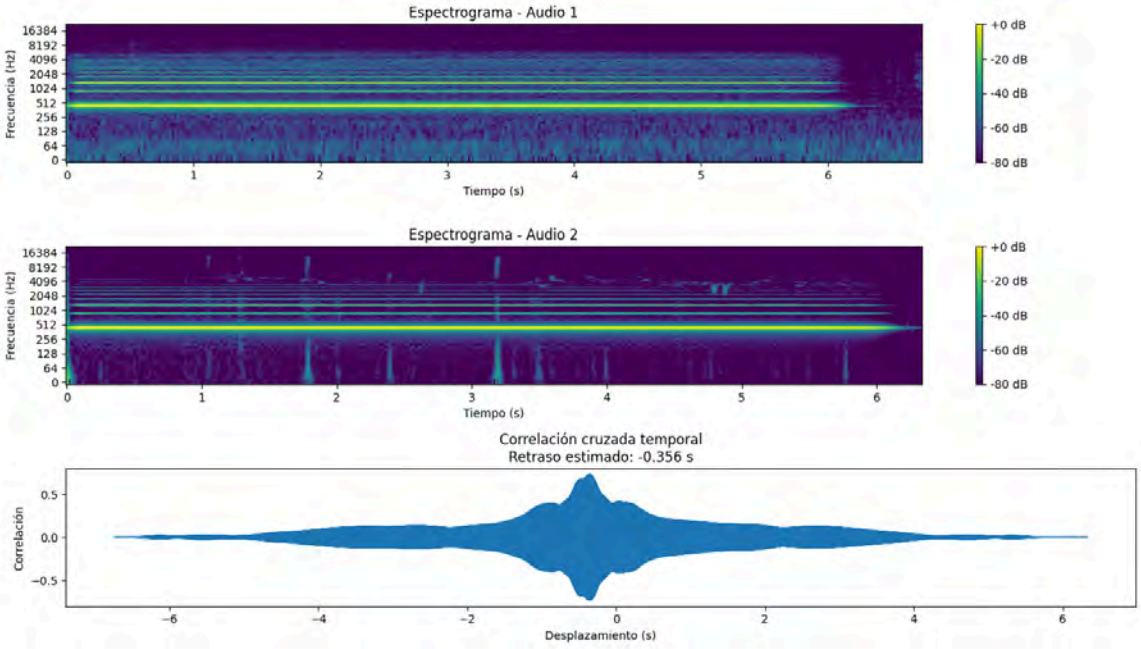
Gráfica Transformada Rápida de Fourier



Nota. Fuente: elaboración propia.

Figura 4

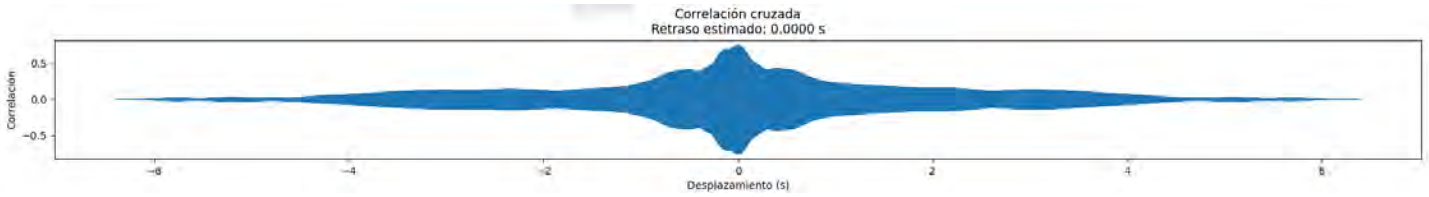
Espectrogramas y correlación cruzada temporal



Nota. Fuente: elaboración propia.

Figura 5

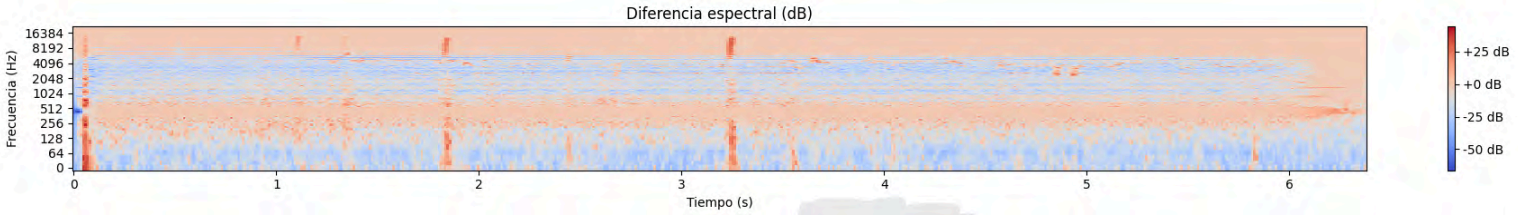
Correlación cruzada temporal entre señal original y señal sintetizada alineada temporalmente



Nota. Fuente: elaboración propia.

Figura 6

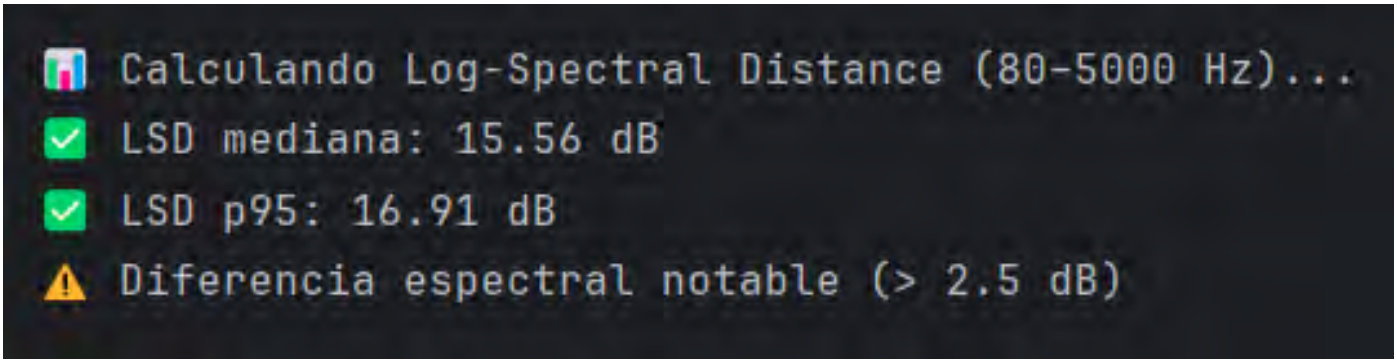
Espectrograma de diferencia



Nota. Fuente: elaboración propia.

Figura 7

LSD mediana y LSD p95 de sonido original y sonido sintetizado alineado temporalmente



Nota. Fuente: elaboración propia.

Título del trabajo:

El Complejo Equilibrio entre Salud y Rendimiento Académico en Adolescentes

Nombre de la autora: **Vega Romero Herrera**

Tutores: **Mª Gloria Hellín Rodríguez**

Centro educativo: **IES Ramón y Cajal**

Curso académico: **2º Bachillerato**

Índice

Resumen....3
1. Introducción y Antecedentes....3
1.1. Salud....3
1.1.1. Hábitos de Vida....3
1.1.1.1. Actividad Física....3
1.1.1.2. Alimentación....3
1.1.1.3. Sueño....4
1.1.1.4. Consumo de Sustancias Psicoactivas....4
1.1.2. Condición Física....4
1.1.2.1. Capacidad Cardiorrespiratoria....4
1.1.2.2. Composición Corporal....4
1.1.2.3. Fuerza Muscular....4
1.1.3. Indicadores de Salud....5
1.1.3.1. Saturación de Oxígeno....5
1.1.3.2. Presión Arterial....5
1.2. Rendimiento Académico....5
2. Objetivos....5
3. Materiales y Metodología....5
3.1. Participantes....5
3.2. Instrumentos y Procedimientos de Medida....6
3.3. Análisis de Datos....6
4. Resultados y Discusión....6
4.1. Resultados Descriptivos....6
4.1.1. Resultados Descriptivos sobre la Condición Física en función del género....6
4.1.2. Resultados Descriptivos sobre los Indicadores de Salud en función del género....7
4.1.3. Prueba de Chi-cuadrado de Pearson que relaciona los Niveles en la Puntuación Total del Cuestionario HBSC con el Género....7
4.1.2. Prueba de Chi-cuadrado de Pearson que relaciona los Niveles en el Rendimiento Académico con el Género....7
4.2. Resultados Inferenciales....7
4.2.1. Prueba T-student para muestras independientes que relaciona la Condición Física con el Género....7
4.2.2. Análisis de varianza (ANOVA) que relaciona los Niveles en la Puntuación Total en el Cuestionario HBSC y el Rendimiento Académico....8
4.2.3. Análisis de varianza (ANOVA) que relaciona los Niveles de Condición Física y el Rendimiento Académico....8
4.2.4. Análisis de varianza (ANOVA) que relaciona los Niveles de Condición Física y la Puntuación Total en el Cuestionario HBSC....8
5. Conclusiones....9
6. Referencias Bibliográficas....9
7. Anexos....12

Resumen

La presente investigación se centró en el estudio de la salud, que engloba los hábitos de vida, la condición física y ciertos indicadores; y su relación con el rendimiento académico. Para evaluar estas variables se llevaron a cabo diferentes pruebas como el cuestionario Health Behaviour in School-aged Children (HBSC) sobre los hábitos de actividad física, alimentación, sueño y consumo de sustancias; la Course Navette para la capacidad cardiorrespiratoria; una bioimpedancia eléctrica en la composición corporal; la dinamometría manual para medir la fuerza; la pulsioximetría sobre la saturación de oxígeno; y el tensiómetro para medir la tensión arterial. Además, se recogieron las calificaciones finales de los alumnos para medir el rendimiento académico. La muestra estuvo compuesta por un total de 92 estudiantes adolescentes con edades comprendidas entre los 16 y los 18 años, de los cuales 34 eran chicos y 58 chicas, que estaban cursando el primer curso de Bachillerato. Tras el análisis estadístico de los datos, los resultados obtenidos presentaron rangos de normalidad en los indicadores de salud, niveles de condición física muy altos-altos de capacidad cardiorrespiratoria, y bajos-muy bajos de masa grasa y fuerza de tren superior; que junto a los hábitos de vida, fueron mejores en los chicos, respecto al género femenino, que alcanzó puntuaciones superiores en el rendimiento académico. Finalmente, se concluye una relación significativa entre la salud y el rendimiento académico.

1. Introducción y Antecedentes

La presente investigación se centra en el estudio de los aspectos que engloban la salud de los adolescentes y su relación con el rendimiento académico.

1.1. Salud

La Organización Mundial de la Salud, define salud como un estado de completo bienestar físico, mental y social, y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades (Organización Mundial de la salud [OMS], 2014). Así pues, es un concepto que engloba y se ve influenciado por diferentes factores. En este estudio se incluyen los hábitos de vida, la condición física, y otros indicadores de salud. Estos factores afectan ampliamente sobre múltiples aspectos de nuestra salud, condicionan el desarrollo o prevención de enfermedades no transmisibles en todos los sistemas del cuerpo humano y son importantes predictores de mortalidad y morbilidad.

1.1.1. Hábitos de Vida

Los hábitos consisten en el conjunto de decisiones personales que determinan el desarrollo de comportamientos que condicionan nuestra salud. La adolescencia es un período crucial en la vida que comprende desde los 10 hasta los 19 años, durante el cual los adolescentes experimentan cambios fisiológicos y psicológicos debidos al crecimiento, que les afectan en cómo se sienten, piensan, e interactúan. En el transcurso de esta etapa se toman decisiones y establecen patrones de conducta que se extenderán a la edad adulta y tendrán una gran impacto en el estilo de vida y salud futuros (Ortega et al., 2008). Dentro de este apartado destacan los hábitos de actividad física, alimentación, sueño y consumo de sustancias.

1.1.1.1. Actividad Física.

La actividad física se define como cualquier movimiento corporal producido por los músculos esqueléticos que requiere un gasto energético. En función de su intensidad, se distinguen tres tipos: baja, moderada y vigorosa (Martínez-Vizcaíno y Sánchez-López, 2008). Las directrices mundiales de la OMS recomiendan, para jóvenes entre 10 y 19 años, realizar un promedio de 60 minutos diarios de actividad física de moderada a vigorosa, principalmente aeróbica; incluyendo al menos tres día a la semana actividades de más intensidad, así como para fortalecer los músculos (OMS, 2021). No obstante, actualmente, el 81% de los adolescentes están físicamente inactivos (Guthold et al., 2020).

1.1.1.2. Alimentación.

La alimentación de un individuo debe estar compuesta por una dieta diversificada, equilibrada y saludable. Los hábitos de alimentación son un factor clave durante el desarrollo de la adolescencia, dados los cambios asociados a esta etapa. Así pues, aumenta la necesidad fisiológica de nutrientes esenciales, como hidratos de carbono, proteínas, vitaminas y minerales. Respecto a la calidad nutricional de los adolescentes, destaca la regularidad en la alimentación, en referencia, por ejemplo, al consumo de desayuno. En esta línea, la evidencia muestra los beneficios para la salud de una dieta que incluya al día un mínimo de frutas y verduras, proteína, cereales integrales, una reducción de las grasas saturadas y trans, la sal y el azúcar (OMS, 2020).

1.1.1.3. Sueño.

El sueño es un complejo proceso biológico durante el cual el cerebro permanece activo, pasando por ciclos de cinco fases distintas. Las recomendaciones generales de sueño en la adolescencia son de 9 a 10 horas diarias (National Institute of Child Health and Human Development Eunice Kennedy Shriver, 2018).

1.1.1.4. Consumo de Sustancias Psicoactivas.

El consumo de sustancias psicoactivas se caracteriza por tener la capacidad de alterar la conciencia, el pensamiento y comportamiento de las personas que las consumen. Además, provocan una alta dependencia o adicción alterando los patrones de consumo y amplificando los efectos tóxicos en órganos y tejidos del organismo. En este sentido, es importante tener en cuenta que el cerebro del adolescente sigue desarrollándose y estas sustancias interfieren.Las sustancias psicoactivas más comunes en la adolescencia son el alcohol y el tabaco. De esta manera, la mayoría de las personas que consumen tabaco en la actualidad empezaron a hacerlo en la adolescencia (OMS, 2024) y el 75,9% de los adolescentes españoles ha bebido alcohol alguna vez en su vida (Observatorio Español de las Drogas y las Adicciones, 2024).

1.1.2. Condición Física

Otro de los aspectos que engloba la salud es la condición física del sujeto, considerada la capacidad de realizar actividad física. Comprende la mayoría de las funciones corporales involucradas en el movimiento, por lo que la evaluación de la condición física constituye una verificación del estado de estos sistemas, así que se considera uno de los marcadores de salud más importantes. Entre los componentes de la condición física se incluyen la capacidad cardiorrespiratoria, la composición corporal y la fuerza muscular (Ortega et al., 2008).

1.1.2.1. Capacidad Cardiorrespiratoria.

La capacidad cardiorrespiratoria valora el funcionamiento de los sistemas circulatorio y respiratorio del organismo para suministrar oxígeno durante la actividad física mantenida (Ortega et al., 2007).

1.1.2.2. Composición Corporal.

La composición corporal se puede definir como el fraccionamiento del peso corporal en compartimentos. Su análisis informa sobre las proporciones de los distintos constituyentes del cuerpo humano. En consecuencia, permite diagnosticar el sobrepeso y la obesidad, definidos como un estado de acumulación excesiva de grasa corporal (Alburquerque Sendín, 2008). Actualmente, hay 340 millones de adolescentes que padecen obesidad en el mundo (OMS, 2025), y alrededor del 80% de los jóvenes con obesidad serán adultos obesos (Simmonds, 2016).

1.1.2.3. Fuerza Muscular.

La fuerza muscular se refiere a la capacidad de un músculo o grupo para producir una contracción. La realización de cualquier movimiento corporal requiere diversos grados de fuerza del sistema muscular para mover el esqueleto (Prieto et al., 2020).

1.1.3. Indicadores de Salud

Finalmente, en el contexto de salud destacan ciertos indicadores como las variables de saturación de oxígeno y presión arterial.

1.1.3.1. Saturación de Oxígeno.

La saturación de oxígeno hace referencia a las moléculas de hemoglobina, una proteína que se encuentra en los glóbulos rojos de nuestra sangre. La hemoglobina tiene la capacidad de unirse, llenarse o saturarse con oxígeno en los pulmones para después transportarlo por el torrente sanguíneo hasta los tejidos y órganos del cuerpo. Esta medida es esencial para evaluar la eficiencia del sistema respiratorio y circulatorio (Clínica Universidad de Navarra, 2023).

1.1.3.2. Presión Arterial.

La presión arterial se define como la fuerza que ejerce la sangre contra la pared de las arterias al circular por estos vasos sanguíneos. Incluye dos mediciones: la presión sistólica, que se mide mientras el corazón bombea; y la presión diastólica, que se mide durante el descanso entre latidos. (Instituto Nacional del Cáncer, s.f.).

1.2. Rendimiento Académico

Gutiérrez-de-Rozas et al. (2022) concluyeron que el rendimiento académico se entiende como un concepto multidimensional que refleja los aprendizajes y habilidades adquiridos, y el grado de dominio alcanzado por los estudiantes en relación a una serie de estándares previamente establecidos. Un bajo rendimiento académico impacta en las futuras oportunidades profesionales (Alexopoulou et al., 2024). En este contexto, se han desarrollado investigaciones que relacionan el rendimiento académico con la actividad física (Bedoya et al., 2023), sueño (Alexopoulou et al., 2024), hábitos de vida (Jiménez Boraita et al., 2024) y condición física (Jiménez, 2020).

2. Objetivos

Por tanto, el objetivo general de la presente investigación es estudiar y analizar la relación existente entre la salud, entendida por los hábitos de vida, la condición física y ciertos indicadores de salud, y el rendimiento académico en los adolescentes estudiantes de primero de Bachillerato.

Asimismo, de manera específica, este estudio busca:

- Examinar la relación entre las variables comprendidas en el concepto de salud, es decir, los hábitos de vida, la condición física y los indicadores de salud.
- Evaluar el grado de salud de los participantes en base a las recomendaciones establecidas.
- Interpretar y diferenciar los resultados en función del género.

3. Materiales y Metodología

Para abordar esta problemática, se estableció una metodología cuantitativa, no experimental, de tipo ex post facto, con un diseño descriptivo y relacional, de corte transversal.

3.1. Participantes

La muestra de este estudio estuvo compuesta por un total de 92 estudiantes adolescentes (34 chicos y 58 chicas). Los criterios de inclusión fueron: tener una edad comprendida entre los 16 y 18 años, estar cursando el primer curso de Bachillerato y participar de forma voluntaria en la totalidad de la evaluación. De esta manera, se excluyó del estudio a los participantes por no completar alguna de las mediciones, es decir, por un registro con datos incompletos o inválidos.

3.2. Instrumentos y Procedimientos de Medida

Respecto al procedimiento y las condiciones, todos los datos se recogieron siguiendo un orden establecido, durante la misma franja horaria, el mismo día de la semana, entre los meses de febrero y abril de 2025, y las mediciones tuvieron lugar en un aula cerrada concreta, a temperatura constante.

En primer lugar, para evaluar la parte de los hábitos de vida relacionados con la salud se utilizó una adaptación del cuestionario alineado con las directrices de la OMS Health Behaviour in School-aged Children (HBSC), en la edición de 2018. Concretamente se hizo uso de los bloques sobre actividad física, alimentación, sueño y consumo de sustancias. De este último apartado se seleccionaron únicamente las cuestiones relacionadas con el alcohol y el tabaco. Este cuestionario se confeccionó y administró en formato digital mediante Google Forms.

Asimismo, las pruebas para la evaluación de la condición física incluyeron:

El test Course Navette, mediante el cual se midió la capacidad cardiorrespiratoria. Esta prueba se llevó a cabo en las instalaciones del instituto y se realizó una medición.

El estudio de la composición corporal admite diferentes métodos. Por un lado, las técnicas antropométricas, que incluyen: el Índice de Masa Corporal (IMC), que relaciona peso y talla; y la fórmula de Masa Grasa Relativa (RFM) que calcula la relación entre talla y medida de cintura en el nivel más estrecho. Para esto se usó un tallímetro y una cinta métrica. Se llevó a cabo una medición por cada prueba. Por otro lado, el modelo bicompartimental, que considera la división del cuerpo humano en una parte de masa grasa y otra parte de masa libre de grasa o masa magra. Para esta medida se realizó una bioimpedancia eléctrica utilizando la Tanita BC-418 MA. Se realizó una medición.

También se utilizó un dinamómetro, con el que se realizó la dinamometría manual, que calcula la fuerza muscular de prensión manual. La operación se repitió dos veces alternando derecha e izquierda.

Los instrumentos para medir los indicadores de salud fueron:

Un pulsioxímetro, que proporcionó una estimación del nivel de saturación de oxígeno y la frecuencia cardiaca. Además, un tensiómetro, utilizado para medir la tensión sistólica y diastólica. En ambos se realizaron dos mediciones en el mismo dedo y brazo.

Finalmente, para el análisis del rendimiento académico, se hizo uso de la media de las calificaciones en la evaluación final de las diferentes asignaturas cursadas a lo largo del primer curso de Bachillerato.

3.3. Análisis de Datos

El análisis de datos se realizó con el paquete IBM SPSS Statistics, versión 22. En primer lugar, los datos extraídos de las diferentes pruebas y del cuestionario fueron recogidos y agrupados en una tabla del software Excel, y se codificaron las variables. A continuación, los datos se introdujeron en el programa estadístico, los datos de los hábitos de vida, la condición física y el rendimiento académico se agruparon por niveles bajo, medio y alto, y se aplicaron las pruebas Chi-cuadrado, T-Student y ANOVA.

4. Resultados y Discusión

4.1. Resultados Descriptivos

4.1.1. Resultados Descriptivos sobre la Condición Física en función del género

En la tabla 1 se presentan los datos descriptivos del apartado de capacidad cardiorrespiratoria en función del género. La media de los hombres es 8,79 períodos, y para las mujeres 5,43 períodos en la Course Navette. Según los valores de referencia para los adolescentes europeos, establecidos a partir del estudio de Ortega et al. (2011) los chicos presentan de media un nivel alto o muy alto de capacidad cardiorrespiratoria y las chicas un nivel alto.

Del mismo modo, la tabla 2 ofrece los datos descriptivos del apartado de composición corporal en función del género. La media de los hombres es 12,38 kg grasos, y para las mujeres 16,87 kg grasos. Al comparar estos datos con los valores de referencia, establecidos a partir de los resultados obtenidos por Moreno et al. (2006), se interpreta un nivel bajo de masa grasa en los chicos y muy bajo en las chicas.

Por último, la tabla 3 ofrece los datos descriptivos de la fuerza muscular en función del género. La media calculada entre la primera y segunda medición de la mano derecha e izquierda en la dinamometría manual es de 30,48 kg en hombres y 19,56 kg en mujeres. Los valores de referencia establecidos a partir

del estudio de Ortega et al. (2011) indican que los chicos y chicas presentan niveles muy bajos de fuerza de tren superior.

4.1.2. Resultados Descriptivos sobre los Indicadores de Salud en función del género

La tabla 4 ofrece los datos descriptivos de la saturación de oxígeno en función del género. La media calculada entre la primera y segunda medición es de 98,07% en hombres y de 98,27% en mujeres. La Sociedad Española de Medicina de Familia y Comunitaria indica que la saturación de oxígeno frecuente se sitúa por encima del 97 %. Así pues, los datos están dentro de los rangos de normalidad. Por consiguiente, al no encontrar hallazgos inusuales, no se realizará un estudio sobre la relación de la saturación de oxígeno con el rendimiento académico y con los demás factores comprendidos en la salud.

Las tablas 5 y 6 ofrecen los datos descriptivos de la presión arterial sistólica y diastólica en función del género. La media calculada entre la primera y segunda medición es de 110,19 / 67,65 mmHg en los hombres y de 100,59 / 67,34 mmHg en las mujeres. Siguiendo con las indicaciones de la Sociedad Europea de la Hipertensión (ESH), la tensión arterial sistólica debe estar por debajo de 130 mmHg y la tensión arterial diastólica ha de ser inferior a 80 mmHg. Los valores de los sujetos no sobrepasan las recomendaciones, por lo tanto, dada la normalidad e inexistencia de valores atípicos, tampoco se estudiará la relación de la presión arterial con las demás variables.

4.1.3. Prueba de Chi-cuadrado de Pearson que relaciona los Niveles en la Puntuación Total del Cuestionario HBSC con el Género

En la tabla 7, con la Prueba de Chi-cuadrado de Pearson se estudiaron los datos de los hábitos de vida en función del género. Los valores de los residuos superiores a 1,96 indican significación en la asociación. Así pues, los hombres se asocian positiva y significativamente a valores altos de la puntuación total del cuestionario HBSC; mientras las mujeres se asocian positiva y significativamente a los valores medios. La puntuación total del cuestionario HBSC incluye las dimensiones sobre actividad física, alimentación, sueño y consumo de sustancias. Así pues, se estudiaron los resultados obtenidos por los adolescentes de España y a nivel internacional, en cada uno de estos bloque del cuestionario HBSC en la edición de 2022. En el estudio se observa que existe mayor práctica de actividad física y número de horas de sueño en los chicos respecto a las chicas. Además, los patrones alimenticios son muy variados entre los dos géneros y no se observan diferencias significativas en función del sexo en cuanto al consumo de sustancias. En definitiva, se deduce que al unificar esos bloques en una puntuación total, la conclusión concuerda.

4.1.4. Prueba de Chi-cuadrado de Pearson que relaciona los Niveles en el Rendimiento Académico con el Género

Igualmente, en la tabla 8 se estudió el rendimiento académico en función del género mediante la Prueba de Chi-cuadrado de Pearson. Los hombres se asocian positiva y significativamente a niveles bajos de rendimiento académico, puesto que los valores de los residuos corregidos son superiores a 1,96. Mientras, las mujeres se asocian positiva y significativamente a niveles altos de rendimiento académico. Estos resultados coinciden con el estudio Jimenez Boraita et al. (2024).

4.2. Resultados Inferenciales

4.2.1. Prueba T-student para muestras independientes que relaciona la Condición Física con el Género

En la Prueba T-Student de análisis de varianzas se estudió la relación del nivel de capacidad cardiorrespiratoria en la prueba Course Navette con el género. En la tabla 9 se puede observar que, asumiendo que las varianzas no son iguales, existen diferencias significativas ($T=7,369$; $P<0,05$) en los períodos registrados entre chicos y chicas. Así pues, los hombres poseen puntuaciones significativamente más altas que las mujeres. Los resultados son similares a los obtenidos en el estudio de Ortega et al. (2005).

Mediante la Prueba T-Student de análisis de varianzas se relacionó la composición corporal con el género. En la tabla 10, se puede apreciar que, asumiendo que las varianzas son iguales, existen diferencias significativas (T=-2,94; P<0,05) en el peso graso entre chicos y chicas. Así pues, las mujeres poseen puntuaciones significativamente más altas que los hombres. Estos datos concuerdan con el estudio de Pacheco-Herrera (2016), que se realizó por bioimpedancia.

Por último, en la Prueba T-Student de análisis de varianzas se relacionó la fuerza muscular con el género. En la tabla 11 se obtuvo que, asumiendo que las varianzas son iguales, existen diferencias significativas (T=9,28; P<0,05) la dinamometría manual entre chicos y chicas. Así pues, los hombres poseen puntuaciones significativamente más altas que las mujeres. La investigación de Pacheco-Herrera (2016) también concluye esto.

4.2.2. Análisis de varianza (ANOVA) que relaciona los Niveles en la Puntuación Total en el Cuestionario HBSC y el Rendimiento Académico

El análisis de varianza (ANOVA) y pruebas post-hoc relacionaron la puntuación total en el cuestionario HBSC con el rendimiento académico. Se puede comprobar que, al pasar de un nivel bajo a niveles medio y alto de estilo de vida, aumentan significativamente las puntuaciones en el rendimiento académico ($F=3,524$; $p<0.05$). En definitiva, se concluye una relación significativa entre los hábitos de vida saludable y el rendimiento académico de los adolescentes. Resultados similares encontramos en el estudio de Bedoya et al. (2023), que encontró una relación estadísticamente significativa respecto entre la actividad física y el rendimiento académico. Además, los resultados concuerdan con la investigación de Chacón-Cuberos et al. (2018), que afirma que los adolescentes que siguen una dieta saludable alcanzaron puntuaciones más altas en el contexto académico. Estos datos coinciden también con la investigación de Alexopoulou et al. (2024), que destacó una correlación positiva entre los buenos hábitos de sueño y el rendimiento académico. Finalmente, las conclusiones de Navalón Mira y Ruiz Callado (2017) indican que el consumo de alcohol y tabaco, tiene un impacto negativo en el rendimiento académico de los adolescentes.

4.2.3. Análisis de varianza (ANOVA) que relaciona los Niveles de Condición Física y el Rendimiento Académico

El análisis de varianza (ANOVA) y pruebas post-hoc relacionaron los niveles de condición física con el rendimiento académico. Se puede comprobar que, al pasar de un nivel bajo a niveles medio y alto de condición física, aumentan significativamente las puntuaciones en el rendimiento académico ($F=3,305$; $p<0.05$). En definitiva, se concluye una relación significativa entre los niveles de condición física y el rendimiento académico de los adolescentes. Estos resultados concuerdan con la investigación de Jiménez (2020) y la revisión de Ortega et al. (2008), que encontraron evidencias de una conexión entre mejoras en la capacidad cardiorrespiratoria y un mayor rendimiento académico. Sin embargo, no se ha encontrado evidencia concreta en referencia a la composición corporal o a la fuerza.

4.2.4. Análisis de varianza (ANOVA) que relaciona los Niveles de Condición Física y la Puntuación Total en el Cuestionario HBSC

En el análisis de varianza (ANOVA) y pruebas post-hoc que relacionan los niveles de condición física con la puntuación total en el cuestionario HBSC, se puede comprobar que, al pasar de un nivel bajo a niveles medio y alto de condición física, aumentan significativamente las puntuaciones en el cuestionario HBSC ($F=88,827$; $p<0.05$). La bibliografía muestra una relación entre hábitos concretos y los diferentes componentes de la condición física del sujeto. Así pues, resultados similares encontramos en el estudio de Ortega (2008), cuyos datos indican que los adolescentes que cumplen con las recomendaciones de actividad física de la OMS tienen mayor probabilidad de poseer una capacidad cardiorrespiratoria saludable. Asimismo, también existe evidencia sobre la asociación de la actividad física y la composición corporal, siguiendo con los resultados de Ortega et al. (2013). Igualmente, la investigación llevada a cabo por Tarraga López et al. (2017), determinó una relación positiva entre una mejor calidad de la dieta y niveles altos de condición física, en general. En concreto, Mistretta et al. (2017) establecen una significación entre una mayor adherencia a la dieta mediterránea, vinculada con elecciones alimentarias más saludables, y la

composición corporal en adolescentes. Del mismo modo, los resultados del estudio de Torrijos Niño (2016) concluyeron que una peor calidad del sueño se asocia con un exceso de peso. Además, los datos concuerdan con el estudio de Santiago et al. (2015), quienes sugieren una relación positiva entre la mejora de la calidad del sueño y la condición física de los adolescentes. Finalmente, en un análisis llevado a cabo por Ortega et al. (2025), los sujetos que consumían tabaco mostraron medias inferiores en los test de condición física.

5. Conclusiones

Tras analizar los resultados y en consonancia con los objetivos planteados, se deducen las siguientes conclusiones de la investigación:

- La salud, entendida por los hábitos de vida y la condición física, está significativamente relacionada con el rendimiento académico de los adolescentes.
- Dentro del concepto de salud, las variables de hábitos de vida y la condición física presenta una relación significativa.
- Los datos sobre los indicadores de salud, es decir, la saturación de oxígeno y la tensión arterial, están dentro de los rangos de normalidad.
- En el marco de la condición física, los sujetos muestran de media niveles muy altos - altos de capacidad cardiorrespiratoria, y bajos - muy bajos de masa grasa y fuerza manual del tren superior.
- Los chicos presentan mejores hábitos de vida y niveles de condición física más altos respecto a las chicas.
- El género femenino alcanza puntuaciones superiores en el rendimiento académico en comparación con el género masculino.

6. Referencias Bibliográficas

Alburquerque Sendín, F. (2008). *Estudio comparativo intermetodológico de la composición corporal (Antropometría, Bia y Dexa)* [Tesis de doctorado, Universidad de Salamanca]. https://doi.org/10.14201/gredos.17593

Alexopoulou, C., Fountoulaki, M., Papavasileiou, A., & Kondili, E. (2024). Sleep habits, academic performance and health behaviors of adolescents in southern Greece. *Healthcare, 12*(7), 775. https://doi.org/10.3390/healthcare12070775

Bedoya, J. D. C., Marmolejo, W. G., Rojas, D. L. M., y Barona, E. J. F. (2023). Relación entre el nivel de actividad física y el rendimiento académico en estudiantes de una institución universitaria. Estudio multicéntrico. *Retos, 47*, 775-782. https://doi.org/10.47197/retos.v47.94795

Chacón-Cuberos, R., Zurita-Ortega, F., Martínez-Martínez, A., Olmedo-Moreno, E. M., & Castro-Sánchez, M. (2018). Adherence to the Mediterranean Diet Is Related to Healthy Habits, Learning Processes, and Academic Achievement in Adolescents: A Cross-Sectional Study. *Nutrients*, *10*(11), 1566. https://doi.org/10.3390/nu10111566

Clínica Universidad de Navarra. (2023). *Saturación*. https://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/saturacion

Guthold, R., Stevens, G. A., Riley, L. M., & Bull, F. C. (2020). Global trends in insufficient physical activity among adolescents: A pooled analysis of 298 population-based surveys with 1·6 million participants. *The Lancet Child & Adolescent Health, 4*(1), 23-35. https://doi.org/10.1016/S2352-4642(19)30323-2

Gutiérrez-de-Rozas, B., López-Martín, E., y Molina, E. C. (2022). Condicionantes del rendimiento académico: Revisión sistemática de 25 años de meta-análisis. *Revista de Educación, 398*, 39-85. https://doi.org/10.4438/1988-592X-RE-2022-398-552

Instituto Nacional del Cáncer. (s.f.). *Presión arterial*. https://www.cancer.gov/espanol/publicaciones/diccionarios/diccionario-cancer/def/presion-arterial

Jiménez, M. A. O. (2020). Condición física, composición corporal y rendimiento académico en niños/as con sobrepeso/obesidad. *SPORT TK-Revista EuroAmericana de Ciencias del Deporte*, 47-56. https://doi.org/10.6018/sportk.454171

Jiménez Boraita, R., Dalmau-Torres, J. M., Gargallo-Ibort, E., Arriscado-Alsina, D. (2024). Factores asociados al rendimiento académico de los adolescentes de La Rioja (España): Hábitos de vida, indicadores de salud y factores sociodemográficos. *Nutrición Hospitalaria, 41*(1), 19-27. https://doi.org/10.20960/nh.04599

Martínez-Vizcaíno, V., y Sánchez-López, M. (2008). Relación entre actividad física y condición física en niños y adolescentes. *Revista Española de Cardiología, 61*(2), 108-111. https://doi.org/10.1157/13116196

Mistretta, A., Marventano, S., Antoci, M., Cagnetti, A., Giogianni, G., Nolfo, F., Rametta, S., Pecora, G., & Marranzano, M. (2017). Mediterranean diet adherence and body composition among Southern Italian adolescents. *Obesity Research & Clinical Practice*, *11*(2), 215-226. https://doi.org/10.1016/j.orcp.2016.05.007

Moreno, L. A., Mesana, M. I., González-Gross, M., Gil, C. M., Fleta, J., Wärnberg, J., Ruiz, J. R., Sarría, A., Marcos, A., Bueno, M., & and the AVENA Study Group. (2006). Anthropometric body fat composition reference values in Spanish adolescents. The AVENA Study. *European Journal of Clinical Nutrition*, *60*(2), 191-196. https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602285

National Institute of Child Health and Human Development Eunice Kennedy Shriver [NICHD]. (2018, 9 de julio). *Sueño: Información sobre el estado.* https://espanol.nichd.nih.gov/salud/temas/sleep/informacion

Navalón Mira, A., & Ruiz Callado, R. (2017). Consumo de sustancias psicoactivas y rendimiento académico: Una investigación en estudiantes de educación secundaria obligatoria. *Health and addictions: salud y drogas*, *17*(1), 45-52. http://hdl.handle.net/10045/62547

Observatorio Español de las Drogas y las Adicciones. Informe 2024. Alcohol, tabaco y drogas ilegales en España. Madrid: Ministerio de Sanidad. Delegación del Gobierno para el Plan Nacional sobre Drogas; 2024. 294 p. https://pnsd.sanidad.gob.es/profesionales/sistemasInformacion/sistemaInformacion/pdf/2024/2024_InformeESTUDES.pdf

Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2014). *Documentos básicos.* 48ª ed. https://iris.who.int/handle/10665/202593

Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2020, 29 de abril). *Healthy diet*. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet

Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2021). *Directrices de la OMS sobre actividad física y comportamientos sedentarios*. https://iris.who.int/handle/10665/349729

Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2024, 26 de noviembre). salud de los adolescentes y los adultos jóvenes. https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/adolescents-health-risks-and-solutions

Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2025, 7 de mayo). *Obesity and overweight*. https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight

Ortega, F. B., Ruiz, J. R., & Castillo, M. J. (2013). Actividad física, condición física y sobrepeso en niños y adolescentes: Evidencia procedente de estudios epidemiológicos. *Endocrinología y Nutrición*, *60*(8), 458-469. https://doi.org/10.1016/j.endonu.2012.10.006

Ortega, F. B., Ruiz, J. R., Castillo, M. J., & Sjöström, M. (2008). Physical fitness in childhood and adolescence: A powerful marker of health. *International Journal of Obesity, 32*(1), 1-11. https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0803774

Ortega, F. B., Ruiz, J. R., Castillo, M. J., Moreno, L. A., González-Gross, M., Wärnberg, J., & Gutiérrez, Á. (2005). Bajo nivel de forma física en los adolescentes españoles. Importancia para la salud cardiovascular futura (Estudio AVENA). *Revista Española de Cardiología*, *58*(8), 898-909. https://doi.org/10.1157/13078126

Ortega, F. B., Ruiz, J. R., y Hurtig-Wennlöf, A. (2007). Los adolescentes físicamente activos presentan una mayor probabilidad de tener una capacidad cardiovascular saludable independientemente del grado de adiposidad. The European Youth Heart Study*. *Revista española de cardiología, 61*(2), 123-129. https://doi.org/10.1157/13116199

Ortega, F. R. R., Cantó, E. G., García, P. L. R., & Guillamón, A. R. (2025). Análisis de la relación entre la condición física y el consumo de tabaco en adolescentes de la Región de Murcia en función de la edad y el sexo. *JUMP*, *11*, e9669. https://doi.org/10.17561/jump.n11.9669

Pacheco-Herrera, J. D. (2016). Índice general de fuerza y adiposidad como medida de la condición física relacionada con la salud en niños y adolescentes de Bogotá, Colombia: Estudio FUPRECOL. *Nutrición Hospitalaria*, *33*(3). https://doi.org/10.20960/nh.261

Prieto, D. P. N., Beltrán, N. A. C., Ramírez, D. A. R., Sánchez, L. D. R., Cardozo, A. L. S., y Gómez, M. E. S. (2020). Evaluación de la fuerza muscular en niños: Una revisión de la literatura. *Archivos de Medicina (Manizales), 20*(2). https://doi.org/10.30554/archmed.20.2.3482.

Santiago, L. D. C. S., Lyra, M. J., Cunha Filho, M., Cruz, P. W. D. S., Santos, M. A. M. D., & Falcão, A. P. S. T. (2015). Efeito de uma sessão de treinamento de força sobre a qualidade do sono de adolescentes. *Revista Brasileira de Medicina do Esporte*, *21*(2), 148-152. https://doi.org/10.1590/1517-869220152101144430

Simmonds, M., Llewellyn, A., Owen, C. G., & Woolacott, N. (2016). Predicting adult obesity from childhood obesity: a systematic review and meta-analysis. *Obesity reviews : an official journal of the International Association for the Study of Obesity*, *17*(2), 95–107. https://doi.org/10.1111/obr.12334

Tarraga Lopez, P. J. J., Garcia Canto, E., Rodriguez Garcia, P. L., Perez Soto, J. J., Rosa Guillamon, A., & Tarraga Marcos, M. L. (2017). Actividad física, condición física y estatus nutricional en escolares de 8 a 12 años. *Nutrición Hospitalaria*. https://doi.org/10.20960/nh.813

7. Anexos

Tabla 1

Resultados descriptivos capacidad cardiorrespiratoria en función del sexo

	Género		Estadístico	Error estándar
Períodos Course Navette	Hombre	Media	8,79	,413
		Mediana	9,00	
		Varianza	5,805	
		Desviación estándar	2,409	
		Mínimo	5	
		Máximo	15	
	Mujer	Media	5,43	,194
		Mediana	5,00	
		Varianza	2,179	
		Desviación estándar	1,476	
		Mínimo	2	
		Máximo	9	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2

Resultados descriptivos composición corporal en función del sexo

	Género		Estadístico	Error estándar
Peso graso	Hombre	Media	12,376	1,2930
		Mediana	11,250	
		Varianza	56,839	
		Desviación estándar	7,5392	
		Mínimo	3,5	
		Máximo	40,8	
	Mujer	Media	16,869	,8916
		Mediana	15,800	
		Varianza	46,109	
		Desviación estándar	6,7903	
		Mínimo	5,6	
		Máximo	39,7	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3

Resultados descriptivos fuerza muscular en función del sexo

	Género		Estadístico	Error estándar
Media dinamometría manual	Hombre	Media	30,4779	1,06594
		Mediana	30,5750	
		Varianza	38,632	
		Desviación estándar	6,21544	
		Mínimo	18,25	
		Máximo	44,80	
	Mujer	Media	19,5655	,64886
		Mediana	19,2125	
		Varianza	24,419	
		Desviación estándar	4,94158	
		Mínimo	9,05	
		Máximo	31,60	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4

Resultados descriptivos saturación de oxígeno en función del sexo

	Género		Estadístico	Error estándar
Media saturación de oxígeno	Hombre	Media	98,0735	,13539
		Mediana	98,0000	
		Varianza	,623	
		Desviación estándar	,78944	
		Mínimo	96,00	
		Máximo	99,50	
	Mujer	Media	98,2759	,08266
		Mediana	98,0000	
		Varianza	,396	
		Desviación estándar	,62948	
		Mínimo	97,00	
		Máximo	99,50	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tablas 5 y 6

Resultados descriptivos tensión sistólica y diastólica en función del sexo

	Género		Estadístico	Error estándar
Media tensión sistólica	Hombre	Media	110,1912	1,78514
		Mediana	110,2500	
		Varianza	108,349	
		Desviación estándar	10,40907	
		Mínimo	84,00	
		Máximo	128,50	
	Mujer	Media	100,5862	1,03326
		Mediana	100,5000	
		Varianza	61,922	
		Desviación estándar	7,86907	
		Mínimo	78,50	
		Máximo	116,00	

	Género		Estadístico	Error estándar
Media tensión diastólica	Hombre	Media	67,6471	1,33554
		Mediana	67,0000	
		Varianza	60,644	
		Desviación estándar	7,78745	
		Mínimo	52,50	
		Máximo	84,00	
	Mujer	Media	67,3362	,87561
		Mediana	67,5000	
		Varianza	44,468	
		Desviación estándar	6,66846	
		Mínimo	55,00	
		Máximo	82,50	

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7

Prueba Chi-cuadrado de Pearson relación entre hábitos de vida y género

			Puntuación total cuestionario HBSC en niveles			
			Bajo	Medio	Alto	Total
Género	Hombre	Recuento	1	9	24	34
		% dentro de Género	2,9%	26,5%	70,6%	100,0%
		% del total	1,1%	9,8%	26,1%	37,0%
		Residuo corregido	-,1	-2,4	2,4	
	Mujer	Recuento	2	30	26	58
		% dentro de Género	3,4%	51,7%	44,8%	100,0%
		% del total	2,2%	32,6%	28,3%	63,0%
		Residuo corregido	,1	2,4	-2,4	
Total		Recuento	3	39	50	92
		% dentro de Género	3,3%	42,4%	54,3%	100,0%
		% del total	3,3%	42,4%	54,3%	100,0%

X2=5,85; p<0.05; 0 casillas (0%) frecuencias esperadas inferiores a 5

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8

Prueba Chi-cuadrado de Pearson relación entre rendimiento académico y género

			Rendimiento académico en niveles			
			Bajo	Medio	Alto	Total
Género	Hombre	Recuento	6	22	5	33
		% dentro de Género	18,2%	66,7%	15,2%	100,0%
		% del total	6,7%	24,4%	5,6%	36,7%
		Residuo corregido	2,0	1,6	-2,9	
	Mujer	Recuento	3	28	26	57
		% dentro de Género	5,3%	49,1%	45,6%	100,0%
		% del total	3,3%	31,1%	28,9%	63,3%
		Residuo corregido	-2,0	-1,6	2,9	
Total		Recuento	9	50	31	90
		% dentro de Género	10,0%	55,6%	34,4%	100,0%
		% del total	10,0%	55,6%	34,4%	100,0%

X2=10,27; p<0.05; 0 casillas (0%) frecuencias esperadas inferiores a 5.

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 9

Prueba T-student de análisis de varianzas para muestras independientes relación entre capacidad cardiorrespiratoria y género

	Género	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Períodos Course Navette	Hombre	34	8,79	2,409	,413
	Mujer	58	5,43	1,476	,194

		Prueba de Levene de calidad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias		
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)
Períodos Course Navette	Se asumen varianzas iguales	12,402	,001	8,312	90	,000
	No se asumen varianzas iguales			7,369	47,784	,000

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 10

Prueba T-student de análisis de varianzas para muestras independientes relación entre composición corporal y género

	Género	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Peso graso	Hombre	34	12,376	7,5392	1,2930
	Mujer	58	16,869	6,7903	,8916

		Prueba de Levene de calidad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias		
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)
Peso graso	Se asumen varianzas iguales	,002	,961	-2,940	90	,004
	No se asumen varianzas iguales			-2,860	63,531	,006

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11

Prueba T-student de análisis de varianzas para muestras independientes relación entre fuerza muscular y género

	Género	N	Media	Desviación estándar	Media de error estándar
Media dinamometría manual	Hombre	34	30,4779	6,21544	1,06594
	Mujer	58	19,5655	4,94158	,64886

		Prueba de Levene de calidad de varianzas		prueba t para la igualdad de medias		
		F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)
Media dinamometría manual	Se asumen varianzas iguales	1,826	,180	9,281	90	,000
	No se asumen varianzas iguales			8,745	57,422	,000

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 12

Anova relación entre hábitos de vida y rendimiento académico

Estadísticos Descriptivos

Variable dependiente: Rendimiento académico

Puntuación total en el cuestionario HBSC	Media	Desviación estándar	N
Bajo	5,02	2,073	3
Medio	6,73	1,405	39
Alto	7,26	1,685	50
Total	6,96	1,625	92

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Rendimiento académico

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Cuadrático promedio	F	Sig.
Modelo corregido	17,636[a]	2	8,818	3,524	,034
Interceptación	954,005	1	954,005	381,286	,000
Puntuación total en el cuestionario HBSC	17,636	2	8,818	3,524	,034
Error	222,685	89	2,502		
Total	4700,010	92			
Total corregido	240,320	91			

a. R al cuadrado = ,073 (R al cuadrado ajustada = ,053)

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13

Relación entre condición física y rendimiento académico

Estadísticos Descriptivos

Variable dependiente: Rendimiento académico

Niveles de condición física	Media	Desviación estándar	N
Bajo	6,03	1,277	14
Medio	6,90	1,533	28
Alto	7,26	1,685	50
Total	6,96	1,625	92

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Rendimiento académico

DMS

(I) Niveles de condición física	(J) Niveles de condición física	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
Bajo	Medio	-,87	,519	,096
	Alto	-1,23	,479	,012
Medio	Bajo	,87	,519	,096
	Alto	-,35	,374	,348
Alto	Bajo	1,23	,479	,012
	Medio	,35	,374	,348

Se basa en las medias observadas.

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14

Relación entre condición física y hábitos de vida

Estadísticos Descriptivos

Variable dependiente: Puntuación total en el cuestionario HBSC

Niveles de condición física	Media	Desviación estándar	N
Bajo	72,2857	11,77630	14
Medio	79,2143	5,69832	28
Alto	95,2600	5,34068	50
Total	86,8804	11,58613	92

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Puntuación total en el cuestionario HBSC

DMS

(I) Niveles de condición física	(J) Niveles de condición física	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.
Bajo	Medio	-6,9286	2,21548	,002
	Alto	-22,9743	2,04657	,000
Medio	Bajo	6,9286	2,21548	,002
	Alto	-16,0457	1,59760	,000
Alto	Bajo	22,9743	2,04657	,000
	Medio	16,0457	1,59760	,000

Se basa en las medias observadas.

Nota. Fuente: Elaboración propia.

Título del trabajo:

Influencia de la actividad física en el aprendizaje de las matemáticas

Autora (nombre y apellidos del alumno o alumnos) Curso Académico y Nivel

Candela García Baños. Curso 25/26. 2º de Bachillerato

Datos de la Tutora:

María Dolores Martínez García. Profesora de Biología y Geología. IES Floridablanca.

Centro docente:

IES Floridablanca

Índice con los epígrafes de los trabajos y su paginación

INTRODUCCIÓN — pág. 4
ANTECEDENTES — pág. 4
- 2.1 Actividad física a lo largo de los años — pág. 4
- 2.2 Enseñanza y factores determinantes para el aprendizaje de las matemáticas — pág. 4-5
- 2.3 Investigaciones previas: mecanismos neurobiológicos que explican la relación entre actividad física y aprendizaje matemático — pág. 5

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS — pág. 6
MATERIALES Y MÉTODOS — pág. 6
- 4.1 Procedimiento 1: Encuesta correlacional — pág. 6
- 4.2 Procedimiento 2: Prueba de nivel de matemáticas y análisis correlacional/comparativo — pág. 6-7

RESULTADOS — pág. 7
- 5.1 Resultados procedimiento 1 — pág. 7
- 5.2 Resultados procedimiento 2 — pág. 7-8

CONCLUSIONES — pág. 8-10
AGRADECIMIENTOS — pág. 10
BIBLIOGRAFÍA — pág. 10-11
ANEXOS — pág. 12

Resumen del Tema a desarrollar (250 palabras máximo, en castellano)

La actividad física se ha consolidado como un factor relevante en el desarrollo integral del alumnado y despierta interés en el ámbito educativo por su posible relación con el rendimiento académico. Esta investigación analiza la relación entre la práctica de actividad física y el aprendizaje de las matemáticas en alumnado de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato. Se empleó un enfoque cuantitativo, transversal y correlacional para analizar relaciones sin manipular variables. Se aplicaron dos procedimientos: una encuesta a una muestra amplia sobre horas semanales de actividad física y calificaciones en matemáticas, que ofreció una visión general de la relación, y una prueba validada a un grupo reducido, que evaluó competencias específicas, mostrando diferencias en numeración, cálculo, geometría y medida, y resolución de problemas, algo innovador en el campo estudiado. Así, se obtuvo tanto una perspectiva global como un análisis detallado por competencias. Los resultados muestran una asociación positiva entre actividad física y rendimiento matemático, no homogénea entre competencias, destacando mayor impacto en resolución de problemas, seguido de numeración y cálculo, y finalmente geometría y medida, sin diferencias relevantes. Se concluye que fomentar la práctica regular de actividad física puede contribuir positivamente al aprendizaje matemático, especialmente en competencias que requieren razonamiento, flexibilidad cognitiva y toma de decisiones. Estos hallazgos respaldan la integración de hábitos activos como elemento complementario en una educación integral orientada a mejorar el rendimiento académico.

Resumen del Tema en inglés (250 palabras)

Physical activity has become established as a key factor in students' holistic development and is generating interest in the educational field due to its potential link with academic performance. This research analyzes the relationship between physical activity and mathematics learning among students in Compulsory Secondary Education and Baccalaureate. A quantitative, cross-sectional, and correlational approach was used to analyze relationships without manipulating variables. Two procedures were applied: a survey of a large sample regarding weekly hours of physical activity and mathematics grades, which provided an overview of the relationship, and a validated test administered to a small group, which assessed specific competencies, revealing differences in numeracy, calculation, geometry and measurement, and problem-solving, something innovative in the field studied. This allowed for both a global perspective and a detailed analysis by competency. The results show a positive association between physical activity and mathematical performance, although this association is not uniform across competencies. The greatest impact was observed in problem-solving, followed by numeracy and calculation, and finally geometry and measurement, with no significant differences in the latter. It is concluded that promoting regular physical activity can contribute positively to mathematical learning, especially in competencies that require reasoning, cognitive flexibility, and decision-making. These findings support the integration of active habits as a complementary element in a comprehensive education aimed at improving academic performance.

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

1. Introducción

En el siglo XXI, la actividad física (AF) forma parte de la vida diaria de muchas personas. Está ampliamente comprobado que la AF contribuye a la salud cardiovascular y respiratoria, mejora la condición física y previene problemas musculoesqueléticos, circulatorios y metabólicos, además de influir positivamente en el estado de ánimo y la salud mental. A pesar de que esta suele asociarse con hábitos de vida saludables, la inactividad física se ha convertido en un problema de salud pública que favorece la aparición de gran cantidad de problemas de salud.

Lo que nos indica la ciencia actual es que los beneficios de la AF van mucho más allá de la salud física y mental. Este trabajo se centra en un aspecto clave del aprendizaje: las matemáticas. Diversos estudios muestran que la AF favorece la neurogénesis, la neuroprotección y la regulación neuroquímica, optimizando funciones como la atención, la memoria y la flexibilidad cognitiva. Estos efectos, observados en modelos animales y en población humana (Ruiz-Ariza et al., 2016), respaldan su papel como modulador del aprendizaje (Hillman et al., 2008; Donnelly et al., 2016; Mullender-Wijnsma et al., 2015). En España, los estudios que analizan específicamente la relación entre actividad física y aprendizaje de las matemáticas todavía son limitados, (Ruiz-Ariza et al., 2016) y abordan las matemáticas de forma global, sin atender a las competencias que las componen. Esto dificulta comprender cómo los beneficios cognitivos de la AF se traducen en un mejor desempeño en esta asignatura. Por ello, el presente trabajo busca aportar evidencia mediante un enfoque que combina la revisión teórica con la recopilación y análisis de datos cuantitativos. Con la finalidad de profundizar en cómo los niveles de actividad física pueden influir en el rendimiento matemático y ofrecer información útil para el ámbito académico y el diseño de estrategias educativas que integren movimiento y aprendizaje.

La hipótesis que guía este estudio sostiene que "la actividad física influye positivamente en el aprendizaje de las matemáticas". Para comprobarla, se combinará información teórica de diversas fuentes con el análisis de dos procedimientos. El primero consistirá en la aplicación de una encuesta que relacionará las horas semanales de actividad física con la nota final de matemáticas en una muestra amplia de estudiantes, mientras que el segundo, aplicado a un grupo más reducido, desglosará los datos según distintas habilidades del aprendizaje matemático. Finalmente, los resultados se interpretarán comparándolos con la literatura existente a fin de extraer conclusiones fundamentadas.

2. Antecedentes y estado de la cuestión

2.1 Actividad física a lo largo de los años

Desde la antigüedad, la actividad física ha sido considerada esencial para el desarrollo integral del ser humano. En la Antigua Grecia, el concepto de "paideia" promovía un equilibrio entre desarrollo físico, intelectual y orgánico, y filósofos como Platón defendían la gimnasia para el cuerpo y la música para el alma, asociando la actividad física con beneficios cognitivos e intelectuales (Sainz, 1992; Zataraín, 2023). Durante el Renacimiento, se retomaron los ideales clásicos y se revalorizó la educación física como parte integral de la formación humana, con autores como Mercurialis que organizaron la gimnasia en dimensiones militar, atlética y médica para mantener la salud mental y física (Sainz, 1992).

En el siglo XVII, René Descartes reforzó la visión de "mens sana in corpore sano", resaltando la importancia del ejercicio para la salud mental. En el XVIII, Rousseau y Pestalozzi abogaron por integrar el desarrollo físico, intelectual y moral, destacando la actividad física como natural y necesaria en la infancia. La escuela alemana, con Johann Guts Muths, consolidó estos principios, promoviendo un equilibrio entre cuerpo y espíritu (Zataraín, 2023).

En España, la educación física se desarrolló más lentamente (Sainz, 1992). Durante la Segunda República se intentó fortalecer este área, pero la Guerra Civil interrumpió los avances; en el franquismo, se utilizó principalmente con fines de adoctrinamiento, reduciendo su función educativa. Hacia el siglo XIX, escuelas gimnásticas de Suecia y Francia empezaron a considerar la educación física como disciplina científica, vinculando movimiento, inteligencia y facultades mentales, y reconociendo su papel en el desarrollo cognitivo y el bienestar integral (Zataraín, 2023).

2.2 Enseñanza y factores determinantes para el aprendizaje de las matemáticas

El objetivo de la enseñanza de las matemáticas no es sólo que los niños aprendan reglas aritméticas, unidades de medida y nociones geométricas, sino que su principal finalidad es que puedan resolver problemas y aplicar conceptos y habilidades matemáticas para desenvolverse en la vida cotidiana (Ruiz Ahmed, 2011).

Distintas teorías han explicado cómo se produce dicho aprendizaje. La teoría asociacionista de Thorndike defendía que se basa en la repetición y la formación de asociaciones estímulo-respuesta, priorizando la práctica y el refuerzo.

En contraste, autores como Browell propusieron un aprendizaje significativo centrado en la comprensión conceptual frente a la memorización mecánica (Ruiz Ahmed, 2011). Posteriormente, enfoques cognitivos representados por Piaget, Ausubel, Bruner y Vygotsky pusieron el foco en los procesos internos del estudiante, entendiendo el aprendizaje como una construcción activa del conocimiento basada en la organización y relación entre conceptos (Jonsson et al., 2020).

En la actualidad, se distinguen principalmente dos grandes enfoques: el conductista, que concibe el aprendizaje como un proceso pasivo basado en la repetición, y el cognitivo, que lo entiende como un proceso activo de estructuración y construcción significativa del conocimiento (Ruiz Ahmed, 2011). Además, intervienen factores individuales (como motivación y habilidades cognitivas) y contextuales (como la metodología docente) que influyen de manera decisiva. En conjunto, la evidencia señala que el aprendizaje de las matemáticas depende de la interacción entre teorías educativas, características del alumnado y estrategias pedagógicas orientadas a la comprensión y aplicación significativa del conocimiento.

2.3 Investigaciones previas: Mecanismos neurobiológicos que explican la relación entre actividad física y aprendizaje matemático

Diversas investigaciones actuales coinciden en que la actividad física influye de forma directa en el funcionamiento cerebral a través de distintos mecanismos neurobiológicos estrechamente relacionados con funciones cognitivas como la memoria, la atención, la motivación y la comprensión, fundamentales para el aprendizaje matemático. A continuación, se describen los principales mecanismos implicados.

El factor neurotrófico derivado el cerebro (BDNF) es una proteína implicada en la supervivencia neuronal, la neurogénesis y el fortalecimiento de las conexiones sinápticas, especialmente en el hipocampo y la corteza prefrontal, regiones clave para el aprendizaje (Trejo & Sanfeliu, 2020; Sánchez, 2019). La actividad física incrementa sus niveles (Marques-Aleixo et al.,2019), y Szuhany et al. (2015) concluyó que el ejercicio eleva estas concentraciones tanto a corto como a largo plazo. En población escolar, mayores niveles de condición cardiorrespiratoria se asocian con mayor BDNF y mejor rendimiento en lectura y matemáticas (Sánchez, 2019). Este incremento favorece la memoria de trabajo, la consolidación de contenidos, la comprensión conceptual y la capacidad para adquirir nuevos conocimientos.

El flujo sanguíneo cerebral hace referencia al aporte de sangre, oxígeno y glucosa que reciben las neuronas para sostener su actividad metabólica. Durante el ejercicio físico aumenta el gasto cardíaco y la perfusión cerebral, optimizando el entorno fisiológico del cerebro (Trejo & Sanfeliu, 2020). La UMH (2016) destaca que la mejora de la capacidad cardiorrespiratoria se asocia por ello con mejor rendimiento cognitivo, mientras que Marques-Aleixo et al. (2019) lo asocia con un mejor desempeño en tareas ejecutivas. El Hospital Clínico de Barcelona (2022) señala que este mayor aporte de oxígeno y nutrientes favorece la concentración y el aprendizaje. En consecuencia, una adecuada oxigenación cerebral mejora la atención sostenida reduciendo la fatiga cognitiva y potenciando la concentración.

Los neurotransmisores son sustancias químicas que permiten la comunicación entre neuronas y regulan procesos como la motivación, el estado de ánimo y la atención. Entre los más relevantes en el contexto del ejercicio se encuentran la dopamina, la serotonina y la noradrenalina (Trejo y Sanfeliu, 2020). La práctica regular de actividad física incrementa la liberación de estos compuestos, generando efectos sobre la plasticidad cerebral (Marques-Aleixo et al., 2019). En población infantil y adolescente, un perfil neuroquímico equilibrado se asocia con mejor atención y memoria de trabajo (Sánchez, 2019), y la UMH (2016) subraya su papel en la consolidación de redes neuronales implicadas en el aprendizaje. Este entorno neuroquímico favorece la motivación académica, la persistencia ante tareas complejas y la eficacia en el razonamiento lógico-matemático.

Las mioquinas son proteínas y péptidos liberados por el músculo durante la contracción que actúan como mensajeros entre el tejido muscular y el cerebro (Trejo & Sanfeliu, 2020; UMH, 2016). Entre ellas destacan la irisina y la interleucina-6 (IL-6), cuya liberación aumenta con el ejercicio aeróbico y de resistencia. Estas sustancias, además de estimular la producción de BDNF, favorecen la neurogénesis y la supervivencia neuronal en el hipocampo (Trejo & Sanfeliu, 2020; Marques-Aleixo et al., 2019). En el ámbito educativo, se asocian con mejoras en atención sostenida, memoria de trabajo y velocidad de procesamiento (Sánchez, 2019; UMH, 2016), además de participar en la regulación de la inflamación cerebral y la protección neuronal (Hospital Clínico de Barcelona, 2022). En conjunto, estas evidencias sugieren que los músculos no solo cumplen funciones locomotoras, sino que también actúan como órganos endocrinos que modulan la actividad cerebral y favorecen la adaptación cognitiva.

El cortisol es una hormona liberada en respuesta al estrés a través del eje hipotálamo-hipófisis-adrenal (HHA) (Trejo & Sanfeliu, 2020; UMH, 2016). La actividad física regular actúa como modulador de este eje hormonal (Marques-Aleixo et al., 2019). Sánchez (2019) documenta que escolares físicamente activos muestran menor

reactividad al estrés. Este equilibrio hormonal favorece la memoria de trabajo y el autocontrol durante situaciones académicas exigentes, reduciendo la ansiedad y facilitando un procesamiento más eficaz de la información.

En conjunto, estas evidencias muestran que la actividad física interviene en distintos niveles del procesamiento cognitivo: memoria, atención, motivación, flexibilidad y regulación emocional; habilidades necesarias para un aprendizaje matemático eficaz.

3. Hipótesis de trabajo y objetivos de la investigación

Hipótesis: La actividad física influye en el aprendizaje de las matemáticas en estudiantes de educación secundaria.

El objetivo general de este estudio es analizar la relación entre la práctica de actividad física y el aprendizaje de las matemáticas en estudiantes de la ESO y Bachillerato. Además, se plantean los siguientes tres objetivos específicos:

OE1: Identificar los hábitos de actividad física de los estudiantes participantes.

OE2: Evaluar el rendimiento matemático de los participantes mediante dos procedimientos: una encuesta y una prueba validada, que estudia por separado diferentes habilidades; y analizar su relación con la práctica de actividad física.

OE3: Comparar la relación entre la actividad física y el rendimiento académico en las distintas áreas de competencia matemática, identificando en cuáles se reflejan con mayor claridad las diferencias entre alumnado activo y menos activo.

4. Materiales y métodos

El presente estudio es considerado cuantitativo, correlacional y transversal. Su enfoque permite identificar asociaciones entre variables de manera objetiva, sin intervenir ni establecer causalidad, ofreciendo resultados útiles para futuras investigaciones y estrategias educativas.

Se realizó una búsqueda bibliográfica en Google Scholar mediante la que se seleccionaron artículos actuales que se revisaron cuidadosamente a fin de extraer la información relevante. Tras esto, se procedió a dividir la investigación en dos procedimientos para aportar información complementaria que enriquece los resultados obtenidos. Este enfoque permite explorar relaciones entre variables y realizar comparaciones entre grupos de manera observacional, respetando la naturaleza correlacional de los datos.

4.1 Procedimiento 1: Encuesta correlacional

El Procedimiento 1 tiene como objetivo analizar la relación entre la actividad física y el rendimiento académico en matemáticas a nivel general, utilizando una muestra amplia de estudiantes de ESO y Bachillerato. Este enfoque permite obtener una visión global de la asociación entre actividad física y rendimiento matemático.

Este procedimiento contó con 250 participantes de todos los cursos de la ESO y Bachillerato procedentes de diferentes centros educativos de la comunidad autónoma de Murcia, tanto de la capital como de pedanías, que practican diferentes modalidades deportivas. El tamaño de la presente muestra es considerado adecuado para investigaciones correlacionales en el ámbito deportivo y educativo, permitiendo detectar asociaciones de magnitud pequeña a moderada con un nivel de confianza del 95 %.

Para la recolección de datos se utilizó una encuesta de elaboración propia realizada a través de Google Forms y completada de forma anónima y voluntaria tras la realización de una prueba piloto para validar la comprensión de las preguntas. El instrumento se estructuró en tres ítems de selección única que recogían curso académico actual, rango de horas medias semanales dedicadas a la actividad física el curso previo y calificación obtenida en la asignatura de matemáticas en ese mismo periodo de cada individuo. En el presente estudio, estableceremos como variable independiente horas semanales dedicadas a realizar AF y como dependiente la nota de matemáticas.

Los datos obtenidos se organizaron y procesaron mediante Hojas de cálculo de Google (Google Sheets). Se calculó la correlación de Pearson entre ambas variables tras asignar valores numéricos a variables no numéricas: <1h: 0,2; >7: 9.

Este análisis proporciona una medida objetiva de la asociación entre las variables estudiadas, lo que permite identificar patrones y tendencias en la muestra y sirve como base para discutir posibles implicaciones educativas y deportivas.

4.2 Procedimiento 2: Prueba de nivel de matemáticas y análisis correlacional/comparativo

El Procedimiento 2 tiene como objetivo analizar de manera más concreta cómo la actividad física se relaciona con el rendimiento académico en matemáticas, complementando la visión general obtenida en el Procedimiento 1. Para ello, se combinan las horas semanales dedicadas a la práctica deportiva con los resultados obtenidos en la prueba

estandarizada EVAMAT, que proporciona puntuaciones centiles para cada subprueba: numeración, cálculo, geometría y medida, y resolución de problemas.

La muestra estuvo compuesta por 49 estudiantes: dos clases de 3.º de ESO del IES Floridablanca, a los que se les aplicó la prueba de forma colectiva durante la jornada lectiva de manera anónima, bajo condiciones homogéneas y siguiendo estrictamente el manual. Los participantes registraron las horas semanales de actividad física regular, indicando también la modalidad practicada, considerando únicamente aquellas sesiones estructuradas, guiadas y regulares, excluyendo actividades esporádicas o no organizadas. EVAMAT, desarrollado por Jesús García Vidal, Daniel González Manjón, Beatriz García Ortiz y colaboradores (Vidal et al., 2009), es un instrumento validado y estandarizado que mide habilidades matemáticas concretas, desde comprensión conceptual hasta aplicación práctica, permitiendo un análisis detallado de fortalezas y debilidades de cada estudiante mediante la versión EVAMAT-8 correspondiente a su nivel.

La corrección se llevó a cabo manualmente siguiendo los criterios oficiales, obteniéndose así puntuaciones centiles para cada estudiante respecto a la población normativa. Estas se utilizarán como variables dependientes, mientras que la variable independiente será la actividad física, operacionalizada mediante las horas semanales dedicadas al deporte. Los datos se organizaron y procesaron con Google Sheets. Se calcularon correlaciones entre horas de actividad física y centiles en cada subárea, y se compararon las medias entre estudiantes que superan una hora semanal de práctica y quienes no alcanzan ese umbral.

Este enfoque permite evaluar de forma específica el efecto de la actividad física sobre habilidades matemáticas concretas, identificando patrones y diferencias en cada área evaluada, y ofreciendo así una perspectiva detallada que completa y profundiza en la información obtenida a nivel global en el Procedimiento 1.

5. Resultados

5.1 Resultados procedimiento 1

En este caso, el 82,4% de los encuestados practicaban AF regularmente, mientras que el 17,6% no sobrepasaba la hora semanal. Obteniendo así una media de 4,4288. (Ver Anexo, gráfica 1). Respecto a las notas, encontramos una media de 7,814, y destaca el 8 como valor más repetido (Ver Anexo, gráfica 2).

Se encontró una correlación positiva débil entre las horas de actividad física y la nota de matemáticas ($r = 0,27$; $n = 250$; $p < 0,001$), siendo estadísticamente significativa. Se distingue en el siguiente diagrama una línea de tendencia ligeramente positiva (Ver Anexo, diagrama 1).

5.2 Resultados procedimiento 2

En el procedimiento 2, el 67,35% de los participantes practican AF más de una hora a la semana de forma regular, frente a un 32,65% que no lo hacen. (Ver Anexo, gráfica 3). Los percentiles tienen medias similares en numeración, cálculo y geometría y medida, sin embargo en resolución de problemas se aprecian más dificultades. (Ver Anexo, gráfica 4).

Se observan grandes diferencias entre las correlaciones de Pearson si sacamos la de cada apartado por separado:

Numeración: ($r = 0,30$; $t = 2,06$; $n = 45$; $p = 0,045$)

Cálculo: ($r = 0,13$; $t = 0,87$; $n = 45$; $p = 0,39$)

Geometría y medida: ($r = 0,1$; $t = 0,66$; $n = 46$; $p = 0,515$)

Resolución de problemas: ($r = 0,23$; $t = 1,61$; $n = 47$; $p = 0,114$)

En el área de Numeración se obtuvo la correlación más elevada dentro del conjunto ($r = 0,30$; $t = 2,06$; $n = 45$; $p = 0,045$), significativa estadísticamente, lo que indica que existe una relación lineal positiva de baja intensidad: a mayor desempeño en una variable, tiende a asociarse un mayor desempeño en la otra (Ver Anexo, diagrama 2).

En Resolución de problemas se encontró una correlación positiva relativamente mayor que en los casos posteriores ($r = 0,23$; $t = 1,61$; $n = 47$; $p = 0,114$), aunque no alcanza significación estadística, por lo que de forma aislada no puede confirmar que la tendencia observada no se deba al azar (Ver Anexo, diagrama 3).

Por su parte, en Cálculo (r = 0,13; t = 0,87; n = 45; p = 0,39) y Geometría y medida (r = 0,10; t = 0,66; n = 46; p = 0,515) las correlaciones son muy bajas y no significativas, indicando que no se observa evidencia de relación lineal entre las variables en estos ámbitos. (Ver Anexo, diagramas 4 y 5).

En adición, las medias de aquellos que realizan AF frente a los que no, se reflejan en el siguiente gráfico. (Ver Anexo, gráfica 4).

Tabla 1.
Comparación de Medias según AF realizada (EVAMAT). Procedimiento 2.

	General (Anexo, diagrama 5) (Percentil)	AF <=1h (Percentil)	AF >1h (Percentil)	Porcentaje de aumento (%)
Numeración	50,178	40	54,774	36,935
Cálculo	47,556	40,357	50,806	25,892
Geometría y medida	56,5	56,333	56,581	0,439
Resolución de problemas	27,766	18	32,344	79,688

Fuente: elaboración propia

En la tabla 1 se presentan los percentiles medios obtenidos en las distintas áreas matemáticas en función del tiempo de actividad física semanal, diferenciando entre el alumnado que realiza ≤ 1 hora de actividad física y aquel que realiza más de 1 hora.

En el área de Numeración, el grupo con una actividad física superior a una hora semanal alcanza un percentil medio de 54,77, frente al 40 del grupo con menor nivel de actividad física, lo que supone un aumento del 36,94 %; este resultado refleja un mayor rendimiento en numeración en el alumnado más activo. En Cálculo, también se observa un claro aumento en las puntuaciones del grupo con mayor actividad física, con un percentil medio de 50,81 frente a 40,36, lo que representa un porcentaje de diferencia relativa del 25,89 %. Por el contrario, en Geometría y medida los percentiles medios son prácticamente equivalentes en ambos grupos (56,33 para AF ≤ 1 h y 56,58 para AF > 1 h), con un aumento del 0,44 %, lo que indica la ausencia de diferencias relevantes en esta competencia en función del tiempo de actividad física.

Finalmente, en Resolución de problemas se registra la mayor diferencia entre grupos. El alumnado con AF ≤ 1 hora presenta un percentil medio de 18, mientras que el grupo con AF > 1 hora alcanza un percentil de 32,34, lo que supone un aumento del 79,69 %

6. Conclusiones

El objetivo principal de este estudio fue analizar la relación entre la práctica de actividad física y el aprendizaje de las matemáticas en alumnado de Educación Secundaria Obligatoria y Bachillerato. En relación con el primer objetivo específico, los resultados muestran que una proporción elevada del alumnado participante practica actividad física de manera regular. En el procedimiento 1, más del 80% de los estudiantes superaba la hora semanal de actividad física, mientras que en el procedimiento 2 este porcentaje fue superior al 65%. Estos datos indican que la práctica de actividad física organizada y regular constituye un hábito extendido en la muestra analizada, lo que ha permitido examinar su relación con el rendimiento matemático en un contexto educativo realista.

Respecto al análisis de la relación entre actividad física y rendimiento matemático (OE2), los resultados obtenidos muestran que la AF se asocia de forma positiva con el rendimiento en matemáticas. Esta relación no es uniforme (OE3), lo que resulta coherente con la naturaleza multifactorial del aprendizaje matemático.

En el procedimiento 1 se identificó una correlación positiva débil entre las horas semanales de actividad física y la calificación final en matemáticas, lo que indica que el alumnado más activo tiende a obtener mejores resultados. No se espera una correlación alta, ya que no se busca causalidad, sino entenderlo como un condicionante más. Sin

embargo, las cifras indican que se trata de una correlación estadísticamente significativa. El procedimiento 2 permitió identificar de manera más precisa dónde se concentran los resultados más relevantes del estudio, en qué constructos de la competencia matemática se refleja esta mejora o si se refleja o no de forma uniforme en todos ellos.

En primer lugar, las correlaciones de Pearson entre apartados reflejan diferencias entre las múltiples competencias que interactúan en el aprendizaje matemático, mostrando que no a todas les afecta la AF de la misma manera. A pesar de que ninguna fue negativa, apreciamos grandes diferencias entre unas y otras, obteniendo la más elevada en numeración, considerada moderada y estadísticamente significativa, y la más baja en geometría y medida, la cual es prácticamente inexistente y no significativa estadísticamente.

Las comparaciones de medias muestran resultados más notorios y visuales que lo anterior. En Geometría y medida, los percentiles medios son prácticamente equivalentes entre los grupos, con una diferencia de 0,2 puntos, ≈0,4%. Este área requiere procesos cognitivos como visualización y orientación espacial, percepción de proporciones y relaciones métricas, memoria visual, toma de medidas y precisión en la ejecución de tareas. Estas competencias implican principalmente procesos estructurados y sistemáticos, y las diferencias entre alumnado activo y menos activo son mínimas, lo que evidencia que la actividad física no se refleja de manera significativa en este tipo de habilidades.

Por el contrario, en áreas como Numeración y Cálculo, las diferencias entre grupos son moderadas, aunque ya resultan notorias. En Numeración, el alumnado activo alcanza una diferencia casi del 37% frente al inactivo. Las diferencias se concentran en competencias como la capacidad de establecer relaciones entre números, analizar secuencias y comprender estructuras numéricas, lo que sugiere que la actividad física puede reflejarse en una mejor organización del pensamiento numérico y en la habilidad para identificar patrones y regular cantidades. En Cálculo, la franja entre grupos es de un 26%. Las diferencias ponen de manifiesto una mayor fluidez en la manipulación de números y en la elección y ejecución ordenada de estrategias matemáticas.

Sin embargo, las diferencias más notorias entre el alumnado que realiza AF de forma regular y el que no, se producen en el área de Resolución de problemas, donde el grupo más activo alcanza percentiles claramente superiores, dando lugar a un incremento relativo del 79%. Este hallazgo constituye el resultado más destacable de la investigación, ya que pone de manifiesto que la relación entre actividad física y rendimiento matemático es más evidente en aquellas competencias que implican un mayor nivel de razonamiento, flexibilidad y toma de decisiones.

Este patrón refuerza la idea de que la actividad física no influye de la misma manera en todas las competencias matemáticas, sino que su impacto se concentra en tareas cognitivamente más complejas. La resolución de problemas, en particular, suele representar un desafío significativo para gran parte del alumnado, de modo que incluso pequeñas diferencias en procesos como la atención, la memoria de trabajo o la regulación emocional se reflejan con claridad en el rendimiento. Estos resultados son coherentes con la literatura científica revisada y complementarios a ella. En este sentido, el estudio aporta evidencia empírica que apoya la idea de que la actividad física puede actuar como un factor facilitador del aprendizaje matemático, especialmente en competencias de mayor exigencia cognitiva.

Desde una perspectiva educativa, los hallazgos refuerzan la importancia de promover la actividad física regular en el ámbito escolar, no solo por sus beneficios para la salud, sino también por su posible contribución a áreas clave del rendimiento académico, nucleares en el campo matemático, pero presentes de manera transversal en cada uno de los ámbitos del aprendizaje.

En cuanto a las consideraciones éticas, la investigación se desarrolló respetando los principios de voluntariedad, anonimato y confidencialidad de los datos. Además, la aplicación de la prueba EVAMAT se realizó siguiendo estrictamente las indicaciones del manual, garantizando la fiabilidad de los resultados obtenidos.

Durante el desarrollo del estudio se nos presentan ciertas limitaciones que condicionan aspectos del diseño y desarrollo de la investigación. En primer lugar, el tamaño de la muestra se vio limitado, en parte debido al tiempo necesario para la aplicación de la prueba y la escasez de recursos para su análisis. Además, algunas variables se evaluaron mediante autoinforme, lo que podría introducir sesgos de percepción. Por otro lado, no se incluyeron de manera exhaustiva otros factores externos que podrían influir en el rendimiento académico. Finalmente, es importante destacar que correlación no implica causalidad, lo que limita la interpretación de los resultados. A raíz de estas limitaciones, se abren diversas líneas de investigación, que podrían profundizar en el análisis de otras variables, ampliar la muestra o incluir mediciones más objetivas de la actividad física y de factores externos que alteren el rendimiento académico.

En síntesis, la práctica de actividad física (AF) organizada y regular constituye un hábito extendido en la muestra analizada, y se asocia de forma positiva con el rendimiento matemático aunque no de forma homogénea entre las distintas competencias que intervienen en este aprendizaje. Su impacto resulta especialmente relevante en la resolución de problemas, seguido de la numeración y el cálculo.

Los resultados obtenidos permiten cumplir el objetivo principal del estudio, al analizar la relación entre la práctica de actividad física y el rendimiento en matemáticas en alumnado de ESO y Bachillerato; y se han abordado los objetivos específicos al identificar la proporción de alumnado activo, examinar las correlaciones entre actividad física

y distintas competencias matemáticas, y determinar en qué áreas se reflejan con mayor claridad sus efectos. En consecuencia, los resultados respaldan la hipótesis inicial. De este modo, el estudio ofrece una visión integral que combina un análisis general del rendimiento académico con un examen más detallado de las competencias matemáticas, proporcionando información útil para futuras investigaciones y para la implementación de estrategias educativas orientadas a mejorar el aprendizaje mediante hábitos de actividad física regular.

7. Agradecimientos

Me gustaría dar las gracias en primer lugar a toda la gente que me ha acompañado durante la etapa de bachillerato y durante la realización de este proyecto, desde mi tutora del trabajo, María Dolores Martínez García, y mis profesoras, Nieves Soriano Nieto y Ana María Machuca Reche, cuya implicación ha sido fundamental; hasta mis amigos y familiares, que me han apoyado y que han inspirado cada una de estas letras. Asimismo, a todas las personas que han participado en él de alguna manera, desde los miembros del departamento de matemáticas del IES Floridablanca hasta los 300 alumnos que han hecho posible su desarrollo.

A mi madre y a mi padre por llevarme a cada partido con la misma ilusión que al primero, por verlos y animar en todos, incluso sin entender muy bien lo que aplaudían.

A todos los momentos, las personas y los aprendizajes que te da el deporte.

Al baloncesto, por todo lo que me ha dado y por todo lo que sigue ofreciendo.

8. Bibliografía

Donnelly, J.E., Hillman, C.H., Castelli, D., Etnier, J.L., Lee, S., Tomporowski, P., Lambourne, K. y Szabo-Reed, A.N. (2016) 'Physical activity, fitness, cognitive function, and academic achievement in children: A systematic review'. Medicine & Science in Sports & Exercise, 48(6), pp. 1197–1222. https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000901

Espinoza, J.G.A., Guamán, R.N., Marcatoma, R.A. y Páez, M.C. (2021) 'Factores determinantes que influyen en el aprendizaje matemático en estudiantes de Primer Año de Bachillerato de la Unidad Educativa "Carlos Cisneros"'. Dominio de las Ciencias, 7(3), pp. 513–527. Available at: https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8229728

Fabel, K. y Kempermann, G. (2008) 'Physical activity and the regulation of neurogenesis in the adult and aging brain'. Neuromolecular Medicine, 10(2), pp. 59–66. https://doi.org/10.1007/s12017-008-8031-4

Hillman, C.H., Erickson, K.I. y Kramer, A.F. (2008) 'Be smart, exercise your heart: Exercise effects on brain and cognition'. Nature Reviews Neuroscience, 9(1), pp. 58–65. https://doi.org/10.1038/nrn2298

Hospital Clínic de Barcelona (2022) '¿Qué efectos tiene en el cerebro realizar actividad física?'. Hospital Clínic de Barcelona. Available at: https://www.clinicbarcelona.org/noticias/que-efectos-tiene-en-el-cerebro-realizar-actividad-fisica

Jonsson, B., Granberg, C. y Lithner, J. (2020) 'Gaining mathematical understanding: The effects of Creative Mathematical Reasoning and cognitive proficiency'. Frontiers in Psychology, 11, 574366. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.574366

Marques-Aleixo, I., Oliveira, J., Moreira, A., Magalhães, J., Fardilha, M. y Teixeira, A.M. (2019) 'Physical exercise and brain-derived neurotrophic factor: Implications for neurodegenerative diseases'. Frontiers in Psychology, 9, 2302. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02302

Mullender-Wijnsma, M.J., Hartman, E., de Greeff, J.W., Doolaard, S., Bosker, R.J. y Visscher, C. (2015) 'Improving academic performance of school-age children by physical activity in the classroom: 1-year program evaluation'. Journal of School Health, 85(6), pp. 365–371. https://doi.org/10.1111/josh.12259

Ruiz Ahmed, Y.M. (2011) 'Aprendizaje de las matemáticas'. Revista Digital para Profesionales de la Enseñanza, 8, p. 14. Available at: https://www2.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd7235.pdf

Ruiz-Ariza, A., Grao-Cruces, A., Loureiro, N.E. y Martínez-López, E.J. (2016a) 'Influence of physical fitness on cognitive and academic performance in adolescents: A systematic review'. Educational Psychology Review, 29(3), pp. 1–18. https://doi.org/10.1007/s10648-016-9370-2

Ruiz-Ariza, A., Grao-Cruces, A., Loureiro, N.E. y Martínez-López, E.J. (2016b) 'Influencia del nivel de atracción hacia la actividad física en el rendimiento académico de los adolescentes'. Revista Latinoamericana de Psicología, 48(1), pp. 42–50. https://doi.org/10.1016/j.rlp.2016.02.001

Sainz, R.M. (1992) 'Historia de la Educación Física'. Cuadernos de Sección. Educación, 5, pp. 27–47. Available at: https://www.eusko-ikaskuntza.eus/es/publicaciones/historia-de-la-educacion-fisica/art-11632/

Sánchez, D. (2019) '¿Mejora el ejercicio el rendimiento académico?'. Mundo Entrenamiento. Available at: https://mundoentrenamiento.com/mejora-el-ejercicio-el-rendimiento-academico/

Szuhany, K.L., Bugatti, M. y Otto, M.W. (2015) 'A meta-analytic review of the effects of exercise on brain-derived neurotrophic factor'. Journal of Psychiatric Research, 60, pp. 56–64. https://doi.org/10.1016/j.jpsychires.2014.09.003

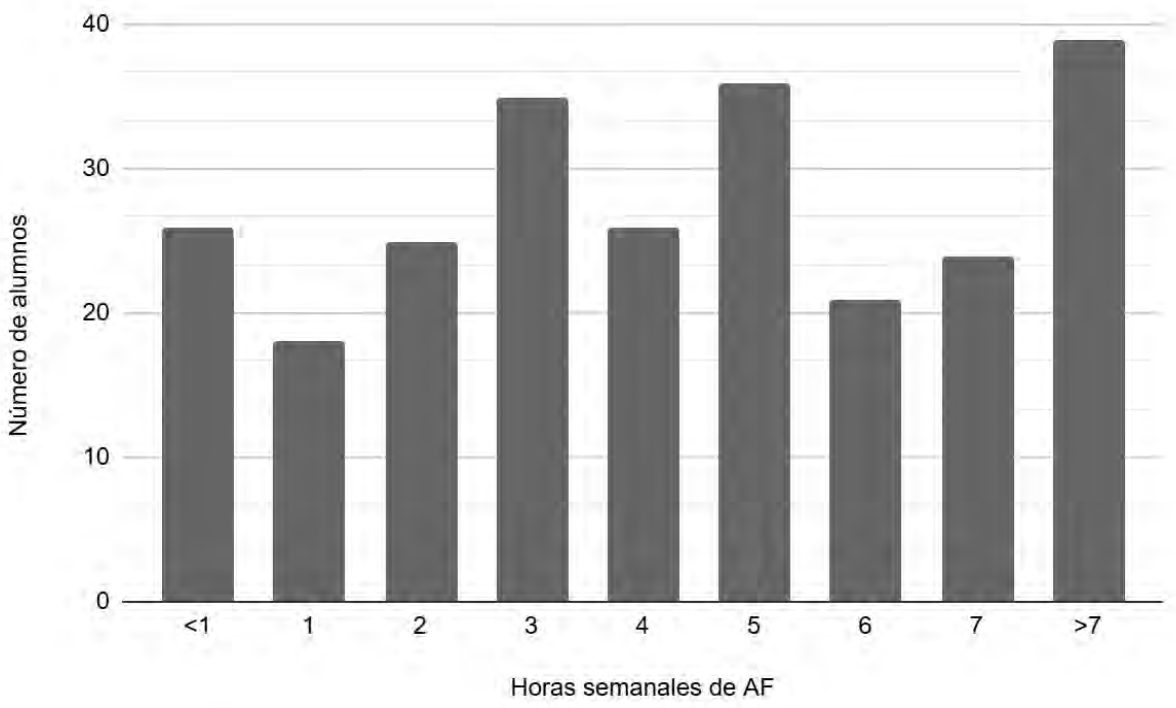
Trejo, J.L. y Sanfeliu, C. (2020) 'Investigadores del CSIC explican los efectos del ejercicio físico sobre el cerebro'. CSIC. Available at: https://www.csic.es/es/actualidad-del-csic/investigadores-del-csic-explican-los-efectos-del-ejercicio-fisico-sobre-el-cerebro

Universidad Miguel Hernández de Elche (2016) Deporte y cerebro [tesis de grado]. Available at: https://dspace.umh.es/bitstream/11000/4719/1/Deporte%20y%20cerebro_CAFD.pdf

Vidal, J., García Ortiz, B. y González Castro, D. (2009) Tripa Manual EVAMAT [material educativo]. Available at: https://es.scribd.com/document/612964460/tripa-manual-EVAMAT

Zataraín Fernández, J. (2023) Evolución histórica de la educación física [tesis de grado]. Universidad de Valladolid. Available at: https://uvadoc.uva.es/handle/10324/61929

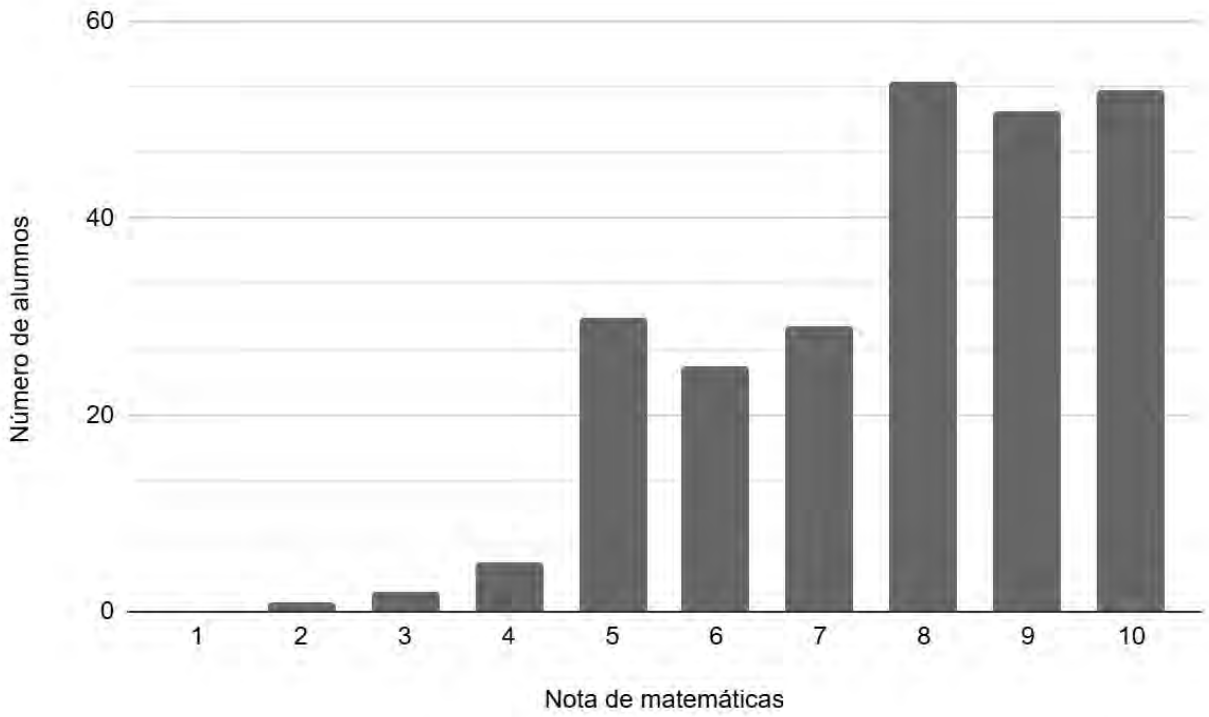
ANEXO



Gráfica 1

Horas semanales de AF. Procedimiento 1.

Fuente: elaboración propia.



Gráfica 2

Nota de matemáticas. Procedimiento 1.

Fuente: elaboración propia.

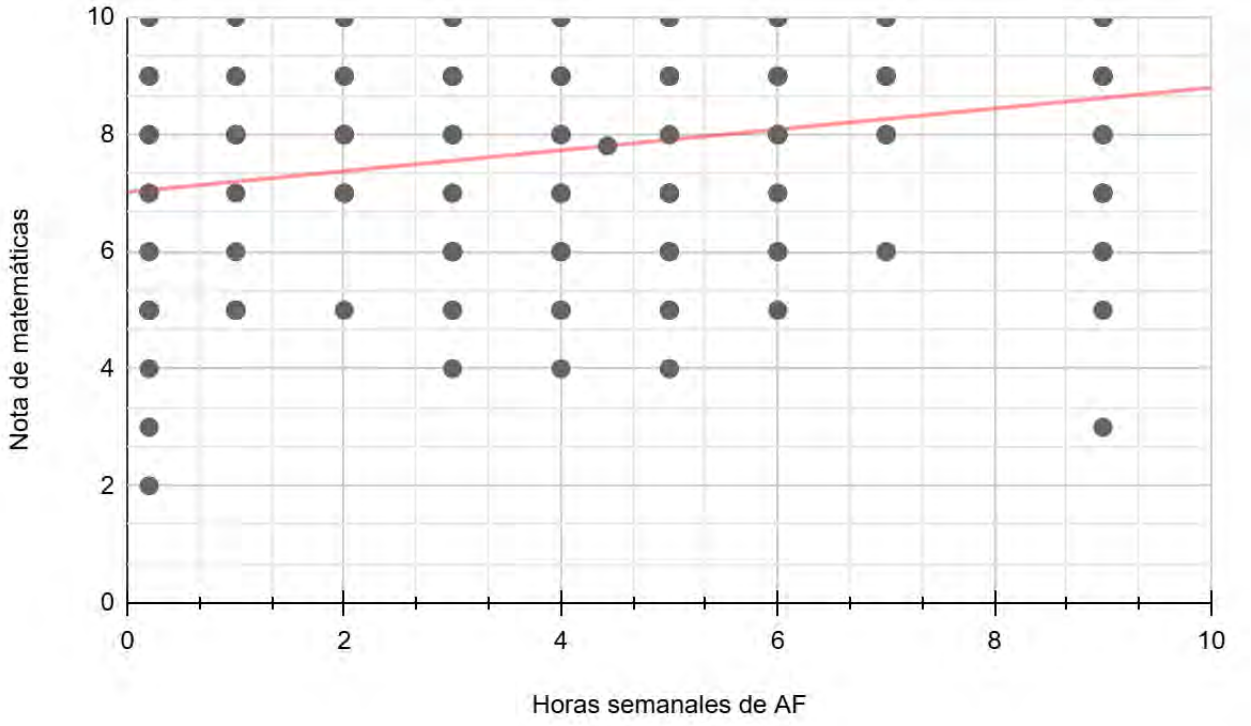
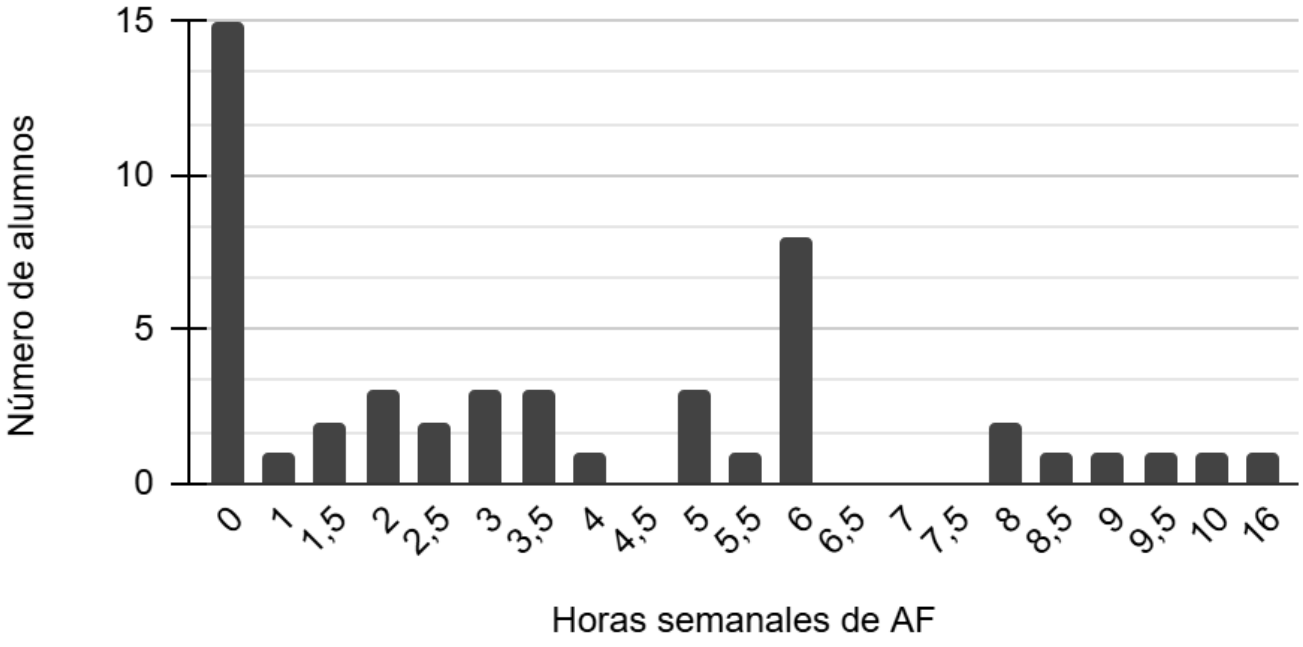


Diagrama 1.

Relación horas de AF y nota de matemáticas. Procedimiento 1.

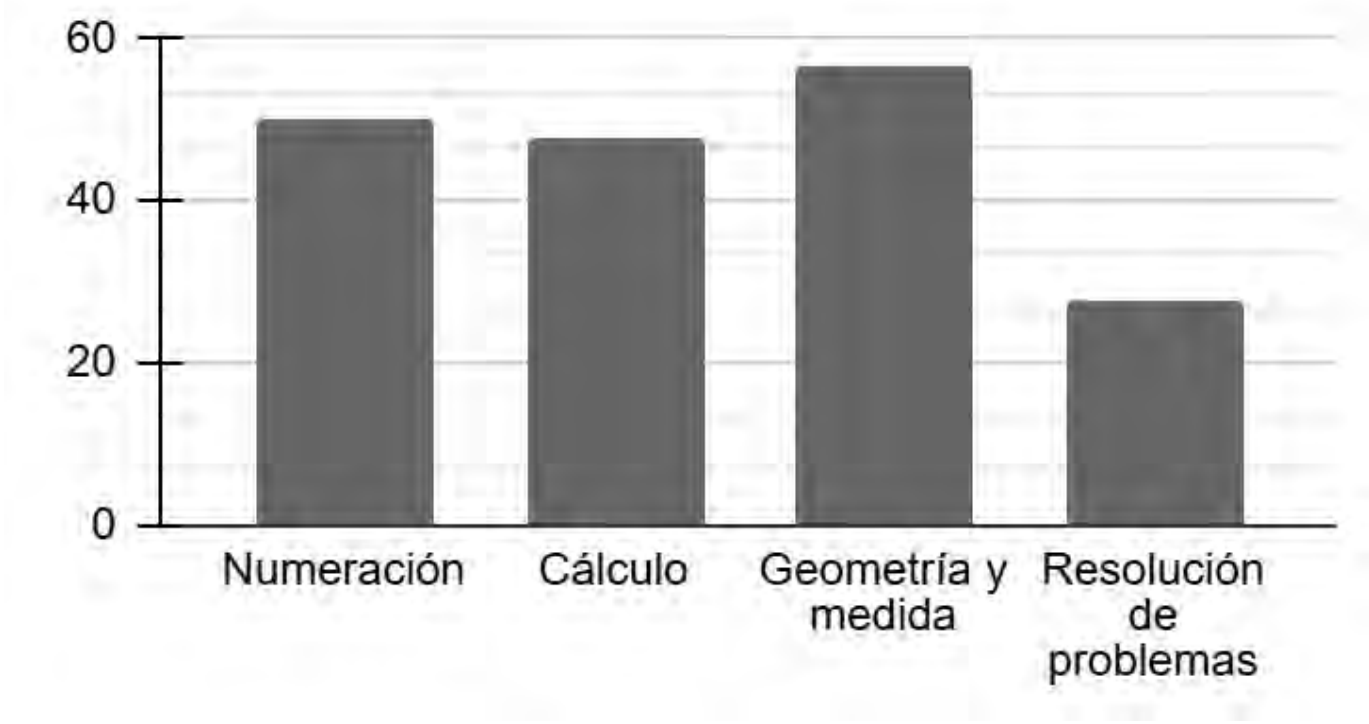
Fuente: elaboración propia



Gráfica 2

Horas semanales de AF. Procedimiento 2.

Fuente: elaboración propia.



Gráfica 3

Percentiles (EVAMAT). Procedimiento 2.

Fuente: elaboración propia.

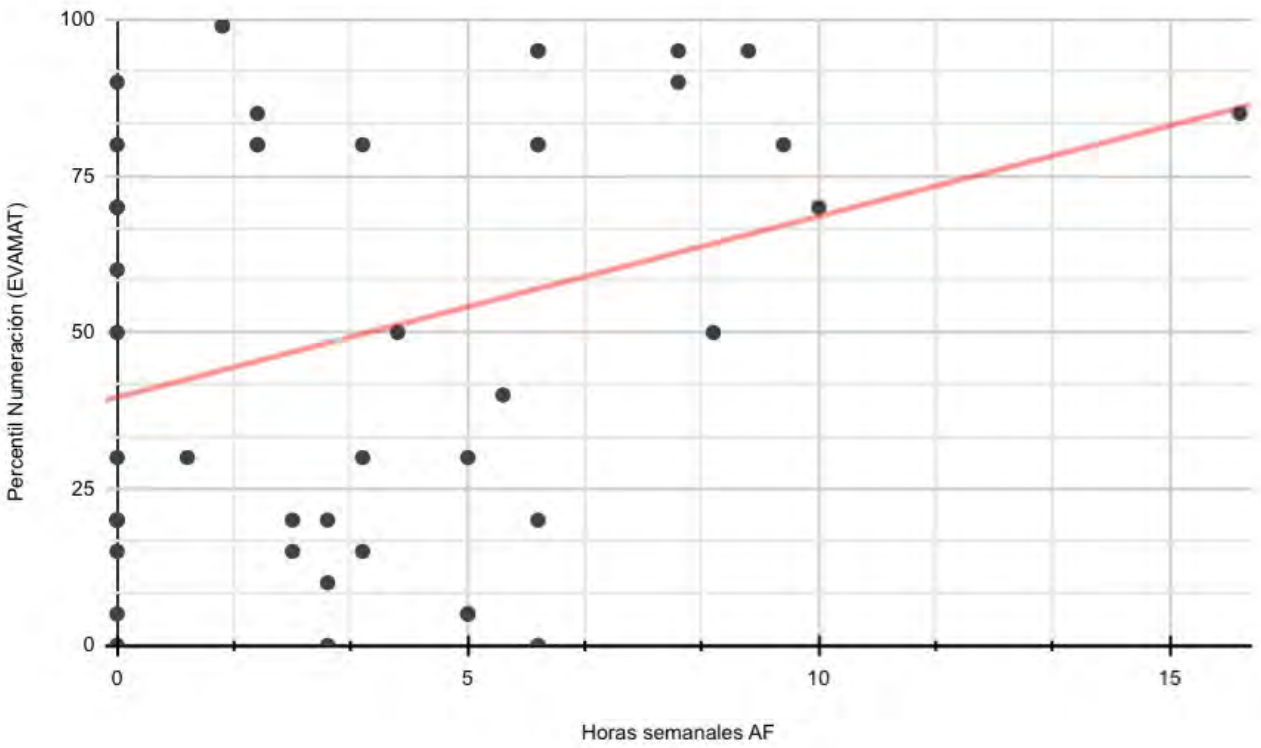


Diagrama 2.
Percentiles Numeración (EVAMAT). Procedimiento 2.
Fuente: elaboración propia.

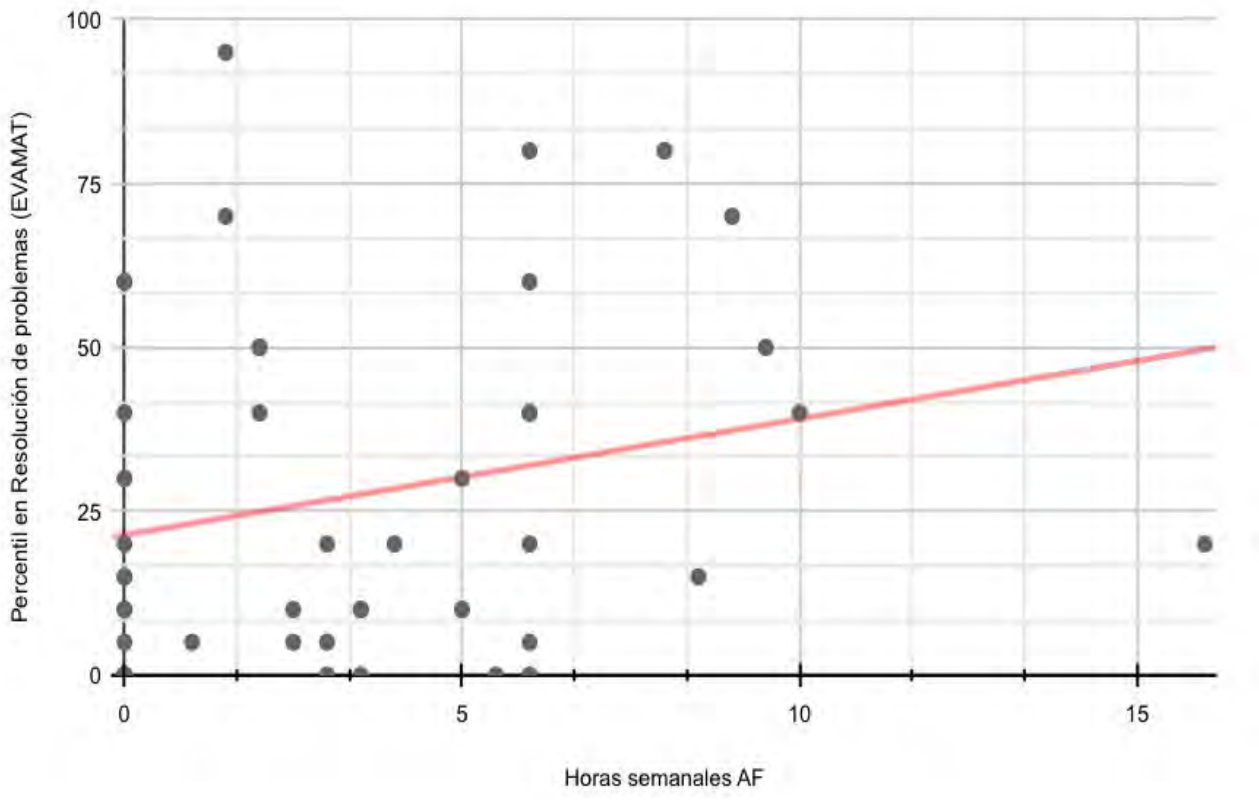


Diagrama 3.

Percentiles Resolución de Problemas (EVAMAT). Procedimiento 2.
Fuente: elaboración propia

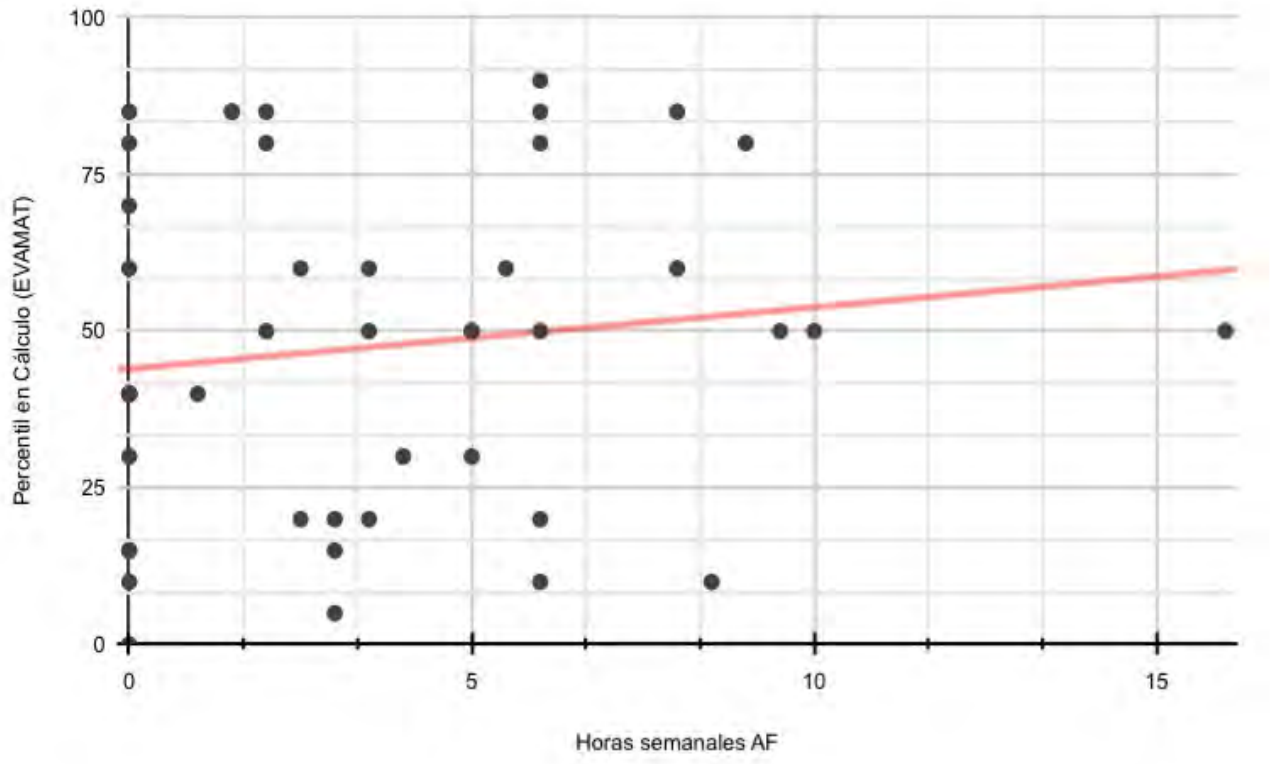


Diagrama 4.

Percentiles Cálculo (EVAMAT). Procedimiento 2.

Fuente: elaboración propia.

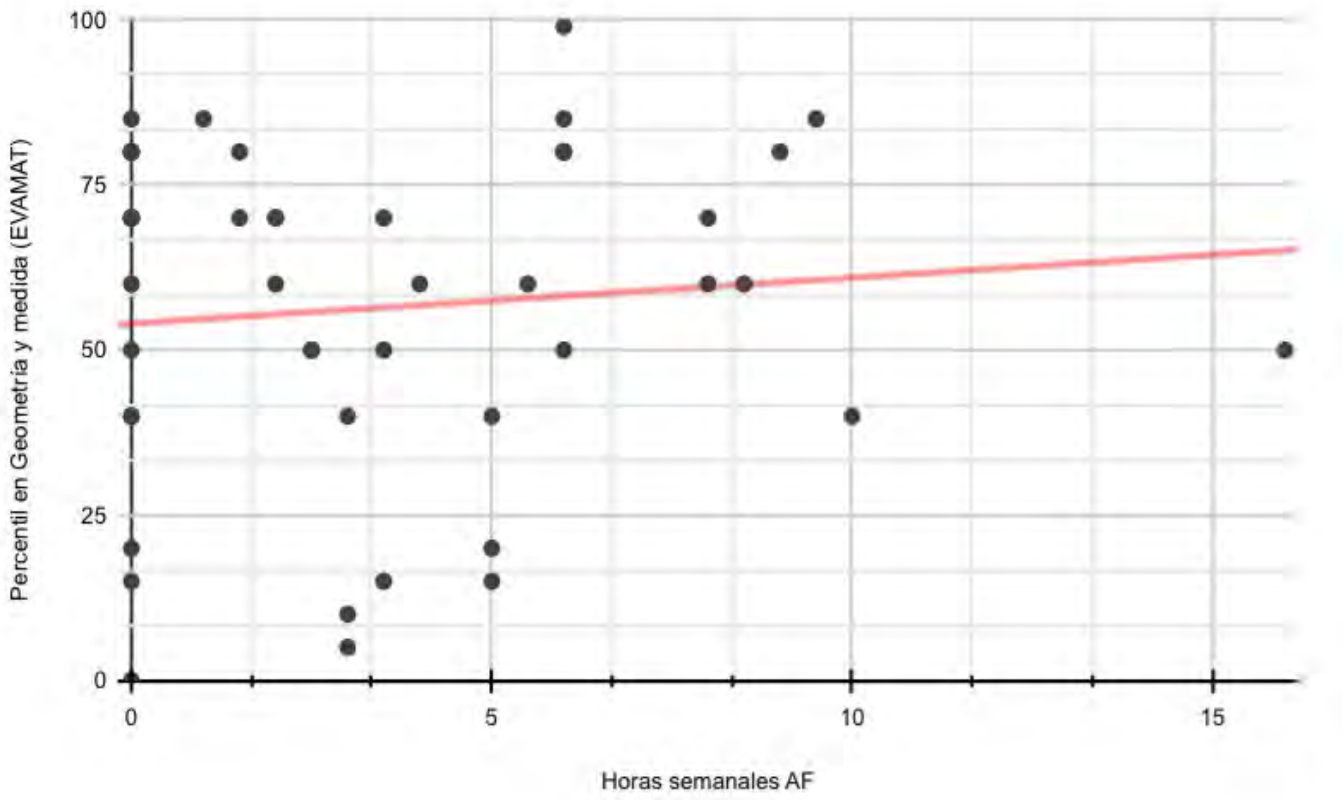
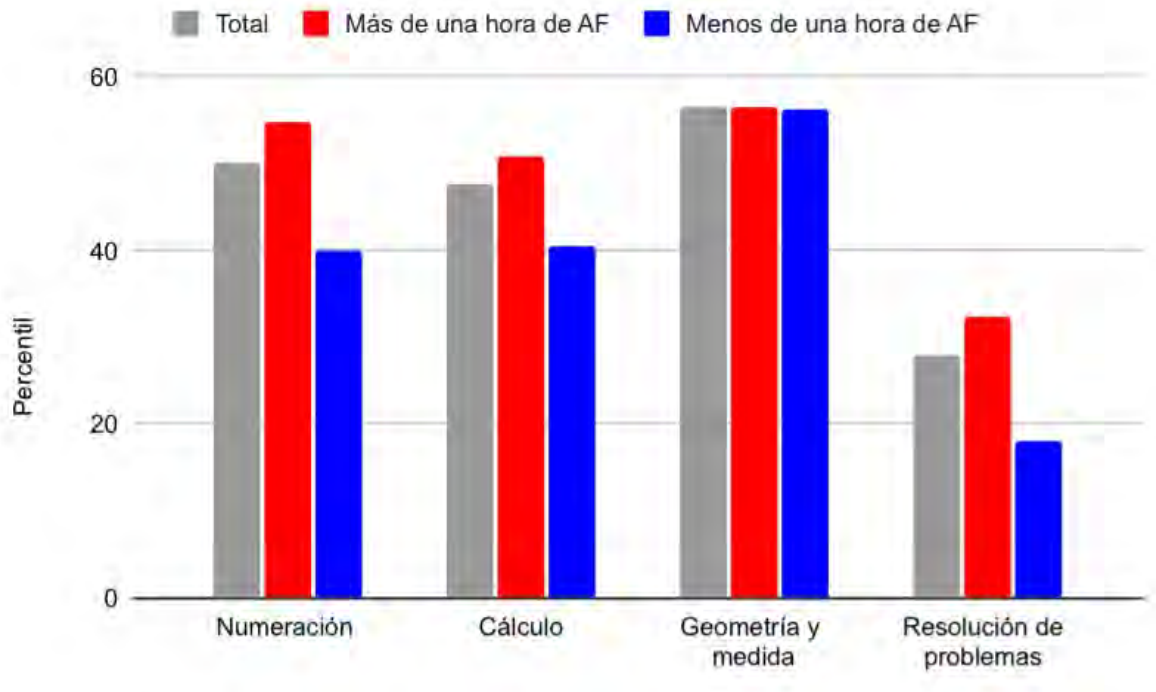


Diagrama 5.

Percentiles Geometría y medida (EVAMAT). Procedimiento 2.

Fuente: elaboración propia.



Gráfica 4.

Medias según AF realizada (EVAMAT). Procedimiento 2.

Fuente: elaboración propia.

Análisis genético de la resistencia vegetal: ejemplo aplicado al estudio de resistencia a *Meloidogyne incógnita* en relación a la transferencia científica.

Carmen Hernández Cler y Candela López Sánchez

IES Ruiz de Alda
Jesús Hernández Fernández , Antonio Garrigós Escudero (IES Ruiz De Alda), Drª Celia Martínez Mora (IMIDA)
2025/2026

Índice

Índice **2**
Resumen **3**
1. Introducción **4**
2. Antecedentes **4**
3. Hipótesis y objetivos **4**
4. Materiales y metodología **5**
4.1 Metodología implementada. 5
4.2 Introducción al problema genético 5
4.2.1 Resistencia y susceptibilidad en Capsicum Annuum. 5
4.3 Herramientas biotecnológicas 5
4.3.1 Extracción de ADN 6
4.3.2 Reacción en cadena de la polimerasa (PCR) 6
4.3.3 Cuantificaciones 6
4.3.3.1 Cuantificación Pre-PCR. 6
4.3.3.2 Cuantificación Post-PCR 6
4.3.4 Electroforesis 7
4.4 Uso de las herramientas biotecnológicas en el fenotipado 7
4.5 Transferencia de información 7
4.5.1 Conocimiento en la sociedad general. 8
4.5.2 Conocimiento en el sector agrícola. 8
4.5.3 Conocimiento del sector educativo. 8
5. Resultados **9**
6. Conclusiones **10**
7. Agradecimientos **10**
8. Referencias bibliográficas **12**
9. Ilustraciones extras necesarias para el comprendimiento de los resultados **14**

Resumen

En el siguiente trabajo se refleja el uso de técnicas biotecnológicas y *palabras clave.*

Este trabajo académico presenta un estudio detallado sobre la resistencia genético del pimiento (Capsicum annuum) frente al ataque del nemátodo Meloidogyne incognita, un patógeno que genera importantes pérdidas económicas en la agricultura del sureste español al causar daños en el sistema radicular y mermas en la producción. La investigación parte de la necesidad de encontrar alternativas sostenibles frente a la prohibición de nematicidas químicos altamente contaminantes, centrando su hipótesis en la detección molecular de genes de resistencia, como Me 1 y Me 3, mediante el uso de marcadores biotecnológicos denominados V2 y Pm6a.

A través de una metodología práctica desarrollada en colaboración con el centro IMIDA, llevaron a cabo protocolos de extracción y cuantificación de ADN, seguidos de la técnica de Reacción en Cadena de la Polimerasa (PCR) para amplificar los fragmentos genéticos de interés y validar su presencia mediante electroforesis. Estos procesos permiten identificar con precisión qué variedades de pimiento poseen la carga genética necesaria para resistir la infección, facilitando así la selección en programas de mejora agrícola.

Más allá de los resultados técnicos, el estudio enfatiza la importancia de la transferencia científica y divulgación del conocimiento hacia los sectores agrícola, educativo y social. Se concluye que el uso de herramientas moleculares es fundamental para garantizar una agricultura sostenible y que traducir estos complejos hallazgos científicos a un lenguaje accesible es esencial para reducir la brecha del conocimiento y promover prácticas responsables en la gestión de cultivos y conservación medioambiental

1. Introducción

En la actualidad, el sector agrícola se encuentra profundamente transformado, está enfrentando numerosos desafíos derivados de patógenos que consumen e infectan grandes producciones de plantas. Se plantean cuestiones sobre cómo deberíamos llevar a cabo la producción de alimentos saludables, que debería incluir la conservación de suelos fértiles y la implementación de medidas que favorezcan la diversidad de los cultivos. Entre estas estrategias, debe mencionarse el empleo de patrones o variedades portadoras de genes de resistencia a patógenos del suelo, que contribuyen a mantener la variabilidad genética y la capacidad de resistencia frente a patógenos y parásitos.

En el sureste de España, es muy importante socioeconómicamente la producción de pimiento (*Capsicum annuum L.*), respaldada por una larga tradición de cultivo. Las ganancias económicas que produce a Murcia son innumerables: según el último análisis de Proexport (Proexport, como se citó en *La Verdad*, 2025), se señala que de nuestra región se exportó el 17% de pimientos del total del país en 2025, posicionándonos así en la segunda comunidad mayor productora. Asimismo, a nivel internacional, según menciona el periódico *Valencia fruits* (2025), Murcia es considerado el primer proveedor de pimientos en 11 destinos europeos siendo entre esos mercados, algunos como Alemania, Francia, Países Bajos y Polonia, y más allá.

Sin embargo, esta producción se ve afectada por *Meloidogyne incognita*, un nemátodo capaz de parasitar las raíces del cultivo y reducir drásticamente su rendimiento. Históricamente, este patógeno ha sido controlado con el uso de nematicidas y fumigantes de suelos (bromuro de metilo, 1,3-dicloropropeno), no obstante, las restricciones normativas actuales sobre estas sustancias han obligado a buscar alternativas de regulación sostenibles.

Por otra parte, mayoritariamente los trabajos y los informes científicos no son leídos por la difícil comprensión que conlleva un lenguaje científico, creando una brecha de conocimiento, que influye negativamente en su investigación y financiación. Esta barrera, sin embargo, podría ser solucionada gracias a una transmisión y concienciación de la situación a distintos sectores .

2. Antecedentes

Los estudios previos a nuestra investigación se ven localizados desde IMIDA, el centro de investigación con el que trabajamos en conjunto, hasta zonas sudamericanas de donde es originaria esta hortaliza. De entre muchos trabajos de investigación liderados por múltiples personas, caben destacar dos de nuestro centro murciano, el IMIDA, realizados por Pablo Antón Martinez (el cual se trata de otro proyecto de investigación de años pasados) y Felipe Egea Clemente (*Identificación molecular de resistencia a nemátodos en pimiento)* , ambos con la ayuda de nuestra tutora Celia Martinez Mora.

Así mismo, cabe destacar los múltiples años que el IMIDA ha estado trabajando con nuestro centro y creando varios proyectos enfocados alrededor del mismo tema.

Se debe destacar a la investigadora Caroline Djian Caporalino, responsable de múltiples artículos relacionados con los nemátodos y la resistencia genética en el pimiento *capsicum* como lo conocemos, tales como la ayuda a identificar los nemátodos resistentes al calor mediante espectros, mereciendo una auténtica ovación.

3. Hipótesis y objetivos

La **hipótesis** que se plantea en este trabajo es que existen genes de resistencia al nemátodo *Meloidogyne incognita* en algunas variedades de pimiento que las protegen de la infección y pueden ser detectados molecularmente, además, que esta información es comprensible por la sociedad en su conjunto y podría traer en su futuro beneficios a la contínua investigación.

Para comprobar esta hipótesis, se llevarán a cabo los siguientes **objetivos:**

- Realizar técnicas de estudio de los genes de resistencia en pimiento a *Meloidogyne incognita*: extracción de ADN, cuantificación, pruebas de PCR, electroforesis y obtención de imágenes, interpretando los resultados.

- Abordar la transferencia científica de este conocimiento en diferentes ámbitos para que con ejemplos, les sea posible a muchas personas ser conscientes.

4. Materiales y metodología

4.1 Metodología implementada.

La metodología de nuestro trabajo se enmarca en una investigación de dos años donde, este primer año haremos un proyecto de práctico-teórico para estudiar la resistencia del pimiento (*Capsicum annuum*) frente al nemátodo *Meloidogyne incognita* y los beneficios que esto llega a producir desde muchas perspectivas. Consta, básicamente, de un marco teórico que abarca los términos, problemas, además de la forma de transferir la información adquirida por trabajos anteriores; y un marco práctico en el que se detallan los pasos seguidos que forman parte de un protocolo proporcionado en el laboratorio, junto a un análisis de los resultados obtenidos.

Como resultado, nuestros objetivos se podrán ver cumplidos gracias al desarrollo de experimentos durante varias sesiones en el **Instituto Murciano de Investigación y Desarrollo Agrario y Medioambiental (IMIDA)**, en las que, junto a investigadores profesionales, podremos abarcar las dos partes de este proyecto: parte experimental y formativa del estudio de resistencia genética y transferencia de conocimiento científico hacia la sociedad.

4.2 Introducción al problema genético

4.2.1 Resistencia y susceptibilidad en Capsicum Annuum.

Históricamente, el proceso de selección y mejora genética en *Capsicum Annuum L.* ha sido orientado prioritariamente hacia la optimización de carácteres agronómicos y organolépticos como el consumo, el rendimiento, el calibre y la calidad del fruto. Sin embargo, esta presión de selección ha conllevado consecuencias genéticas y la consiguiente pérdida de mecanismos de defensa frente a nematodos. Como resultado, la gran mayoría de las variedades comerciales actuales resultan altamente susceptibles a la infección por el nematodo agallador *Meloidogyne incógnita.*

Frente a esta vulnerabilidad, los genes de defensa no se encuentran en los pimientos comerciales, sino en plantas de pimiento silvestre (como la variedad tradicional *Criollo de Morelos 334*)). En estas plantas silvestres, la resistencia se debe a un grupo de genes llamados **genes *Me***, situados en el **cromosoma 9** de la planta. Entre ellos destacan los genes **Me 1** y **Me 3**, que son capaces de proteger a la planta frente a varias especies de nematodos (incluido *Meloidogyne incógnita*).

Para la integración eficiente de estos alelos en programas de mejora vegetal, la selección asistida por marcadores moleculares (SAM) constituye la herramienta biotecnológica más eficaz. Esta metodología permite la identificación genotípica directa de los alelos de resistencia, de manera independiente de las condiciones ambientales, reduciendo notablemente los tiempos, costes y espacios de ensayo en comparación con la evaluación fenotípica tradicional. (Pardo, 2020)

4.3 Herramientas biotecnológicas

La caracterización genotípica en el laboratorio comprende una amplia variedad de herramientas biotecnológicas destinadas a hacer su propia labor. De entre ellas, las de nuestro uso han sido mayormente micropipetas y tubos eppendorf, pero las máquinas utilizadas fueron, en orden:

La máquina TissueLyser, para la trituración del ADN. El vórtex, usado para la mezcla rápida de buffers y enzimas. La máquina de espectrofotometría, NanoDrop, para medir eficazmente los niveles de impurezas y concentraciones. La máquina termocicladora, usada al necesitar la PCR. La máquina de fluorometría Q-Bit, para medir las concentraciones de las muestras en un momento posterior a la PCR. La máquina para electroforesis E-gel Power Snap de invitrogen, para llevar a cabo la electroforesis y la interpretación de resultados en su misma lectura, así como de muchas otras herramientas clave como el baño maría tradicional o la esterilización de las propias pipetas en la máquina de autoclavado.

4.3.1 Extracción de ADN

Para la extracción de ADN y eliminación de impurezas, hemos hecho uso del protocolo con el kit de purificación con el que se llevó a cabo la extracción, el cual se llama High-Q™ Spin-Column Plant Genomic DNA Purification Kit (TIARIS). Nosotras precisamos de tres muestras variables y dos muestras invariables, las cuales primero se tuvieron que triturar liofilizadas en una TissueLyser, para posteriormente mezclar las muestras con una serie de buffers y enzimas con el fin de liberar el material genético de las membranas, eliminar proteínas innecesarias y separar el ADN de restos de célula. Esta última muestra de ADN se limpió varias veces para conseguir eliminar el tinte verde de la hoja gracias a una membrana de sílice facilitada por el protocolo seguido.

4.3.2 Reacción en cadena de la polimerasa (PCR)

Una vez comprobado por la cuantificación pre-PCR hecha para evaluar los índices de concentración e impurezas, se preparan las muestras para someterlas a la reacción en cadena de la polimerasa, siendo previamente mezcladas con distintas soluciones que permiten las múltiples copias del material genético que necesitamos (Cebadores R y F, Agua y la MasterMix). Para llevar a cabo la PCR del cuantificador V2, fueron necesarios un programa de ciclado diferente al marcador Pm6a, puesto que necesitan diferentes temperaturas y ciclos para llevar a cabo todos los pasos de una PCR.

Estas variaciones de temperatura sirven para abrir ventanas de duplicación o desnaturalizar el ADN, puesto que la función de la PCR, en su mayoría, es conseguir desnaturalizar el material genético con una cantidad elevada de temperatura, para así poder bajar la temperatura durante ciclos repetidos a lo largo de treinta o cuarenta minutos en donde el objetivo es hacer la mayor cantidad de copias de esa muestra de ADN gracias a los compuestos previos añadidos; y por último, la temperatura baja

gradualmente para conseguir crear unas condiciones previas al almacenamiento en el frigorífico.

4.3.3 Cuantificaciones

A lo largo de la práctica se realizan dos cuantificaciones, que hemos querido agrupar en una explicación.Ambas son realizadas para asegurar el éxito del ensayo. Se realizara la primera tras la extracción (Cuantificación Pre-PCR) para comprobar la pureza del ADN genómico y saber si el aislamiento fue limpio, a continuación, tras la PCR, se realizará la segunda (Cuantificación Post-PCR) para medir las cantidades generadas antes de la electroforesis.

4.3.3.1 Cuantificación Pre-PCR.

Como dato importante, realizaríamos la cuantificación del ADN de HDL-330, DLL , SCM, como individuos de control estudiados en común y los ejemplares ANGUS y OSC como individuos estudiados de forma singular.

Tras el proceso de extracción, se realiza la cuantificación del ADN mediante espectrofotometría con el equipo Nano Drop 8000. Esta etapa es fundamental para determinar la concentración y el grado de pureza de material genético aislado después de la extracción, garantizando así las condiciones óptimas para posterior PCR.

Los parámetros analizados mediante el programa Nano Drop 8000 son: **la concentración de ADN** $(ng/\mu l)$, que permite calcular con exactitud el volumen de muestra necesario para preparar la mezcla de reacción de la PCR, asegurando un amplificación adecuada; **absorbancia y espectrofotometría**, basándose en la ley de Lambert-Beer (la absorbancia es directamente proporcional a la concentración de la sustancia), se mide la luz absorbida por la muestra a distintas longitudes de onda para evaluar su concentración e identificar posibles contaminantes; **relación de absorbancia A260/A280**, midiendo así la relación entre los ácidos nucleicos (260 nm) y las proteínas (280 nm). Un rango óptimo para ADN puro se sitúa entre 1,7 y 2,0. Los valores inferiores a 1,7 indican contaminación por proteínas y los elevados a 2,0 sugieren presencia de restos de ARN, no digeridos por la ARNasa. Además, refiriéndonos a este último punto marcado, también se evalúa la presencia de contaminantes orgánicos e inorgánicos (230 nm). El rango ideal se encuentra entre 1,8 y 2,2. Los valores fuera del rango correspondido señalan la presencia de impurezas, como sales, fenoles, carbohidratos o restos de los reactivos empleados en los buffers de extracción.

4.3.3.2 Cuantificación Post-PCR

El análisis por electroforesis requiere de una elevada sensibilidad en la carga de muestra, por ello se realizó la cuantificación de la PCR mediante fluorometría utilizando el equipo Qubit Flex Fluorometer (ThermoFisher Scientific).

A diferencia de la espectrofotometría, la fluorometría emplea fluoróforos específicos que se unen de forma selectiva a la molécula diana (ADN de doble cadena en este caso). Esta técnica proporciona una alta precisión, sensibilidad y selectividad al medir únicamente el ADN intacto. No obstante, su limitación radica en que no detecta directamente la presencia de contaminantes en la muestra.

Para garantizar un rendimiento óptimo en la electroforesis, el rango de concentración ideal del producto de PCR de situarse entre 50 $(ng/\mu l)$ y 200 $(ng/\mu l)$.

4.3.4 Electroforesis

Es la técnica empleada para separar, identificar y fragmentar macromoléculas como los ácidos nucleicos, en función de su tamaño y carga eléctrica. La migración del

ADN, a través de la matriz porosa se fundamenta en una carga neta negativa, conferida por los grupos fosfato, lo que provoca un desplazamiento hacia el polo positivo (ánodo) al aplicar un campo eléctrico en un medio amortiguador (buffer).

Aunque de forma convencional, la separación se realiza separando geles de la gasa, vertidos en cubas electroforética estándar, para este trabajo se empleó un sistema automatizado de mayor rapidez, precisión y resolución: el equipo E-Gel Power Snap (Invitrogen).

A diferencia del método tradicional, este sistema utiliza geles prefabricados, los cuales ya integran la matriz, el buffer y el agente intercadente fluorescente para la detección directa de las bandas.

Para garantizar una correcta resolución de las bandas, sin saturar el sistema, resulta imprescindible la cuantificación previa por fluorometría, ajustando así el volumen de carga, según la concentración de cada producto de PCR.

Los geles empleados cuentan con 11 pocillos. Dos de ellos se reservan sistemáticamente los extremos para la carga del marcador de peso molecular, expresado en pares de bases (pb). Esto permite establecer una referencia estándar para determinar el tamaño exacto de los fragmentos amplificados.

Una vez dispuesta las muestras teñidas en los pocillos, el equipo aplica el programa electroforético correspondiente. Durante la carrera, los fragmentos de menor tamaño molecular migran a mayor velocidad a través de los poros de la agarosa hacia el ánodo, logrando una separación precisa que es captada y documentada directamente por el sistema de imagen integrado del equipo.

4.4 Uso de las herramientas biotecnológicas en el fenotipado

El conjunto de técnicas biotecnológicas implementadas permite identificar con precisión los genes de resistencia de *Capsicum Annuum*. Tras esta caracterización molecular, se lleva a cabo la evaluación fenotípica para verificar la respuesta real de la planta frente a *Meloidogyne Incógnita*. Finalmente, los individuos seleccionados portadores del gen de resistencia se utilizan en técnicas de hibridación no transgénicas, concretamente mediante el uso de injertos, permitiendo obtener plantas con sistema radicular protegido frente al nematodo, sin alterar las características comerciales del fruto.

4.5 Transferencia de información

La investigación científica adquiere su máximo valor cuando trasciende el ámbito de laboratorio y se transfiere eficazmente a distintos ámbitos. En el contexto de la producción de pimiento, un cultivo (*Capsicum Annuum L.*), un cultivo pilar en la Región de Murcia, resulta fundamental divulgar el esfuerzo científico y biotecnológico que respalda la presencia de alimentos sanos, seguros y sostenibles en la cadena de consumo.

Este proyecto abarca una dimensión que va más allá de la caracterización molecular: busca establecer un puente de comunicación entre la investigación aplicada y distintos sectores clave. De este modo, la transferencia se estructura en tres ejes principales: la sociedad general, el sector agrícola y el ámbito educativo.

4.5.1 Conocimiento en la sociedad general.

Para comprender la relevancia de esta transferencia, es necesario indagar en la trascendencia del cultivo en el ámbito del consumo local.

Según el ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2024), el *Informe Anual de Consumo Alimentario,* el consumo medio nacional del pimiento se sitúa en torno a los 4,3 kg por persona al año. En la Región de Murcia, el consumo de hortalizas frescas, supera la mediana nacional, entre un 20 % y un 22 %, lo que estimaría un consumo regional aproximado de un 5,25 kg por persona al año.

Además, según MercaMurcia (principal centro de distribución de casi todos los pimientos que acaban en las fruterías y plazas de la Región) indican que entre el 90 % y el 95 % del pimiento comercializado en los meses de campaña (marzo a octubre) es de origen local. Promediando el balance anual con las importaciones invernales, el pimiento murciano representa entre 75 % y el 85 % del total consumido la región, consolidándose como un elemento identitario y económico de primera orden.

Con todos estos datos tan relevantes, que hacen de grande importancia su divulgación a la sociedad, se realizan vías de exposición como las mesas redondas, jornadas abiertas o festivales divulgativos, como uno llamado Pint Of Science, un evento internacional donde científicos utilizan un lenguaje e coloquial para charlar con personas corrientes sobre temas científicos.

4.5.2 Conocimiento en el sector agrícola.

El sector primario de la Región de Murcia se caracteriza por una elevada competitividad e innovación. No obstante, la traslación de los hallazgos de laboratorio al campo requiere superar mucho desconocimiento.

El control de *Meloidogyne incógnita* genera costes operativos desorbitados para los agricultores (aplicación de matizadas, maquinaria, especial, mano de obra y mayor consumo de agua y fertilizantes por el deterioro del sistema radicular). A modo de referencia en la provincia de Almería durante la campaña 2023/2024, fitosanitarios ascendió a 4039 € por hectárea. (Hortoinfo, 2025)

La implementación de variedades de *Capsicum Annuum* portadoras de los genes de resistencia Me representa una solución directa que reduce los costes de producción, asegura el cumplimiento de las normativas comunitarias sobre uso de fitosanitarios y promueve la biodiversidad genética en los cultivos.

El IMIDA impulsa la transferencia tecnológica mediante proyectos de investigación aplicada en colaboración con la Organizaciones de Productores de Frutas y Hortalizas (OPFH) y con Fondos Europeos para el Desarrollo Regional (FEDER).

Para transferir los resultados del laboratorio al campo, se realizan actividades como: campos de ensayo abierto, **parcelas experimentales**, donde los agricultores comparan la diferencia entre variedades resistentes y susceptibles; **visitas de técnicos agrícolas**, encuentros en parcela donde los técnicos evalúan el comportamiento de los nuevos materiales de las casas de semillas y transmiten necesidades reales del sector, y **jornadas de transferencia**, eventos, periódicos, organizados por el IMIDA para presentar los avances.

4.5.3 Conocimiento del sector educativo.

Con su divulgación se pretende fomentar la cultura científica en las etapas formativas para garantizar un relevo generacional en la investigación y dotar al alumnado de pensamiento crítico fundamentado en el método científico.

Esta labor es desarrollada por el Grupo de Fitonematología y Ecogenética del IMIDA en diversas acciones, como en las ferias de ciencias, en prácticas formativas y

estancias en laboratorios, y por último, pero no menos importante, en desarrollos de trabajos de investigación académicos.

5. Resultados

Para evaluar la resistencia frente al nematodo *Meloidogyne incógnita* en las muestras de pimiento (*DLL*, *SCM*, *HDA 330*, *ANGUS* y *OSC*), se complementó un flujo de trabajo molecular que abarcó: extracción de ADN, cuantificación por espectrofotometría, amplificación por PCR, cuantificación por fluorometría y electroforesis en E-Gel.

A partir de la extracción, se obtuvieron 100 μl por muestra (800μl en total). Se evalúa la concentración y la pureza del ADN extraído mediante el espectrofotómetro Nanodrop. **(Tabla 1)**.

Todas las muestras mostraron valores dentro o aproximados del rango óptimo (1,7-2,0) , **descartando contaminación por proteínas**. Los valores superiores a 2,0 indican presencia de ARN residual, el cual no interfiere en la PCR.

Posteriormente, presenciamos valores por debajo de 1,8 en (*HDA 300_1*, *OSC*, *ANGUS* y *DLL_2*) **evidencian trazas de contaminantes orgánicos** (sales o fenoles procedentes de la precipitación de tampones), algo frecuente al trabajar por primera vez con muestras reales y que no impidió la posterior amplificación.

A continuación, se prepararon las reacciones de PCR, ajustando los componentes y perfiles térmicos para cada marcador molecular: para el marcador V2 (Gen *Me1*), su volumen final fue de 25 μl (**Tabla 7**). Se le realizaría un programa térmico con hibridación a 57 °C durante 35 ciclos (**Tabla 8/ figura 30**). Mientras que el para el marcador Pm6a (Gen *Me3*), su volumen final de 27,5 μl (**Tabla 9**) se realizaría con una programación térmica con hibridación a 49 °C durante 35 ciclos (**Tabla 10**/ **figura 31**)

Consecuentemente, se tuvo que realizar un análisis de la cuantificación Post-PCR y electroforesis para medir con precisión el rendimiento del amplificación, se utilizó el fluorímetro (**Tabla 3** y **4**). **La amplificación del marcador V2 fue exitosa**, obteniendo concentraciones adecuadas para su separación en gel. En cambio, **para el marcador Pm6a las concentraciones, descendieron notablemente, lo que causó una deficiente migración e intensificación en la electroforesis en E-Gel.**

Por último, a la hora de la asignación, genotípica y selección de variedades, esto marca el final de la electroforesis, momento en el que los fragmentos de ADN teñidos, tras migrar hacia el ánodo, se separan y visibilidad en bandas, según su tamaño molecular, medido en pares de bases (pb), unidades formadas por las parejas de bases nitrogenadas (A-T, G-C). La posición de estas líneas respecto al marcador de peso molecular permite distinguir el genotipo de cada muestra: **homocigoto resistente, homocigoto sensible o heterocigoto**. Esta identificación es crucial para seleccionar o descartar plantas destinadas a injertos.

La banda superior (219 pb) identifican el gen R (homocigoto resistente) , que constituye al objetivo buscado; la banda inferior (189 pb) identifica el gen S (homocigoto sensible); y la doble banda (219/189 pb) corresponde a individuos heterocigotos (H), con resistencia parcial)

En los resultados del marcador V2 (Gen *Me1*) se presentó una lectura clara y correcta donde el individuo HDA 330 resultó ser homocigoto resistente para el gen *Me1,* mientras que ANGUS mostró un perfil heterocigoto.

Sin embargo, el marcador Pm6a (Gen *Me3*) con la electroforesis, no ofreció un resultado legible. La caída drástica de volumen/concentración en la cuantificación Post-PCR fin pidió la correcta migración e intensificación del ADN en el gel. Debido a limitaciones de tiempo en el laboratorio no fue posible repetir el ensayo. No obstante, se presentan tanto el resultado de la prueba fallida como el patrón teórico esperado y la asignación de alelos para el gen *Me3*.

En conclusión final, para la mejora genética mediante injertos, se seleccionan los individuos con alelos de resistencia: HDA 330 y ANGUS (para el gen Me1), así como SCM I OSC (para el gen Me3). Los resultados geno típicos coinciden de forma inversa con el índice de Agallas, observado en la raíces, donde un menor número de agallas y menor decoloración confirman la resistencia efectiva de la planta que estás haciendo que estás haciendo.

6. Conclusiones

El desarrollo de este proyecto ha permitido aplicar con éxito técnicas de biología molecular para la identificación de genes de resistencia a *Meloidogyne incógnita* en *Capsicum Annuum*, contribuyendo de forma directa al desarrollo biotecnológico, económico y agrícola de la región de Murcia. Gracias a la ejecución meticulosa de los protocolos de extracción de ADN, cuantificación, PCR y electroforesis bajo la supervisión del equipo investigador, se han cumplido los objetivos principales y se ha validado la hipótesis inicial. A pesar de las dificultades técnicas surgidas durante la amplificación del marcador *Pm6a*, el manejo riguroso de los datos y la correcta lectura del marcador *V2* permitieron determinar con éxito los genotipos de resistencia de las muestras analizadas.

Por otra parte, la realización de este trabajo ha puesto de manifiesto la importancia estratégica de la divulgación científica para acortar la brecha entre la investigación de laboratorio y la sociedad, además visibilizando el esfuerzo biotecnológico que respalda a la producción agrícola actual. Este estudio sienta las bases para futuras líneas de investigación que el próximo año se profundizarán de manera individual, dividiéndose en la caracterización molecular avanzada de la resistencia en el cultivo de pimiento y el análisis práctico de la transferencia del conocimiento. En definitiva, esta experiencia no solo demuestra el valor de la investigación aplicada para resolver problemas reales de distintos sectores, sino que reafirma el papel indispensable de la biotecnología en el futuro de la agricultura regional.

7. Agradecimientos

Expresamos nuestro sincero agradecimiento a nuestra tutora en el IMIDA, Celia Martínez Mora, a nuestro profesor del centro, Jesús Hernández Fernández, y a la Dra. Caridad Ros Ibáñez por su valiosa guía, correcciones y apoyo. Agradecemos también a la técnica Sulem Ballester Pérez y al doctorando Iván Fernández Pérez, por su constante ayuda y paciencia en el laboratorio. Finalmente, hacemos excesivo este reconocimiento a nuestro tutor de Bachillerato de Investigación, Antonio Garrigós, a

nuestras familias, compañeros y amigos por su respaldo incondicional, así como a los lectores por mantener vivo el conocimiento científico. Perfecto

8. Referencias bibliográficas

Barbary A., Djian- Caporalino C., Marteu N., Fazari A., Caromel B., Castagnone-Sereno P., Palloix A. (2016).Plant Genetic Background Increasing the Efficiency and Durability of Major Resistance Genes to Root-knot Nematodes Can Be Resolved into a Few Resistance QTLs. *Frontiers in plant science,*7, 632-641. https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2016.00632/full.

Bayer(2025)*Meloidogyne spp: Impacto y Control de Nematoides en Cultivos.* https://www.vegetables.bayer.com/cl/es-cl/recursos/growing-tips/consulte-nuestra-guia-de-enfermedBerthold Technologies GmbH & Co. KG *(2026)* Influencia de la pureza del ADN en su cuantificación https://www.berthold.com/es/bioanalitica/aplicaciones/cuantificación-dna/pureza/#:~:text=Una%20abCobb, N. (1914), Nematodes and their relationships. En United States Department of Agriculture, ed. *Yearbook United States Department of Agriculture*. pp. 457-490. Archivado desde el original el 9 de junio de 2016. https://biostor.org/reference/246684.

Djian-Caporalino C. , Fazari A. , Arguel M. J. , Vernie T. , VandeCasteele C. , Faure I., Brunoud G. , Pijarowski L. Palloix A. , Lefebvre V. , Abad P. (2006). *Root-knot nematode (Meloidogyne spp.) Me resistance genes in pepper (Capsicum annuum L.) are clustered on the P9 chromosome,* 114(3), 473-486. 10.1007/s00122-006-0447-3

Djian-Caporalino, C.; Pijarowski, L.; Januel, A.; Lefebvre, V.; Daubèze, A.M.; Palloix, A.; Dalmasso, A.; Abad, P. (1999). *Spectrum of resistance to root-knot nematodes and inheritance of heat-stable resistance in pepper (Capsicum annum L.)* Theoretical and Applied Genetics 99, 496-502. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22665183/.

Egea Clemente, F. *Identificación molecular de resistencia a nemátodos en pimiento.* Celia Martínez Mora. Tesis de nivel de grado universitario. Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica. Cartagena. [15 de marzo de 2026] PDF.
https://repositorio.upct.es/server/api/core/bitstreams/30f12879-2de9-45b1-8441-8067c42940cc/content

Egea Clemente F. Weiss J. , Rosa Ibáñez C. y Martínez Mora C.(2025) *Design of a molecular strategy for the study of genetic resistance to Meloidogyne sp. in pepper.* [Presentación en cartel] Iberia plant biology-2025, Cartagena.
C-0127_ENG-Mol. Strategy_Pepper Nematode Resistance_IPB.pdf

Equipo de protección de cultivos. (14/07/23)/[23/04/26] [en línea] *IMIDA.* https://www.imida.es/-/muestra-de-resultados

FAO *Marcadores moleculares: una herramienta para explorar la diversidad genética* (2007) https://www.fao.org/4/a1250s/a1250s17.pdf

Frigolet, M. E. (Septiembre-Octubre 2017) [14/12/2023] Ciencias “ómicas”, ¿cómo ayudan a las ciencias de la salud? RDU-Revista Digital Universitaria-UNAM [en línea] *Revisa Digital Universitaria.* 18 (7). 1607-6079 https://revista.unam.mx/vol.18/num7/art54/index.html

Gobierno Región de Murcia. (21/04/26)/[24/04/26] [en línea] *Gobierno Región de Murcia.* https://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=124816&IDTIPO=10&RASTRO=c$m122,70#:~:te

Gobierno Región de Murcia. (1/03/26)/[24/04/26] El IMIDA acerca la innovación agroalimentaria a los más jóvenes en la II Feria Científica de Santomera [en línea] *Gobierno Región de Murcia.* https://www.carm.es/web/pagina?IDCONTENIDO=124371&IDTIPO=10&RASTRO=c$m122,70

Hortoinfo.(10/03/26) [26/04/26]*El coste de cultivar una hectárea de pimiento ha crecido un 23,41% en 5 campañas, hasta los 62.078 euros.*Hortoinfo [en línea] https://hortoinfo.es/el-coste-de-cultivar-una-hectarea-de-pimiento-ha-crecido-un-2341-en-5-campana

Izquierdo V. , Castillo A. (2022). *PROYECTO DE APLICACIÓN PROFESIONAL (PAP) Programa de Apoyo a Centros de Investigación Externos II* [Tesis doctoral] Universidad Jesuita de Guadalajara. https://rei.iteso.mx/server/api/core/bitstreams/84da22ac-d87f-4ff8-9621-b371fad9729e/content.

Laboratorio de fitopatología de La Granja Agrícola Experimental. *Meloidogyne incogntia (Kofoid & White) Chitwood.* (Ficha 212)[Ficha técnica]. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/plataforma_conocimiento/fichas/pdf/fd_212.pdf

La Verdad. (25 de marzo de 2025). El pimiento de la Región de Murcia, cada vez más demandado por los consumidores. *La Verdad.* https://www.laverdad.es/agro/pimiento-region-murcia-vez-demandado-consuidores

Ministerio de agricultura,pesca y alimentación. (2024) *informe anual del consumo alimentario en España.* 003-19-161-9003-19-161-9. 614

https://www.mapa.gob.es/dam/mapa/contenido/alimentacion/temas/consumo

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (2003) *Consejo Interministerial OMG (CIOMG)* https://www.miteco.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/biotecnologia/

Orzanco ,O. (2/10/25)[4/4/26**]** *En 2024 las exportaciones crecieron un 25% y superaron las 135.000 toneladas, mientras que esta campaña registra dificultades por la concentración de oferta neerlandesa.* Valencia Fruits. [en línea] https://valenciafruits.com/el-pimiento-murciano-gana-fuerza-en-el-mercado-exterior/

Pint of Science (2026)[24/04/26] *Aplicaciones biotecnológicas en agricultura.* Pint of Science [en línea] https://www.pintofscience.es

Pardo, M.(2020) *Análisis molecular de variedades de pimiento para la detección de resistencias a nematodos.* Universidad de Murcia.

Revista Cultivar.(6/03/25)[16/03/26]*Meloidogyne incognita.*Revista cultivar [en línea] https://revistacultivar-es.com/salud-vegetal/meloidogyne-incognita

Terefe M., Kidane Alemu S., Olani K., Debebe A., Aklilu S., Berhanu B.(2022).Genetic diversity in pepper (Capsicum annuum L.) germplasms using SSR markers. *African Journal of Biological Sciences,* volumen 16, 175-185. https://journal-backups.lon1.digitaloceanspaces.com/uploads/main/article/1118d9e69587.pdf.

Thermo Fisher SCIENTIFICS.(2026). *Cuantificación fluorométrica Qbit.* *https://www.thermofisher.com/es/es/home/industrial/spectroscopy-elemental-isotope-analysis/molecu*

Yague, M.(2020) *Mejora genética de capsicum asistida por marcadores moleculares: caracteres del fruto.* Capel, J.Trabajo fin de máster. Universidad Almería. Almería. [17 de marzo 2026] PDF. https://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/10265/YAGUE%20SANCHO%2C%20MONICA.pdf

9. Ilustraciones extras necesarias para el comprendimiento de los resultados

Tabla 1.

Individuos	Tiempo	Concentración	A260/A280	A260/A230	Unidades
DLL_1	12:19:00	111,7	1,92	1,82	ng/microlitro
DLL_2	12:19:00	70,92	1,83	1,02	ng/microlitro
SCM_1	12:19:00	248,3	1,88	1,91	ng/microlitro
SCM_2	12:19:00	250,1	1,92	2,06	ng/microlitro
HDA330_1	12:19:00	48,38	2,12	0,71	ng/microlitro
HDA330_2	12:19:00	170,1	1,94	1,93	ng/microlitro
ANGUS	12:19:00	71,94	1,71	1	ng/microlitro
OSC	12:19:00	45,69	2,01	1,36	ng/microlitro

Realización propia

Tabla 3.

Individuos (PCR con el marcador V2)	Resultado	Unidades
DLL-1	25	ng/uL
SCM-1	13	ng/uL
HDA 330	59	ng/uL
ANGUS	36,6	ng/uL

Realización propia.

Tabla 4.

Individuos (PCR con el marcador Pm6a)	Resultado	Unidades
DLL-2	13	ng/uL
DSCM-2	22,6	ng/uL
HDA 330	11,7	ng/uL
OSC	11,6	ng/uL

Realización propia.

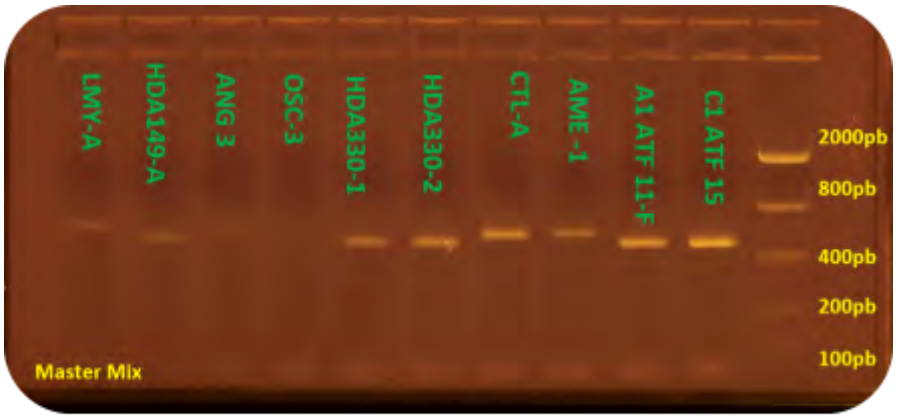


Figura 27.
Revelado de marcador V2.

Realización propia

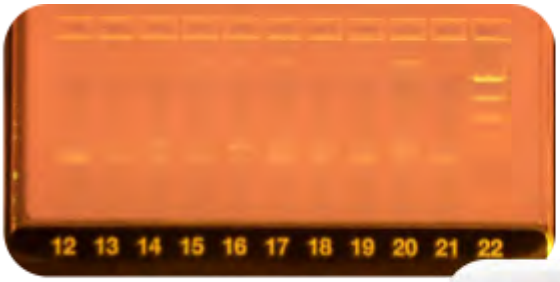


Figura 28.
Prueba fallida de electroforesis.

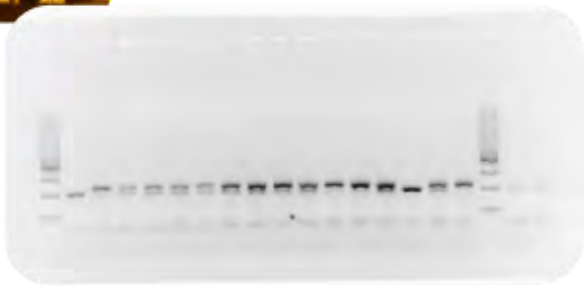


Figura 29.
Una prueba buena del marcador Pm6a.

Realización propia

Tabla 7.

Muestras	Concentración de trabajo	Volumen necesario	Número de muestras	Volumen necesario por el número de muestras
Master Mix	2x	12,5 uL	10	125
Cebador R	5 uM	3,75 uL	10	37,5
Cebador F	5 uM	3,75 uL	10	37,5
Agua		3 uL	10	30
ADN		2 uL	10	20
	Volumen final necesario	25 uL		

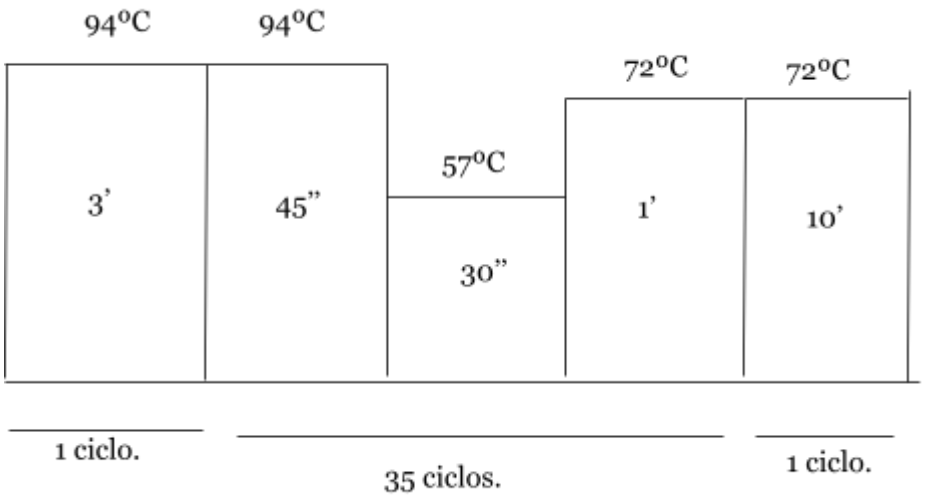
Realización propia

Tabla 8.

Temperatura	Tiempo	Ciclos
94ºC	3 minutos	x1
94ºC	45 segundos	x35
57ºC	30 segundos	x35
72ºC	1 minuto	x35
72ºC	10 minutos	x1

Realización propia

Figura 30.



Realización propia

Tabla 9.

Muestras	Concentración de trabajo	Volumen necesario	Número de muestras	Volumen necesario por el número de muestras
Master Mix	2x	13,75 uL	10	137,5
Cebador R	5 uM	2,75 uL	10	27,5
Cebador F	5uM	2,75 uL	10	27,5
Agua		8 uL	10	80
ADN		2 uL	10	20
	Volumen final necesario	27,5 uL		275

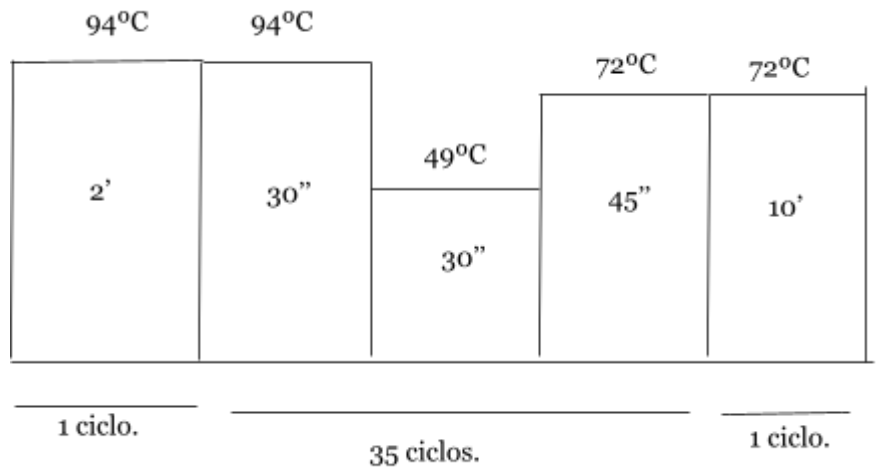
Realización propia

Tabla 10.

Temperatura	Tiempo	Ciclos
94ºC	2 minutos	x1
94ºC	30 segundos	x35
49ºC	30 segundos	x35
72ºC	45 segundos	x35
72ºC	10 minutos	x1

Realización propia

Figura 31.



Realización propia

Tabla 13.

Me1	V2
DLL-1	S
SCM-1	S

HDA 330	R
ANGUS	H

Realización propia

Tabla 14.

Me3	Pm6a
DLL-2	S
SCM-2	R
HDA 330	S
OSC	H

Realización propia

SALUD VISUAL Y ERA DIGITAL: IMPACTO DEL USO DE PANTALLAS EN LA ENFERMEDAD DEL OJO SECO EN LA POBLACIÓN ESCOLAR DE TOTANA

Autores: Daniel Cánovas García y Leonor Martínez González

Tutor: Alberto Martínez Yúfera

IES Prado Mayor

ÍNDICE

1. Introducción....4
1.1. Introducción....4
1.2. Motivación....4
2. Antecedentes....4
2.1. Estado de la cuestión e investigaciones previas....4
2.2. Bases teóricas de la investigación....4
3. Hipótesis y objetivos....5
4. Materiales y métodos....5
4.1. Diseño metodológico....5
4.2. Materiales para la recogida de datos....6
4.3. Procesamiento y análisis de datos....6
5. Resultados....6
5.1. Resultados de las encuestas a la población escolar....6
5.2. Resultados de las encuestas a ópticas y centros oftalmológicos de Totana....8
6. Conclusiones....8
7. Agradecimientos....9
8. Bibliografía y webgrafía....9
9. Información complementaria....11

Resumen

La digitalización de los hábitos cotidianos ha convertido el uso de dispositivos electrónicos como un eje central de la interacción social y el ocio de los jóvenes. No obstante, la exposición prolongada a pantallas se asocia a la enfermedad de ojo seco (EOS), una patología que puede condicionar el bienestar y el rendimiento escolar. Esta investigación analiza la correlación entre el tiempo de exposición digital y la prevalencia de sintomatología ocular en la población escolar de Totana (Murcia). Mediante un diseño no experimental con enfoque mixto (cualitativo-cuantitativo) y alcance correlacional, se recolectaron datos de 426 sujetos a través de cuestionarios validados (OSDI y DEQ-5), adaptados específicamente para garantizar la comprensión y validez en el contexto de la población escolar. Estos se complementaron con entrevistas estructuradas a profesionales del sector ámbito óptico-oftalmológico local. Los hallazgos revelan que, si bien la prevalencia de diagnóstico clínico es moderada en jóvenes, existe una asociación significativa entre el uso intensivo de pantallas y las molestias visuales. Asimismo, se identificaron brechas en el conocimiento de medidas preventivas y una baja adherencia a tratamientos efectivos. A pesar de las limitaciones propias de los datos autoinformados, el estudio concluye que el estilo de vida digital actual entre la población escolar de Totana constituye un factor de riesgo para la salud pública ocular. Los resultados subrayan la necesidad de implementar programas de alfabetización visual e higiene digital en los centros educativos para mitigar el impacto social de esta afección emergente.

***Palabras clave*:** dispositivos digitales, síntomas oculares, ojo seco, prevención, población escolar

1. Introducción

1.1. Introducción

En la actualidad, el uso de pantallas en móviles, tabletas y ordenadores es fundamental durante la adolescencia y juventud, para la interacción social, el estudio y el ocio. No obstante, su empleo prolongado puede favorecer la enfermedad del ojo seco (EOS), caracterizada por la inestabilidad de la película lagrimal y la reducción del parpadeo. Diversos estudios señalan que esta exposición digital afecta a la salud ocular y puede repercutir en el bienestar y el rendimiento académico.

1.2. Motivación

El interés por esta investigación surge de la observación en el IES Prado Mayor, donde se detectó que los estudiantes con mayor exposición a pantallas presentaban síntomas de irritación ocular, especialmente en Formación Profesional de Informática y Administración y Gestión. Además, la experiencia personal de los autores reforzó la necesidad de comprobar si estos casos respondían a un patrón real en la población escolar de Totana.

Ante la falta de datos locales, este estudio pretende analizar la relación entre el consumo digital y la salud ocular de la población escolar de Totana. El objetivo es confirmar si existe una influencia negativa y, a partir de los resultados, proponer estrategias de prevención y concienciación que promuevan hábitos digitales saludables en la comunidad educativa.

2. Antecedentes

2.1. Estado de la cuestión e investigaciones previas

El estudio de Ayala Sipiran y Contreras Villegas (2022) evidenció que los adolescentes que utilizan el smartphone más de cuatro horas diarias presentan mayor sintomatología de ojo seco, especialmente por el uso a corta distancia y el ángulo de visión que favorece la sequedad ocular.

En esa misma línea, investigaciones en países asiáticos, como la de Moon *et al*. (2016), relacionaron el aumento del ojo seco con un mayor tiempo frente a pantallas y la reducción de actividades al aire libre, para mostrar que ya no se trata de un problema aislado entre estudiantes.

En España, el estudio PrevEOS (2025) señala una prevalencia de la enfermedad del ojo seco cercana al 30 % en jóvenes de 18 a 30 años, además de destacar el desconocimiento de la enfermedad y la normalización de síntomas como escozor o fatiga visual, lo que retrasa el diagnóstico (Benítez del Castillo y Burgos Blasco, 2025).

Por último, los informes TFOS DEWS II (2017) y III (2025) indican que el ojo seco asociado a pantallas es principalmente de tipo evaporativo, debido a la disminución y alteración del parpadeo durante tareas de alta concentración, lo que rompe la estabilidad de la película lagrimal (Wolffsohn *et al*. 2025).

2.2. Bases teóricas de la investigación

La enfermedad del ojo seco

En el informe TFOS DEWS III (2025), se establece la definición oficial más reciente de la enfermedad del ojo seco, descrita como:

> Una enfermedad sintomática multifactorial caracterizada por una pérdida de homeostasis de la película lagrimal y/o de la superficie ocular, en la que la inestabilidad de la película lagrimal e hiperosmolaridad, la inflamación y daño de la superficie ocular, y las anomalías neurosensoriales son factores etiológicos. (Wolffsohn *et al*. 2025, p.387)

Epidemiología

La prevalencia de la enfermedad del ojo seco varía ampliamente a nivel mundial debido a la falta histórica de criterios diagnósticos estandarizados, con estimaciones entre el 5 % y el 50 % según síntomas, que pueden alcanzar el 75 % al considerar solo signos clínicos (Stapleton *et al*. 2017).

En España, el estudio PrevEOS encontró una prevalencia del 16,6 % al 22,5 %, que asciende hasta el 30 % en jóvenes de 18 a 30 años, además de evidenciar un importante infradiagnóstico, ya que solo el 12,3 % de los casos tenía diagnóstico previo (Benítez del Castillo y Burgos Blasco, 2025).

Síntomas clínicos

Las manifestaciones clínicas de la EOS varían según la gravedad de la enfermedad y suelen empeorar al final del día o en determinadas condiciones ambientales, como ambientes secos, ventosos o con calefacción o aire acondicionado, así como durante la lectura o el uso de pantallas digitales (Alomoto Antón, 2019).

Según los informes de referencia mundial TFOS DEWS II (2017) y TFOS DEWS III (2025), los pacientes describen principalmente una sensación de arena o cuerpo extraño en los ojos, que es el síntoma más característico. A menudo se acompaña de ardor intenso, irritación persistente, sequedad

continua y visión borrosa fluctuante que mejora momentáneamente al parpadear. También son frecuentes la fatiga visual tras trabajar con pantallas, y el lagrimeo paradójico (lágrimas excesivas que no hidratan el ojo) y, en algunos casos, prurito, fotofobia o incluso dolor neuropático ocular cuando la enfermedad es avanzada (Craig *et al.* 2017; Wolffsohn *et al.* 2025).

Diagnóstico

El diagnóstico de la enfermedad del ojo seco se basa en la presencia de síntomas junto con signos clínicos objetivos, ya que ninguna prueba aislada es suficiente para confirmarlo (Bron *et al*. 2017). Según TFOS DEWS II (2017) y III (2025), deben coexistir síntomas detectados mediante cuestionarios validados y al menos una alteración del equilibrio lagrimal, como inestabilidad de la película lagrimal, hiperosmolaridad o daño de la superficie ocular (Craig *et al*. 2017; Wolffsohn *et al*. 2025). Entre los instrumentos más utilizados destacan el OSDI y el DEQ-5 para cuantificar la gravedad sintomática (Schiffman *et al*. 2000; Wolffsohn *et al*. 2017).

Tratamiento y prevención

El tratamiento del ojo seco se orienta a aliviar los síntomas y proteger la superficie ocular según la gravedad (Vicentín, 2023). La educación del paciente es fundamental, especialmente para promover el parpadeo consciente durante el uso de pantallas, ya que los dispositivos digitales reducen su frecuencia de unas 20 a menos de 5 veces por minuto, favoreciendo la evaporación lagrimal y la aparición de síntomas (Blehm *et al*. 2005; Jones *et al*. 2025; Rossignol *et al*. 1987). Como medidas preventivas se recomienda la regla 20-20-20 y la adopción de hábitos ergonómicos, como mantener una distancia adecuada de la pantalla y ajustar su contraste, junto con el uso de lágrimas artificiales sin conservantes en usuarios intensivos (Craig *et al*. 2017; Kaur *et al*. 2022; Talens-Estarelles *et al*. 2022). No obstante, la adherencia al tratamiento suele ser baja, ya que menos de la mitad de los afectados utiliza lágrimas artificiales de forma regular, especialmente entre los jóvenes, lo que subraya la necesidad de intervenciones educativas basadas en la evidencia (Inomata *et al*. 2020; Kawashima *et al*. 2017).

Efectos de las pantallas en la salud ocular

El uso prolongado de pantallas, incluyendo ordenadores, móviles y tabletas, afecta la salud ocular principalmente mediante la fatiga visual digital, que se manifiesta como sequedad, visión borrosa, cansancio e irritación ocular (Portello *et al*. 2013; Rosenfield, 2011). Esto se debe, en gran medida, a la reducción de la frecuencia y calidad del parpadeo durante la visualización de pantallas, que puede disminuir de 15–20 a solo 5 parpadeos por minuto o menos, provocando una evaporación más rápida de la lágrima y afectando la estabilidad de la película lagrimal (Blackie *et al*. 2009; Rosenfield, 2011).

El esfuerzo visual constante y la cercanía de la pantalla, especialmente en móviles, aumentan la tensión acomodativa y la fatiga ocular (Sheppard y Wolffsohn, 2018; Solanki *et al*. 2025). Otros factores como iluminación, contraste, tamaño de fuente y postura también influyen en la incomodidad visual (Collins *et al*. 1991; Solanki *et al*. 2025). Aunque la luz azul de las pantallas no causa daño retiniano permanente en condiciones normales, puede contribuir a la fatiga ocular y alterar el sueño si se utiliza en exceso antes de dormir (Porter y Pagan-Duran, 2025).

3. Hipótesis y objetivos

Hipótesis

Se plantea que existe una relación entre el tiempo de exposición a pantallas digitales y la aparición de síntomas compatibles con la enfermedad del ojo seco en la población escolar de Totana.

Objetivo general

Analizar la relación entre el uso de pantallas y la aparición de la enfermedad del ojo seco en la población escolar de Totana.

Objetivos específicos

1) Determinar los tratamientos y medidas preventivas más utilizados por la población escolar de Totana para aliviar la enfermedad del ojo seco
2) Determinar la prevalencia de la enfermedad del ojo seco en la población escolar de Totana.
3) Analizar la relación entre el tiempo de exposición a las pantallas y la incidencia de la enfermedad del ojo seco entre la comunidad educativa.

4. Materiales y métodos

4.1. Diseño metodológico

Para analizar el impacto del uso de pantallas en la salud visual de la población escolar de Totana, se planteó un estudio de finalidad básica con enfoque mixto (cuantitativo y cualitativo), estructurado de forma no experimental para observar el fenómeno en su estado natural sin manipulación de variables. El trabajo integra una investigación documental, sustentada en literatura

científica previa, con un riguroso estudio de campo realizado en el entorno escolar y en centros especializados de la localidad. Su alcance es descriptivo-correlacional, ya que no solo caracteriza la sintomatología ocular de la población, sino que analiza la relación entre el tiempo de exposición digital y la prevalencia de la enfermedad del ojo seco.

4.2. Materiales para la recogida de datos

Para la recopilación sistemática de información se diseñaron dos instrumentos diferenciados.

La primera encuesta, en formato digital mediante Google Forms, fue dirigida a estudiantes y docentes de los centros de secundaria de Totana. Se basó en la adaptación de dos cuestionarios clínicos validados internacionalmente: el Ocular Surface Disease Index y el Dry Eye Questionnaire-5, que permiten evaluar la frecuencia e intensidad de los síntomas y su repercusión funcional. Dado que la población diana incluía adolescentes, se adaptó el lenguaje y la formulación de algunos ítems para facilitar su comprensión, y se procuró mantener la estructura y los criterios esenciales de puntuación de los cuestionarios validados. El cuestionario incluyó además variables sociodemográficas, tiempo y tipo de uso de pantallas, sintomatología tras la exposición y tratamientos utilizados.

La segunda encuesta consistió en una entrevista estructurada dirigida a profesionales de ópticas y centros oftalmológicos del municipio. Su finalidad fue recoger la perspectiva clínica sobre el número y posible aumento de casos de ojo seco en la población, así como los tratamientos y medidas preventivas más recomendados.

4.3. Procesamiento y análisis de datos

La muestra incluyó 426 estudiantes y docentes, y 7 centros óptico-oftalmológicos, con un periodo de recogida de tres meses. Los datos fueron clasificados, registrados y tabulados en Google Sheets para su análisis mediante estadística descriptiva (frecuencias absolutas y porcentajes), representados en gráficos. Se realizaron además cruces de variables para explorar posibles asociaciones entre el tiempo de exposición a pantallas y la presencia de sintomatología compatible con enfermedad del ojo seco.

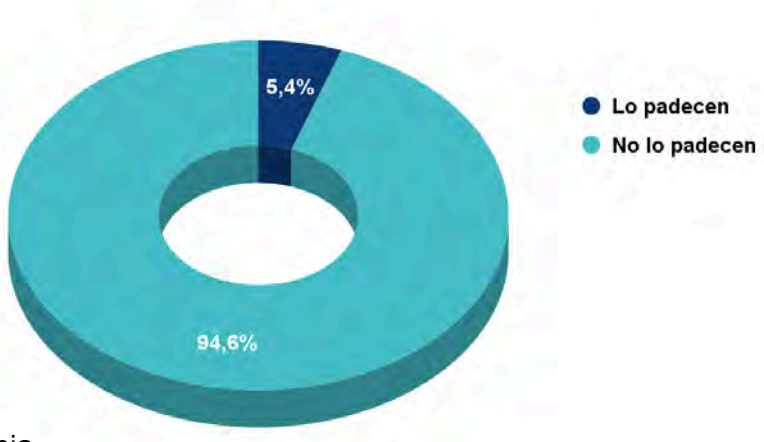
5. Resultados

5.1. Resultados de las encuestas a la población escolar

La encuesta dirigida a la población escolar de Totana fue respondida por 426 personas, sin embargo, sólo 384 declararon usar pantallas a diario. Por lo que las personas que declararon no usar pantallas sólo respondieron a las relacionadas con la EOS y no a las enfocadas al uso de pantallas. Las siguientes representaciones corresponden a la encuesta dirigida a la población escolar de Totana.

Figura 1

Prevalencia del ojo seco en la población encuestada

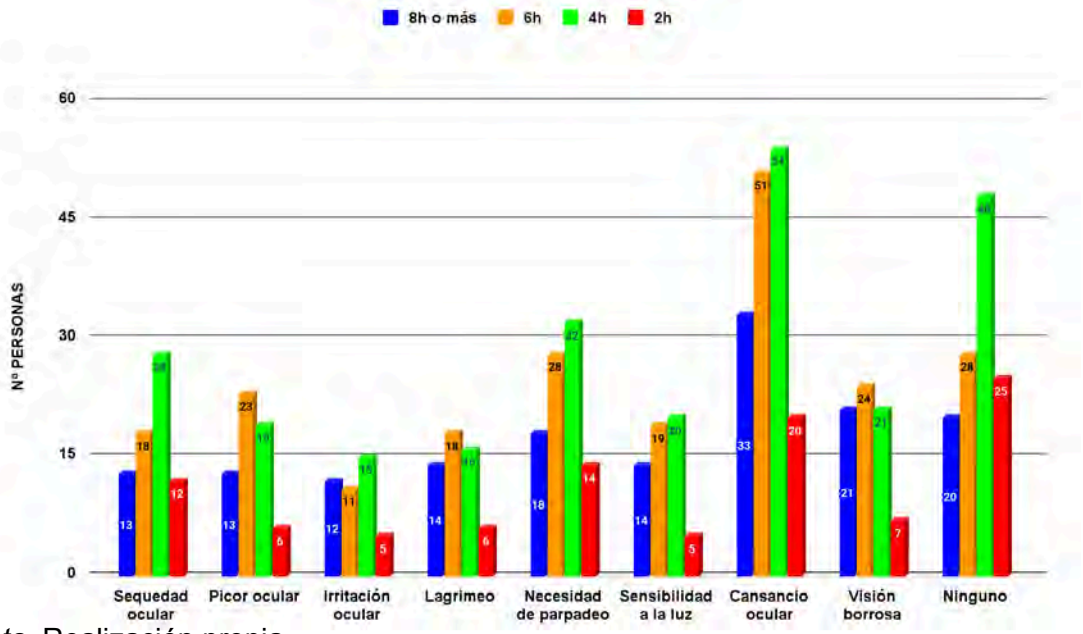


Nota. Realización propia.

El gráfico circular tipo dona muestra la distribución de los encuestados según la presencia de ojo seco. La gran mayoría de los encuestados, un 94,6 %, no presenta la afección, mientras que solo un 5,4 % afirma padecerla. Aunque es poco frecuente, el SOS sigue siendo relevante para la prevención y cuidado de la salud en el ámbito educativo.

Figura 2

Tiempo de exposición frente a pantallas y síntomas visuales asociados



Nota. Realización propia.

El gráfico muestra la relación entre el tiempo diario frente a pantallas y los síntomas visuales en los estudiantes encuestados. Se observa que, a medida que aumentan las horas de exposición a pantallas, también aumenta la frecuencia de los síntomas relacionados con la EOS.

Los alumnos que utilizan pantallas durante seis horas o más al día presentan un mayor número de molestias, destacando especialmente el cansancio ocular, la molestia ante la luz y la necesidad de parpadear con mayor frecuencia. En este grupo, el número total de alumnos es de 107, lo que refuerza la relevancia de los síntomas observados.

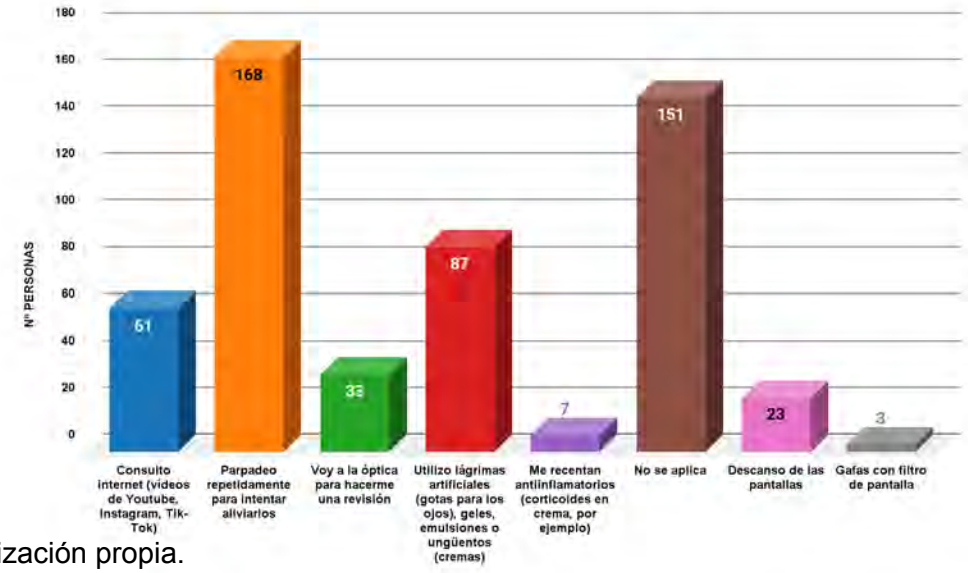
Estos síntomas aparecen con menor intensidad en los estudiantes que pasan alrededor de cuatro horas frente a pantallas, grupo que está compuesto por 143 alumnos, y son aún menos frecuentes en aquellos que solo las usan unas dos horas diarias.

El cansancio en los ojos es el síntoma más común en todos los grupos, especialmente en los de mayor exposición, lo que se podría asociar al uso prolongado de dispositivos electrónicos. Por el contrario, el número de personas que afirma no presentar ningún síntoma es mayor entre quienes pasan menos tiempo frente a pantallas y disminuye claramente conforme aumentan las horas de uso.

El gráfico sugiere una asociación entre el uso prolongado de pantallas y los síntomas visuales, lo que pone de manifiesto la importancia de controlar el tiempo de exposición y adoptar hábitos saludables para la vista.

Figura 3

Tratamientos más utilizados para aliviar síntomas tras uso prolongado de pantallas



Nota. Realización propia.

El gráfico de barras representa los tratamientos o estrategias más utilizados por los encuestados para aliviar las molestias o problemas asociados al uso prolongado de pantallas.

Los resultados indican que el parpadeo repetido es la medida más frecuente, seguido de quienes no aplican ningún tratamiento. El uso de lágrimas artificiales (gotas, geles, emulsiones o ungüentos) también es significativo, aunque menor que las opciones anteriores. Asimismo, algunos encuestados recurren a información en internet o redes sociales para buscar soluciones a sus molestias.

Por el contrario, las medidas de carácter profesional, como acudir a la óptica para una revisión, descansar de las pantallas, utilizar gafas con filtro de pantalla o el uso de tratamientos antiinflamatorios recetados, presentan una frecuencia notablemente menor. En especial, el uso de tratamientos farmacológicos prescritos es la opción menos mencionada, lo que sugiere una baja consulta profesional o médica ante este tipo de síntomas.

Es importante señalar que, aunque la muestra total es de 426 personas, las frecuencias del gráfico no suman necesariamente 426, ya que cada encuestado podía seleccionar más de una opción de tratamiento o estrategia.

Queda claro que la mayoría de los encuestados opta por medidas simples o no aplica ningún tratamiento, mientras que el recurso a soluciones profesionales o médicas es minoritario. Este hallazgo resulta relevante para comprender los hábitos de cuidado ocular en población expuesta de forma prolongada a pantallas y subraya la necesidad de promover educación sobre prevención y manejo adecuado de la salud visual.

5.2. Resultados de las encuestas a ópticas y centros oftalmológicos de Totana

La encuesta dirigida a las ópticas y centros oftalmológicos de Totana fue respondida por 7 centros y permitió identificar coincidencias relevantes entre los profesionales encuestados en relación con el síndrome de ojo seco (EOS).

En cuanto a la frecuencia de casos, las ópticas coinciden en que el ojo seco es una patología habitual en la población atendida, estimando que la mayoría de los establecimientos recibe más de 10 pacientes al mes con síntomas compatibles. Además, se destaca un número significativo de usuarios que acuden sin diagnóstico previo, presentando molestias como sequedad ocular, picor, enrojecimiento o sensación de cuerpo extraño. En estos casos, los profesionales suelen detectar signos compatibles con la enfermedad y recomendar tratamiento inicial o derivación a atención oftalmológica para su confirmación.

Respecto a los factores de riesgo, existe consenso en que el uso prolongado de pantallas constituye una de las principales causas del síndrome de ojo seco, especialmente en población joven, debido a la disminución de la frecuencia del parpadeo durante la exposición digital. Asimismo, se señalan otros factores relevantes como las condiciones ambientales (climas secos, viento, aire acondicionado o calefacción) y antecedentes de cirugía ocular.

En relación con el tratamiento, las ópticas coinciden en un enfoque escalonado según la gravedad. En casos leves se recomiendan lágrimas artificiales e higiene ocular; en casos moderados se añaden geles o emulsiones lubricantes; y en casos severos se recurre a tratamientos más avanzados como suero autólogo, corticoides o inmunosupresores bajo control especializado. También se mencionan suplementos como los ácidos grasos omega-3 como apoyo terapéutico.

Finalmente, en prevención se destaca la importancia de la higiene visual, el parpadeo consciente y la aplicación de la regla 20-20-20, junto con el uso de lágrimas artificiales en entornos secos o con climatización. Asimismo, se recomiendan medidas complementarias como el uso de gafas de protección solar, la higiene palpebral y la limitación del uso de lentes de contacto. La educación del paciente y las revisiones periódicas se consideran fundamentales para reducir la sintomatología y mejorar el control de la enfermedad.

6. Conclusiones

Después de analizar los resultados obtenidos por ambas encuestas, se obtienen las siguientes conclusiones, estructuradas según los objetivos y la hipótesis planteados:

Formas de alivio de la EOS

En relación con el primer objetivo específico, sobre cómo se alivian estos síntomas, los resultados muestran que la medida más habitual es parpadear conscientemente, seguida de la no aplicación de ningún tratamiento específico. El uso de lágrimas artificiales o geles resulta menos frecuente, y sólo una minoría recurre a consulta con profesionales u ópticas, lo que refleja una tendencia a soluciones caseras, y escasa búsqueda de atención personalizada.

Prevalencia de la EOS

Respecto al segundo objetivo específico, sobre su prevalencia, la mayoría de los encuestados (94,6 %) no presenta diagnóstico de enfermedad de ojo seco, mientras que solo el 5,4% declara padecerlo. No obstante, la presencia de síntomas es considerablemente más frecuente, especialmente entre quienes pasan más tiempo frente a pantallas.

Los resultados identifican como principal factor analizado la exposición prolongada a pantallas (más de 6 horas diarias), que se relaciona claramente con una mayor frecuencia de síntomas visuales.

Relación entre tiempo de exposición a pantallas y síntomas de la enfermedad del ojo seco

En cuanto al tercer objetivo específico, se observa que la mayoría de los encuestados presenta molestias visuales asociadas a la enfermedad del ojo seco. Los encuestados que utilizan pantallas 6 horas o más al día reportan con mayor frecuencia cansancio ocular, visión borrosa, sensibilidad a la luz y sensación de sequedad, mientras que los estudiantes que pasan 2 horas o menos frente a pantallas presentan estas molestias de forma significativamente menor.

Aunque solo el 5,4% de los encuestados tiene diagnóstico confirmado de enfermedad del ojo seco, un porcentaje relevante experimenta síntomas frecuentes o molestos, lo que indica que los problemas visuales aparecen incluso sin diagnóstico clínico.

Uso de pantallas y enfermedad del ojo seco

Los resultados confirman que existe una relación significativa entre el tiempo de exposición a pantallas y la aparición de síntomas compatibles con la enfermedad del ojo seco en la población escolar de Totana, lo que permite dar respuesta al objetivo general de la investigación.

Confirmación de la hipótesis

Los resultados obtenidos permiten validar la hipótesis inicial del estudio, al evidenciar una relación directa y significativa entre el tiempo de exposición a pantallas y la aparición de síntomas de EOS en la población analizada.

Comparación de la información de ópticas con la literatura previa

Las ópticas de Totana coinciden en que el uso prolongado de pantallas es un factor principal en la aparición del ojo seco, junto con factores ambientales y antecedentes quirúrgicos oculares. Esto concuerda con estudios previos recogidos en el marco teórico y la bibliografía (Alomoto Antón, 2019), que confirman que la exposición digital disminuye la frecuencia del parpadeo y provoca molestias visuales. Los resultados ponen de manifiesto la importancia de promover hábitos de higiene visual, limitar el tiempo frente a las pantallas, y fomentar la consulta profesional ante la aparición de síntomas para prevenir y reducir la enfermedad del ojo seco en la población.

Comparación de los resultados obtenidos con estudios previos

Al analizar la prevalencia en la muestra de Totana, solo un 5,4 % de los encuestados declara tener un diagnóstico previo de ojo seco (EOS), lo que refleja un claro infradiagnóstico. Este dato coincide, de manera más acentuada, con el estudio nacional PrevEOS (Benítez del Castillo y Burgos Blasco, 2025), que sitúa el diagnóstico formal en España en un 12,3 %. La diferencia sugiere que en adolescentes el infradiagnóstico es más profundo debido a la normalización de la fatiga visual. Nuestros resultados indican que 107 alumnos (27,9 % de los usuarios diarios) superan las 6 horas de exposición digital, cuya tendencia es coherente con Blackie *et al*. (2009) y con Rosenfield (2011), quienes identifican el uso intensivo de pantallas como un factor de riesgo principal para la inestabilidad lagrimal.

7. Agradecimientos

Agradecemos a todas las personas que han hecho posible este trabajo de investigación, especialmente a los profesores, alumnos y centros ópticos que participaron en la encuesta. Gracias a nuestra profesora de la asignatura de Investigación, Carmen García Martínez por su guía durante estos dos años, y a nuestra familia y amigos por su respaldo constante. Por último, al IES Prado Mayor por la oportunidad brindada, y a nuestro tutor, Alberto Martínez Yúfera, cuyo compromiso y apoyo han sido fundamentales para lograr este objetivo.

8. Bibliografía y webgrafía

Alomoto Antón, J. E. (2019). *Síndrome de ojo seco temprano por uso de TICs: características epidemiológicas y factores de riesgo*. Tesis de especialidad, Universidad de Guayaquil. Repositorio Universidad de Guayaquil. http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/41846

Ayala Sipiran, J., y Contreras Villegas, L. (2022). *Asociación entre el uso de dispositivos digitales y sintomatología de ojo seco en estudiantes de 18 a 24 años*. Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. Repositorio Institucional UNPRG. https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/10218

Benítez del Castillo, J. M., y Burgos Blasco, B. (2025). “Prevalence of dry eye disease in Spain: A population-based survey (PrevEOS)”. *The Ocular Surface*, *36*, 126-133. https://doi.org/10.1016/j.jtos.2025.01.006

Blackie, C. A., Solomon, J. D., Scaffidi, R. C., Greiner, J. V., Lemp, M. A., y Korb, D. R. (2009). “The relationship between dry eye symptoms and lipid layer thickness”. *Cornea, 28*(7), 789–794. https://doi.org/10.1097/ICO.0b013e3181a9f8ee

Blehm, C., Vishnu, S., Khattak, A., Mitra, S., y Yee, R. W. (2005). “Computer vision syndrome: a review”. *Survey of Ophthalmology, 50*(3), 253–262. https://doi.org/10.1016/j.survophthal.2005.02.008

Bron, A. J., de Paiva, C. S., Chauhan, S. K., Bonini, S., Gabison, E. E., Jain, S., Knop, E., Markoulli, M., Ogawa, Y., Perez, V., Uchino, Y., Yokoi, N., Zoukhri, D., y Sullivan, D. A. (2017). “TFOS DEWS II pathophysiology report: Dry eye disease as a multifactorial disease of the ocular surface”. *The Ocular Surface, 15*(3), 438–510. https://doi.org/10.1016/j.jtos.2017.05.011

Collins, M. J., Brown, B., Bowman, K. J., y Caird, D. (1991). “Task variables and visual discomfort associated with the use of VDT's”. *Optometry and Vision Science, 68*(1), 27–33. https://doi.org/10.1097/00006324-199101000-00005

Craig, J. P., Nichols, K. K., Akpek, E. K., Caffery, B., Dua, H. S., Joo, C. K., Liu, Z., Nelson, J. D., Nichols, J. J., Tsubota, K., y Stapleton, F. (2017). “TFOS DEWS II definition and classification report”. *The Ocular Surface, 15*(3), 276–283. https://doi.org/10.1016/j.jtos.2017.05.008

Inomata, T., Iwagami, M., Nakamura, M., Shiang, T., Yoshimura, Y., Fujimoto, K., Okumura, Y., Eguchi, A., Iwata, N., Miura, M., Hori, S., Hiratsuka, Y., Uchino, M., Tsubota, K., Dana, R., y Murakami, A. (2020). “Characteristics and risk factors associated with diagnosed and undiagnosed symptomatic dry eye using a smartphone application”. *JAMA Ophthalmology, 138*(1), 58–68. https://doi.org/10.1001/jamaophthalmol.2019.4815

Jones, L., Craig, J. P., Markoulli, M., Karpecki, P., Akpek, E. K., Basu, S., Bitton, E., Chen, W., Dhaliwal, D. K., Dogru, M., Gomes, J. Á. P., Koehler, M., Mehta, J. S., Perez, V. L., Stapleton, F., Sullivan, D. A., Tauber, J., Tong, L., Travé-Huarte, S., Wolffsohn, J. S., y TFOS Collaborator Group. (2025). “TFOS DEWS III Management and Therapy Report”. *American Journal of Ophthalmology*, *279*, 289-386. https://doi.org/10.1016/j.ajo.2025.05.039

Kaur, K., Gurnani, B., Nayak, S., Deori, N., Kaur, S., Jethani, J., Singh, D., Agarkar, S., Hussaindeen, J. R., Sukhija, J., y Mishra, D. (2022). “Digital eye strain – A comprehensive review”. *Ophthalmology and Therapy, 11*(5), 1655–1680. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9434525/

Kawashima, M., Yamada, M., Suwaki, K., Shigeyasu, C., Uchino, M., Hiratsuka, Y., Yokoi, N., y Tsubota, K.; DECS-J Study Group. (2017). *“*A clinic-based survey of clinical characteristics and practice pattern of dry eye in Japan”. *Advances in Therapy, 34*(3), 732–743. https://doi.org/10.1007/s12325-017-0487-x

Moon, J. H., Kim, K. W., y Moon, N. J. (2016). “Smartphone use is a risk factor for pediatric dry eye disease according to region and age: a case control study”. *BMC Ophthalmology*, *16*(188). https://doi.org/10.1186/s12886-016-0364-4 https://uvadoc.uva.es/handle/10324/50534

Portello, J. K., Rosenfield, M., y Chu, C. A. (2013). “Blink rate, incomplete blinks and computer vision syndrome”. *Optometry and Vision Science, 90*(5), 482–487. https://doi.org/10.1097/OPX.0b013e31828f09a7

Porter, D., y Pagan-Duran, B. (15 de enero de 2025). Los dispositivos electrónicos y la vista. American Academy of Ophthalmology. https://www.aao.org/salud-ocular/consejos/los-dispositivos-electr%C3%B3nicos-y-la-vista

Rosenfield, M. (2011). “Computer vision syndrome: A review of ocular causes and potential treatments”. *Ophthalmic and Physiological Optics, 31*(5), 502–515. https://doi.org/10.1111/j.1475-1313.2011.00834.x

Rossignol, A. M., Morse, E. P., Summers, V. M. y Pagnotto, L. D. (1987). “Video display terminal use and reported health symptoms among Massachusetts clerical workers”. *Journal of Occupational Medicine, 29*(2), 112–118. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3819890/

Schiffman, R. M., Christianson, M. D., Jacobsen, G., Hirsch, J. D., y Reis, B. L. (2000). “Reliability and validity of the Ocular Surface Disease Index”. *Archives of Ophthalmology, 118*(5), 615–621. https://doi.org/10.1001/archopht.118.5.615

Sheppard, A. L., y Wolffsohn, J. S. (2018). “Digital eye strain: Prevalence, measurement and amelioration”. *BMJ Open Ophthalmology, 3(*1), e000146. https://doi.org/10.1136/bmjophth-2018-000146

Solanki, M. V., Parmar, V. M., y Bhatt, D. D. (2025). "Prevalence and determinants of smartphone-induced ocular strain in medical college students". *Journal of Heart Valve Disease, 30*(8), 139–143. https://www.icr-heart.com/article/prevalence-and-determinants-of-smartphone-induced-ocular-strain-in-medical-college-students-2524/

Stapleton, F., Alves, M., Bunya, V. Y., Jalbert, I., Lekhanont, K., Malet, F., Na, K.-S., Schaumberg, D., Uchino, M., Vehof, J., Viso, E., Vitale, S., y Jones, L. (2017). "TFOS DEWS II epidemiology report". *The Ocular Surface, 15*(3), 334–365. https://doi.org/10.1016/j.jtos.2017.05.003

Talens-Estarelles, C., Cerviño, A., García-Lázaro, S., Fogelton, A., Sheppard, A., & Wolffsohn, J. S. (2023). "The effects of breaks on digital eye strain, dry eye and binocular vision: Testing the 20-20-20 rule". *Contact Lens and Anterior Eye, 46*(2), 101744. https://doi.org/10.1016/j.clae.2022.101744

Vicentin, C. (2023). *Síntomas de ojo seco y frecuencia de uso de pantallas referidos por estudiantes de la carrera de Medicina de la Universidad Abierta Interamericana-Sede Rosario Argentina, durante el período de pandemia de COVID-19, años 2020-2021.* Trabajo Final de Carrera, Universidad Abierta Interamericana. https://dspaceapi.uai.edu.ar/server/api/core/bitstreams/6ed71802-fac9-48aa-9848-035ad2c36cba/content

Wolffsohn, J. S., Arita, R., Chalmers, R., Djalilian, A., Dogru, M., Dumbleton, K., Gupta, P. K., Karpecki, P., Lazreg, S., Pult, H., Sullivan, B. D., Tomlinson, A., Tong, L., Villani, E., Yoon, K. C., Jones, L., y Craig, J. P. (2017). "TFOS DEWS II diagnostic methodology report". *The Ocular Surface, 15*(3), 539–574. https://doi.org/10.1016/j.jtos.2017.05.001

Wolffsohn, J. S., Benítez-Del-Castillo, J. M., Loya-Garcia, D., Inomata, T., Iyer, G., Liang, L., Pult, H., Sabater, A. L., Starr, C. E., Vehof, J., Wang, M. T. M., Chen, W., Craig, J. P., Dogru, M., Perez, V. L., Stapleton, F., Sullivan, D. A., y Jones, L. (2025). "TFOS DEWS III: Diagnostic methodology". *American Journal of Ophthalmology, 279*, 387–450. https://doi.org/10.1016/j.ajo.2025.05.033

9. Información complementaria

Tabla 1.

Estructura de la encuesta a la población escolar de Totana.

Sección/dimensión	**Variable / pregunta evaluada**	**Formato de escala / Opciones de respuesta**
Sección 1: Datos generales y perfil	**Sexo biológico del encuestado**	-Hombre -Mujer
	Rango de edad	-12-18 años -19-27 años -28-42 años - >43 años
	Antecedentes y condiciones oculares previas	-Diagnóstico médico previo de EOS -Uso de lentes de contacto -Uso habitual de gotas -Ninguna
	Uso diario de pantallas	-Sí (Ir a sección 2) -No (Ir a Sección 3)
Sección 2: Exposición digital y sintomatología	**Tiempo diario de exposición a pantallas**	-2 horas -4 horas -6 horas -8 horas o más

	Sintomatología percibida tras la exposición a las pantallas	**Opción múltiple:** -Sequedad -Picor o ardor -Irritación -Lagrimeo -Necesidad de parpadear -Sensibilidad a la luz -Cansancio ocular -Visión borrosa -Ninguna
Sección 3: Autoevaluación clínica (en la última semana) y tratamiento	**Frecuencia de síntomas clínicos** (evaluación de la recurrencia de 5 síntomas clave: irritación o sequedad, lagrimeo, ardor, visión borrosa y sensibilidad a la luz)	**Escala de frecuencia (Likert):** -Nunca -Muy pocas veces -A menudo -Siempre
	Intensidad de síntomas clínicos (mismos 5 síntomas anteriores)	**Escala de severidad:** -No lo he experimentado -Molesto -Insoportable
	Tratamiento	**Selección múltiple:** -Consulta en internet (YouTube, Instagram, Tiktok…) -Parpadeo repetido -Revisión en centros ópticos y oftalmológicos -Uso de lágrimas artificiales, geles, pomadas o emulsiones

Nota. Realización propia.

Tabla 2.
Estructura de la encuesta a las ópticas y centros oftalmológicos de Totana.

Sección	**Indicador**	**Tipo de respuesta u opciones**
Contexto	**Volumen promedio de pacientes mensuales atendidos**	**Rango:** -0-20 -20-50 -50-100 -Más de 100
Sección 1: Epidemiología local e diagnóstico	**Estimación mensual de pacientes con EOS previo**	**Escala:** -1-3 -3-5 -5-10 -Más de 10 personas
	Percepción de incremento temporal de la patología	**Cualitativa abierta (presencia de aumento y fecha estimada)**
	Diagnósticos en clínica de EOS en el último mes	**Escala:** -1-3 -3-5 -5-10

		-Más de 10 personas
Sección 2: Factores de riesgo y perfil sociodemográfico	**Rango de edad de mayor prevalencia en consulta**	- <12 años -12-18 años -19-27 años -28-42 años - >43 años
	Incidencia según sexo biológico	-Mayoritariamente hombres -Mayoritariamente mujeres
	Correlación entre uso prolongado de pantallas y EOS	-Sí -No.
	Otras causas y perfiles clínicos de riesgo	**Opción múltiple:** -Exposición ambiental -Cambios hormonales -Fármacos (ác. valproico, anticolinérgicos) -Uso de lentes de contacto -Patologías sistémicas (Sjögren, diabetes, rosácea) -Postquirúrgicos (cataratas) -Otro:
Sección 3: Abordaje Terapéutico	**Tratamientos más recomendados**	**Selección múltiple:** -Educación visual y parpadeo consciente -Oclusión de puntos lagrimales -Luz pulsada -Lágrimas artificiales -Geles y pomadas lubricantes -Antiinflamatorios, inmunomoduladores, tetraciclinas y secretagogos -Suplementación con Omega-3 -Otro:

Nota. Realización propia.

IES RUIZ DE ALDA

EL REVOLUCIONARIO JABÓN DEL FUTURO

AUTOR: ANTONIO BROCAL GABALDÓN

TUTOR: JUAN LUIS CÁNOVAS PÉREZ

1° BACHILLERATO DE INVESTIGACIÓN

CURSO ACADEMICO: 2025-2026

Índice

Índice....2
Resumen....3
1. Introducción....4
2. Antecedentes....4
3. Hipótesis y objetivos de la investigación....5
4. Reacción de saponificación....5
5. Materiales y métodos....6
5.1 Jabones realizados....6
5.1.1 Primer Jabón....6
5.1.2 Segundo jabón....6
5.1.3 Tercer jabón....6
5.2 Obtención de los aromas....7
5. Resultados....7
5.1 Primer jabón....7
5.2 Segundo jabón....7
5.3 Tercer jabón....8
6. Conclusiones....9
7. Agradecimientos....10
8. Bibliografía y webgrafía....11

Resumen

Este trabajo estudia la química del jabón desde su creación hasta la elaboración artesanal actual. La investigación se centra principalmente en la reacción de saponificación, reacción en la que una grasa reacciona con una base y produce sales de ácidos grasos que conocemos como jabón y también obtenemos como otro producto la glicerina. También estudiamos los distintos tipos de aditivos como aceites esenciales, antioxidantes y materiales exfoliantes naturales, estudiando su efecto esperado en el jabón y la piel, además de su posible relación con las características finales que obtendrá el jabón.

En la parte experimental se elaboraron tres jabones mediante el método en frío y en caliente. Se observaron el pH, la capacidad espumante, textura, estabilidad del aroma, oxidación y capacidad exfoliante. El primer jabón fue elaborado mediante el proceso en frío, mostró una mejora del pH durante la curación y presentó oxidación por un fallo de envasado. El segundo fue elaborado en caliente con esencia de romero y hueso de jibia, presentó buena espuma, aroma conservado y efecto exfoliante pero una mala textura debido al método caliente. El tercero, elaborado en frío con esencia de azahar y ácido cítrico, mostró buena exfoliación, pero perdió parte de su aroma y presentó menor capacidad espumante.

Los resultados permiten analizar aspectos que deberán mejorarse en futuras formulaciones, especialmente la estabilidad del aroma, la oxidación y la capacidad espumante.

Palabras clave:

Jabón; saponificación; hidróxido de sodio; agua destilada; aceite de oliva; aditivos; grasa; pH; exfoliante; proceso en frío; proceso en caliente; hidrólisis; antioxidantes.

1. Introducción

La investigación parte del estudio de la reacción de saponificación al completo y de la evolución histórica de este hasta la actualidad.
A partir de esta base se analizan diferentes aditivos, como aceites esenciales, antioxidantes y sustancias exfoliantes, con la finalidad de comprender qué función pueden desempeñar en una formulación, así como las propiedades que este aporta o la capacidad exfoliante, la fuerza del aroma… Además el trabajo también compara los procesos de elaboración en frío y en caliente y considera las diferencias entre jabones sólidos y líquidos.

Por otro lado, la parte experimental permite aplicar estos conocimientos a la práctica mediante la elaboración de tres jabones. En ellos se observaron variables como el pH, capacidad espumante, textura/consistencia, aroma, oxidación y capacidad exfoliante.
De esta manera, el proyecto no se limita a describir sólo la química del jabón, sino que utiliza la experimentación para identificar problemas de formulación y plantear soluciones a esos problemas.

2. Antecedentes

Para conseguir entender el estado de la cuestión hay que situarse el origen del jabón en las primeras civilizaciones, Mesopotamia y Egipto, donde el principal resto histórico que quedan son las tablillas de arcilla que describen mezclas grasas de origen animal que poseían la capacidad de limpiar (American Cleaning Institute. 2019). Utilizaban recetas antiguas elaboradas a partir de aceites o grasas y sustancias alcalinas. Con el paso del tiempo, estas técnicas evolucionaron y se mejoraron en el Mediterráneo, el mundo islámico y posteriormente en Europa, hasta llegar a una escala de producción industrial.

En el mundo mediterráneo, el cuidado corporal tuvo relación durante siglos con el uso de agua, aceites, aromas y preparaciones limpiadoras pero principalmente relacionado con la religión. Además durante la Edad Media y especialmente en ciudades del área islámica como Alepo y Damasco, la fabricación artesanal consiguió un gran desarrollo. Además más tarde, durante el Renacimiento, los talleres europeos y los gremios contribuyeron a organizar la producción y a perfeccionar las recetas elaboradas.

La Revolución Industrial supuso un gran avance importante tanto para permitir una producción a escala industrial como para implementar la utilización de sosa cáustica, descubierta por Nicolas Leblanc (Sakkaravarthi, V. 2022). En siglos posteriores aparecieron nuevas presentaciones, fórmulas, fragancias y aditivos. En la actualidad, además de la función limpiadora, la población se pregunta por la sostenibilidad, la reducción de envases plásticos y la utilización de ingredientes verdes(origen vegetal).
Gracias al desarrollo continuo durante tantos años pude dar un punto de partida para el desarrollo de este proyecto.

3. Hipótesis y objetivos de la investigación

Como punto de partida para este trabajo planteamos la hipótesis de que las propiedades finales del jabón no dependen solo de la reacción de saponificación, en la que se utilizan los siguientes ingredientes como el aceite, el agua y la sosa cáustica, sino que también afectan a esta los ingredientes utilizados, y también el proceso de elaboración a utilizar. En nuestro caso, hemos utilizado hueso de jibia, romero, azahar y ácido cítrico, con el mero objetivo de estudiar cómo influyen en características finales como podrían ser la textura, la dureza, el aroma, la capacidad espumante y la estabilidad del jabón.

Por otro lado, partimos de la idea de que las personas con afecciones cutáneas, como dermatitis atópica o la rosácea, estas pueden necesitar unos productos de higiene adaptados a las condiciones que sus pieles requieren. Por ello, nosotros queremos investigar qué ingredientes, aditivos y métodos podrían resultar más beneficiosos para estas pieles y así estudiar la posibilidad de elaborar un jabón artesanal con ingredientes principalmente naturales, además de un coste económico reducido y unas propiedades que favorezcan una buena limpieza y una limpieza suave como ese tipo de pieles requiere. Nuestra hipótesis es que mediante los ingredientes adecuados y el control del proceso de fabricación, se pueden obtener jabones con distintas propiedades y encontrar recetas que puedan ser aptas y beneficiosas para estos tipos de pieles sensibles.

Como objetivo principal propongo el siguiente: analizar la química del jabón y estudiar teóricamente y experimentalmente cómo diferentes procesos y aditivos influyen en las características de jabones.

Como objetivos específicos propongo los siguientes: estudiar la historia y la evolución del jabón, como segundo investigar la función esperada de diferentes aditivos, como aceites esenciales, antioxidantes y exfoliantes, también comparar los procesos de saponificación en frío y en caliente, elaborar unos jabones de gran calidad y observar sus características y por último escribo los objetivos más complicados de mi trabajo son, elaborar jabones aptos para pieles sensibles, atópicas o enfermedades faciales y utilizar ingredientes y materiales naturales, que permitan reducir el impacto ambiental que causan los jabones convencionales.

4. Reacción de saponificación

Desde el punto de vista químico, la saponificación se define como la hidrólisis de un éster en un medio básico (Wikipedia. 2025, 4 de junio). Los triglicéridos están formados por glicerol unido a tres ácidos grasos (triglicéridos). En presencia de una base fuerte, como NaOH o KOH, se rompen los enlaces de los ésteres y se forman sales que forman lo que llamamos jabón, mientras que el glicerol queda como otro producto de la reacción, este también es llamado glicerina. (Patiño Jaramillo et al., 2022; Ruiz Hidalgo, 2008).

El índice de saponificación es un parámetro químico que permite relacionar la cantidad necesaria de base para saponificar completamente un gramo de grasa o aceite (YesWeLab. 2024, 31 de octubre). Su conocimiento es útil para formular correctamente las recetas a utilizar para su fabricación y evitando así tanto un exceso de álcali como una cantidad insuficiente permitiendo así confirmar que no será irritante o que no cumplirá con su función.

Nuestra investigación también se centra en estudiar los aditivos y las diferentes funciones que estos llevan a cabo en el jabón. Los antioxidantes como dicen su nombre ayudan a retrasar o evitar la oxidación, los aceites esenciales aportan aroma, y algunos materiales pueden aportar un efecto exfoliante (principalmente el hueso de jibia que fue utilizado en el proyecto).

Por tanto el estado de la cuestión del trabajo muestra que las propiedades de un jabón no dependen únicamente de la reacción de saponificación. La elección del aceite, la base, el proceso a utilizar, el curado, el almacenamiento y los aditivos pueden influir en la dureza, la espuma, el aroma, la estabilidad y la textura.

5. Materiales y métodos

Para los ensayos se utilizaron principalmente los siguientes materiales: aceite de oliva, agua destilada e hidróxido de sodio (sosa cáustica). En las recetas se verá una evolución de materiales, así observamos una evolución de calidad, con aditivos como esencia de romero, esencia de azahar, hueso de jibia preparado como material exfoliante y ácido cítrico.

Para la obtención de los aromas se utilizó un sistema de destilación de elaboración propia. También se emplearon moldes, recipientes, utensilios de mezcla, agitador magnético para líquidos y un utensilio tan cotidiano como una batidora para la elaboración de la mezcla de todos los aditivos.

5.1 Jabones realizados.

5.1.1 Primer Jabón

El primer jabón se elaboró mediante proceso en frío con 746 gramos de aceite de oliva, 136 gramos de agua destilada y 104 gramos de sosa cáustica. Este es muy similar a la antigua receta llamada “jabón de Alepo” pero sin la utilización de laurel. Tras alcanzar el punto de traza que es el punto que nos indica el punto idóneo para verter la mezcla, por tanto la mezcla se colocó en un molde y se dejó curar. Se realizaron observaciones continuas de la evolución del pH durante la curación y se registró la aparición de zonas oxidadas.

5.1.2 *Segundo jabón*

El segundo jabón se elaboró mediante proceso en caliente a diferencia del otro. Se emplearon 250 gramos de aceite, 81,25 gramos de agua y 33,5 gramos de sosa cáustica, además aceites esenciales como romero y exfoliantes como el hueso de jibia previamente preparado y triturado para evitar demasiada exfoliación en la piel y evitar la destrucción de la piel. La mezcla se llevó posteriormente a calentamiento y agitación antes de introducirla en el molde. El fallo fue dejarlo tanto tiempo (150 ºC durante una hora o hora y media) en el fuego ya que se evaporó más agua de la necesaria y tuvimos dificultades para introducirlo al molde y tambien que acumuó burbujas, el lado positivo es que estos jabones se curan en 24h por lo que al día siguiente se podía usar con normalidad. Después desmoldamos tomamos pH y salia un pH idóneo para su uso.

5.1.3 *Tercer jabón*

Para el tercer jabón se siguió de nuevo el proceso en frío. La receta a utilizar fue la siguiente: 373 g de aceite de oliva, 68 g de agua destilada, 52 g de sosa cáustica, esencia de azahar y aproximadamente 11,19 g de ácido cítrico, equivalente al 3 % de la masa de grasa. La mezcla se dejó curar durante aproximadamente 30 días y posteriormente se valoraron su capacidad espumante, aroma, exfoliación y aspecto. Los resultados de este jabón son los que más nos van a llevar a mejorar la receta ya que investigué en profundidad los fallos y tengo los medios para resolverlos en próximas recetas.

5.2 Obtención de los aromas

El proyecto consta también con una extracción de aromas a través del método de destilación de aromas a partir de romero y azahar. En el caso del romero se observó que el agua permitía una extracción menor y posteriormente se recurrió al hexano debido a la regla de semejante disuelve a semejante, al ser el hexano no polar y la mayor parte del romero también no polar se cumple la regla y por tanto obtenemos mayor cantidad de aroma con el hexano que con el agua
El hueso de jibia utilizado como exfoliante fue hervido previamente, lavado, secado y triturado para reducir el riesgo de microorganismos en él y evitar romper la capa superficial de piel para así obtener partículas más pequeñas capaces de ser utilizadas en el jabón.

En el proyecto se llevó mucha seguridad y precaución, así que la sosa cáustica fue tratada como un reactivo peligroso y se siguió la regla indicada en el trabajo de añadir la sosa al agua, nunca al contrario ya que podría ser muy peligroso y explosivo.

El procedimiento se realizó bajo un control de temperatura y siempre en lo posible en una campana de extracción para evitar la inhalación de gases tóxicos emitidos por la sosa cáustica.

El trabajo señala además que los jabones en proceso de curación no deben utilizarse de forma habitual antes de completar el periodo previsto ya que los restos de sosa todavía no curados podrían interactuar con tu piel dañando o causando irritación. Y la última precaución y seguimiento que hemos llevado ha sido el pH ya que es el que nos indica el momento exacto para usarlo, suele estar en torno a un 8.

5. Resultados

5.1 Primer jabón

Tras desmoldar y esperar el periodo de curación se observó una disminución del pH desde un valor inicial cercano a 9 hasta aproximadamente 8 en la segunda medición.
El jabón presentó buena capacidad espumante, pero durante la curación apareció una zona oxidada que se relacionó en el trabajo con un problema de envasado y falta de aditivos antioxidantes.

La comparación entre la zona oxidada y la zona no oxidada mostró diferencias en el estado de curación. Hubo una diferencia y es que la parte oxidada se vió levemente retrasada su curación dando un pH más alcalino, he de aclarar que este jabón se realizó con la técnica en frío por lo que su acabado y textura final fue mucho más liso y suave.

5.2 Segundo jabón

La receta fue idéntica a la primera pero en esta se utilizó como aditivos esencia de romero y hueso de jibia, todo esto utilizando el método en caliente, lo que dió como resultado un jabón con buena capacidad espumante y efecto exfoliante, quizás demasiado exfoliante pero cumple con la función.

El aroma a romero se conservó después del proceso y no se observó degradación del olor durante su estudio.. El pH registrado fue aproximadamente 8.

Durante la elaboración, apareció un problema de evaporación de agua y endurecimiento rápido de la mezcla debido al calentamiento elevado, lo que provocó que el agua se evaporara y quedará más duro a la hora de introducirlo al molde y quizás de ahí la mayor parte de efecto exfoliante

5.3 Tercer jabón

Este jabón se realizó con la técnica en frió para conseguir ese acabado liso y perfecto, los aditivos fueron los mismos que los del segundo jabón, excepto a este le eliminamos el hueso de jibia por completo y le introducimos en vez de romero, esencia de azahar y ácido cítrico para evitar la oxidación del jabón, que era un problema que teníamos en el primer jabón, después de realizarlo tocó esperar 30 días de curación y se obtuvo un jabón con buena capacidad exfoliante.
Sin embargo, el aroma de azahar se fue degradando y perdió intensidad. La capacidad espumante fue menor y en ocasiones la espuma presentó una textura viscosa no deseada.

También se observó un cambio de color hacia un marrón claro en algunas zonas lo que quieres indicar una posible falta de más ácido cítrico

La investigación permitió comprobar que pequeñas modificaciones en la receta y procedimiento pueden acompañarse de diferencias notables en el jabón final.
Los resultados obtenidos son útiles como punto de partida para futuras pruebas en las que se controlen mejor variables como la temperatura, la cantidad de agua, la conservación, la cantidad de aditivo y el tiempo de curación.

6. Conclusiones

El trabajo ha permitido estudiar la química del jabón desde una perspectiva histórica, teórica y experimental. El estudio realizado muestra que la saponificación constituye la base química de la elaboración de jabones y que los aditivos determinan la mayor parte de las características finales de este.

La experimentación permitió comparar procesos en frío y en caliente y observar diferencias en el comportamiento de los productos pudiendo así mejorar continuamente nuestras recetas y jabones.

El primer jabón mostró una evolución del pH y un problema de oxidación asociado al envasado. El segundo presentó buena espuma, aroma conservado y capacidad exfoliante, aunque el calentamiento elevado provocó evaporación de agua y dificultades de moldeado. El tercero presentó buena exfoliación, pero menor estabilidad del aroma y menor capacidad espumante.

Entre las principales mejoras futuras se encuentran el control más preciso de las temperaturas, el estudio de antioxidantes para reducir la oxidación, la optimización de los aromatizantes y la realización de pruebas de espuma y textura.

Finalmente, me gustaría destacar los objetivos cumplidos, los cuales principalmente son el estudio y comparación de los jabones en frío y en caliente, analizado su impacto en la piel de los jabones fabricados, en este caso no afecta a nuestra piel ni causan irritación, también hemos estudiado los tipos de aditivos utilizados en jabones. Me hubiera gustado realizar más objetivos pero algunos necesitan un mayor tiempo debido a la dificultad y no hemos podido dedicar ese tiempo en este curso escolar.

7. Agradecimientos

Para concluir este proyecto me gustaría agradecer a todas las personas que han ayudado en el proceso de elaboración, en especial a mi tutor del proyecto Juan Luis Cánovas Pérez, por hacer que este proyecto haya sido posible, también por realizar un excelente trabajo como profesor y coordinador de investigación, por animarme y motivarme siempre a dar lo mejor de mí, y también por todos estos buenos momentos en el laboratorio que se quedaran por siempre en nuestra memoria. Para continuar toca agradecer a Antonio Garrigós Escudero por ayudarnos en toda la parte formal del trabajo, por resolver todas las dudas siempre con buena cara, y por acompañarnos en este camino y proceso. Por otro lado he de agradecer a mis compañeros que han sido como mi segunda familia y por último agradecer a toda mi familia por ayudarme en todo lo posible, también por aconsejarme correctamente y escuchar los temas que abarca mi proyecto y por mostrar interés en mi trabajo, para finalizar, gracias por la motivación que me aportan todos cada día para continuar con mí camino y mostrar lo mejor de mí

8. Referencias bibliográficas

Abud, L., & León, F. (2004). *El libro de jabones*. Editorial Albatros. https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=114MNmTwxOYC

American Cleaning Institute. (2019). *Soaps & detergents: History*. https://www.cleaninginstitute.org/understanding-products/why-clean/soaps-detergents-history?utm_source=

Castañeda Narváez, J. L., & Hernández Orozco, H. G. (2016). *Lavado (higiene) de manos con agua y jabón*. Acta Pediátrica de México, 37(6), 355–357. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0186-23912016000600355&script=sci_arttext

Centro de Educación Ambiental Casa de Campo. (2020). *Historia del jabón: De la antigüedad al siglo XXI*. https://diario.madrid.es/cieacasadecampo/wp-content/uploads/sites/61/2020/03/Anexo-1-Historia-del-Jab%C3%B3n.pdf

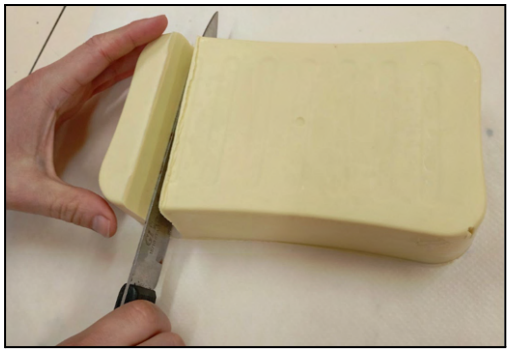
Sakkaravarthi, V. (2022). *History of soap*. *CosmoDerma, 2*, 133. https://cosmoderma.org/history-of-soap/?utm_source

Wikipedia. (2025, 4 de junio). *Saponificación*. Wikipedia. [en línea] <https://es.wikipedia.org/wiki/Saponificaci%C3%B3n#:~:text=Saponificaci%C3%B3n%20es%20el%20nombre%20del,diglic%C3%A9rido%2C%20con%20hidr%C3%B3xido%20de%20potasio.

YesWeLab. (2024, 31 de octubre). *Determinación del valor de saponificación en laboratorio.* [mensaje en un blog]. https://blog.yeswelab.fr/es/plantas-cosmeticas/indice-de-saponificacion-de-laboratorio/

Información adicional

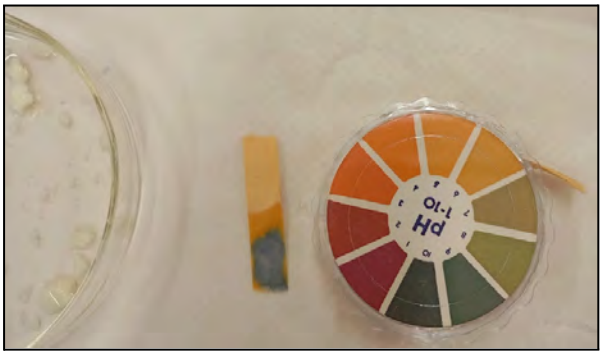
Figura 1



Primer jabón fabricado.

Nota. Elaboración propia.

Figura 2



Primera toma de pH.

Nota. Elaboración propia.

Figura 3

Capacidad espumante del primer jabón.

Nota. Elaboración propia.

Figura 4

Sistema de destilación para la extracción de romero.

Nota. Elaboración propia.

Figura 5

Hueso de jibia (exfoliante).

Nota. Elaboración propia.

Figura 6

Segundo jabón realizado mediante el método en caliente.

Nota. Elaboración propia.

Figura 7

Capacidad espumante del segundo jabón.

Nota. Elaboración propia.

Figura 8

Tercer jabón fabricado con el método en frío.

Nota. Elaboración propia.

Análisis y desarrollo de estrategias favorables a la mitigación del aumento de temperatura.

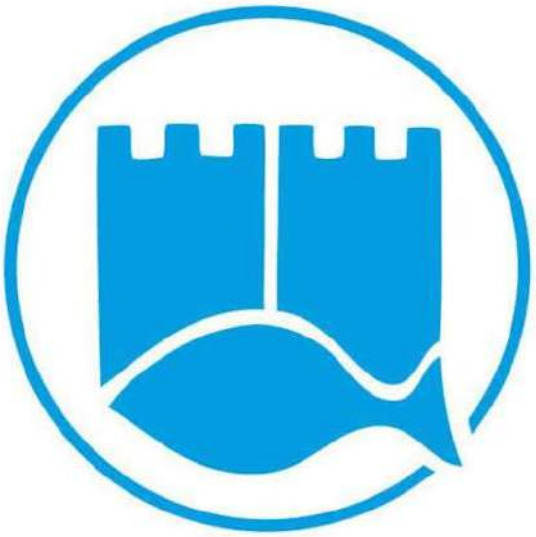
Nicolás Pareja Merino

IES Ruiz de Alda

Proyecto de Tecnología

Tutor: David López Sánchez

Curso académico: 2025/26



Índice

Resúmen: **3**
1. Introducción **4**
2. Antecedentes **4**
3. Hipótesis **4**
3.1 Contexto 4
3.2 Consecuencias 5
3.3 Objetivos 5
4. Materiales y métodos **6**
4.1. Propuesta de modelo de evaluación térmica del arbolado urbano 6
4.1.1 Planteamiento de la fundamentación del índice y sus respectivas fórmulas 6
4.1.2 Alcance e interpretación del IETUA 8
4.1.3 El IETUA en Práctica 8
4.2 Introducción al material ideal 8
4.2.1 Uso de geopolímeros 9
4.2.2 Implementación de áridos ligeros 9
4.2.3 Refuerzo con fibras 9
4.2.4 Porosidad y materiales celulares 10
5. Resultados **10**
5.1 Resultados del índice 10
5.2 Resultados del material ideal 11
6. Conclusiones **11**
7. Agradecimientos **11**
8. Bibliografía **11**

Resúmen:

Este trabajo analiza diferentes estrategias para reducir el calentamiento de los entornos urbanos, combinando conocimientos de biología, ingeniería de materiales y tecnología. El estudio parte del análisis del calentamiento global y de fenómenos como la isla de calor urbana, planteando soluciones sostenibles aplicables a las ciudades.

Por un lado, se desarrolla el Índice de Eficiencia Térmica Urbana del Arbolado (IETUA), creado para comparar 25 especies arbóreas presentes en España según siete características físicas y fisiológicas relacionadas con el enfriamiento urbano. Mediante su normalización y agrupación en tres subíndices, se obtiene un valor entre 0 y 10 para cada especie, permitiendo establecer una comparación común y una primera referencia sobre su posible contribución al enfriamiento urbano. Estos resultados podrán contrastarse en futuros estudios con mediciones reales.

Por otro lado, se plantea un nuevo bloque constructivo destinado a superficies urbanas, basado en la combinación de geopolímeros, áridos ligeros, fibras y porosidad, buscando un equilibrio entre resistencia, ligereza y aislamiento térmico. Durante la fase experimental se desarrollaron tres modelos con diferentes proporciones de materiales. Sus propiedades físicas y mecánicas todavía deben ser comprobadas mediante ensayos de laboratorio.

En conjunto, el trabajo muestra el potencial de combinar diferentes disciplinas para desarrollar soluciones frente al calentamiento urbano y establece una base para futuras investigaciones.
Palabras clave: isla de calor urbana; vegetación urbana; enfriamiento urbano; materiales sostenibles; eficiencia térmica.

1. Introducción

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo analizar y proponer estrategias diversas pero eficaces vistas desde diferentes perspectivas de la ciencia, con el fin de reducir la temperatura y mejorar el confort térmico mediante el uso de vegetación y materiales sostenibles. La elección del tema se fundamenta tanto en el contexto actual de cambio climático y el fenómeno de la isla de calor urbana, como en la experiencia directa de las altas temperaturas a nivel local y regional, lo que motiva mi búsqueda de soluciones aplicables y sostenibles.

2. Antecedentes

En cuanto al estado de la cuestión, diversos estudios en los campos de la botánica y la ingeniería de materiales han demostrado la eficacia de soluciones naturales y tecnológicas para mitigar el aumento de la temperatura global. En parte, nos basamos en ellas para fundamentar nuestro trabajo, y de tal modo, mediante citas, hacerlas presentes a lo largo de nuestro desarrollo.
La metodología combina la revisión bibliográfica, el desarrollo teórico y práctico de soluciones sostenibles y posteriormente su comprobación técnica y matemática. Cabe recalcar que este trabajo se estructura en marco teórico, marco práctico y las conclusiones finales.

3. Hipótesis

3.1 Contexto

Durante estas últimas décadas, el aumento de la temperatura es un problema recurrente que se manifiesta de forma creciente y continua día a día, ya no solo por su importancia y relevancia que se les da en los medios de comunicación o en la comunidad científica, sino también por las graves consecuencias que tiene en la vida cotidiana.
Este se puede observar a través de representaciones gráficas y comparativas anuales elaboradas por diferentes plataformas de información ambiental. Además, diversos estudios científicos confirman que este crecimiento de la temperatura global es un fenómeno inequívoco que se ha intensificado especialmente desde mediados del siglo XX debido a ciertos fenómenos que marcan estos cambios bruscos (Agencia Estatal de Meteorología [AEMET], 2024) . Este problema se entiende fácilmente desde dos puntos de vista distintos, los cuales son la isla de calor y el calentamiento global.

La isla de calor es un fenómeno urbano en el que se explica porque hay zonas de la ciudad que presentan temperaturas más altas que sus alrededores rurales, esto se debe a la concentración de edificaciones y pavimentos, especialmente los que absorben grandes cantidades de calor, tráfico y actividad humana y por último, a la falta de vegetación entre otras tantas cosas, pero destacando la expansión urbana en general (datos.gob.es, 2025). Esto provoca una notable acumulación de calor y disminución de la ventilación natural, y por ello su relevancia se va consolidando a lo largo del tiempo.
El cambio climático

El cambio climático es la alteración significativa y sostenida del sistema climático en la Tierra, causada por factores naturales, pero principalmente, por la actividad humana como la quema de combustibles fósiles, la deforestación y la industrialización, entre otros (Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado [INTEF], s. f.). En su conjunto, genera fenómenos que afectan bruscamente a los ecosistemas, y dentro del cambio climático, se manifiesta el calentamiento global, fruto del aumento de la temperatura a escala planetaria.

El calentamiento global

El calentamiento global se refiere específicamente al aumento gradual de la temperatura promedio de la superficie terrestre, debido al incremento de gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono y el metano, los cuales dificultan la disipación del calor hacia el espacio (Gobierno de Canarias, 2026). Es un aspecto central del cambio climático y tiene consecuencias en cadena que nos afectan relativamente a todos los seres vivos y ecosistemas.

3.2 Consecuencias

Las consecuencias de la isla de calor urbana representan un desafío para la relación del ser humano con su entorno, especialmente dentro de las ciudades. Este fenómeno no solo provoca un aumento de las temperaturas, sino que también pone de manifiesto cómo la expansión urbana y la concentración de infraestructuras pueden afectar la salud de la población, incrementar el consumo de energía y modificar las condiciones ambientales locales. De este modo, la isla de calor evidencia la vulnerabilidad de las ciudades ante los efectos derivados de su propio desarrollo urbano. (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2026).

A una escala global, el cambio climático constituye un desafío de mayor alcance, ya que sus efectos se extienden más allá de los entornos urbanos y afectan a los ecosistemas y a las sociedades de todo el planeta. El aumento de fenómenos extremos, como olas de calor, sequías, inundaciones y huracanes, junto con la pérdida de biodiversidad, genera consecuencias sobre la seguridad alimentaria, la disponibilidad de agua y la estabilidad económica y social. Esta situación pone de manifiesto la necesidad de revisar los modelos actuales de producción, consumo y gestión de los recursos para reducir la presión sobre el medio ambiente. (OMS, 2021).

En su conjunto, estos fenómenos muestran que el impacto del ser humano no se limita a su entorno inmediato, sino que genera efectos en cadena que comprometen el futuro del planeta y la capacidad de las sociedades para adaptarse y prosperar, subrayando la urgencia de estrategias integrales de mitigación, adaptación y conciencia ambiental.

3.3 Objetivos

Ante el incumplimiento o la insuficiencia de algunas políticas frente al cambio climático, se evidencia que los compromisos formales no siempre se traducen en resultados suficientes y que las metas ambientales pueden retrasarse, dejando a las comunidades expuestas a los impactos crecientes del cambio climático. Por ello, se deberían plantear nuevas soluciones que complementen las medidas actuales. A raíz de esto, se proponen en este mismo trabajo nuevos planteamientos, como la siembra de árboles adaptados al contexto urbanístico, cuyas propiedades podrían contribuir a reducir las temperaturas en las ciudades. También se plantea el desarrollo de materiales mecánicamente resistentes con características como una baja capacidad calorífica y una baja inercia térmica, lo que permitiría disipar el calor rápidamente.

4. Materiales y métodos

4.1. Propuesta de modelo de evaluación térmica del arbolado urbano

A partir del análisis del almez (*Celtis australis*), se propone el Índice de Eficiencia Térmica Urbana del Arbolado (IETUA), diseñado para integrar diferentes características físicas y fisiológicas relacionadas con la capacidad del arbolado para contribuir al enfriamiento urbano. El índice se aplicará a 25 especies presentes en España, asignando a cada una un valor entre 0 y 10 que permitirá compararlas mediante los mismos criterios. De esta forma, se podrá establecer una valoración relativa de las especies según sus características térmicas, sin incorporar en esta fase factores relacionados con la adaptación de cada especie a las condiciones específicas de un lugar.

4.1.1 Planteamiento de la fundamentación del índice y sus respectivas fórmulas

El IETUA se fundamenta en la idea de que la capacidad de un árbol para contribuir a la reducción del calor urbano no depende de una única característica, sino de la combinación de diferentes propiedades físicas y fisiológicas. El arbolado urbano puede modificar las condiciones térmicas de su entorno principalmente mediante la generación de sombra, la evapotranspiración y la intercepción de la radiación solar por parte de su estructura vegetal, conceptos de los cuales ya hemos hablado anteriormente. Por este motivo, para comparar las distintas especies se han seleccionado siete variables que permiten representar estos mecanismos de una forma cuantificable.

El primer grupo de variables está relacionado con la sombra proporcionada por el árbol. En este grupo se incluyen el tamaño y la densidad de la copa. El tamaño de la copa permite aproximarse a la superficie que puede quedar protegida de la radiación solar directa, mientras que la densidad representa la cantidad de cobertura vegetal existente dentro de dicha copa. Por tanto, una especie con una copa amplia y densa tendrá, en principio, una mayor capacidad potencial para interceptar la radiación solar y generar sombra sobre el espacio urbano. Para representar conjuntamente estas dos características se calcula el subíndice de sombra mediante la media de sus respectivas puntuaciones normalizadas:

$$S = (C + D) / 2$$

Donde (C) representa la puntuación obtenida para el tamaño de copa y (D) la correspondiente a la densidad de la copa.

El segundo grupo corresponde a la evapotranspiración, uno de los principales mecanismos mediante los cuales la vegetación puede contribuir al enfriamiento del ambiente. Sin embargo, la capacidad de realizar este proceso está relacionada con la disponibilidad de agua. Por ello, además de la evapotranspiración potencial, se incorpora la tolerancia de la especie al déficit hídrico. De esta manera, no se considera únicamente cuánto puede contribuir una especie mediante la evapotranspiración, sino también su capacidad para mantener esta función cuando existe una menor disponibilidad de agua. El subíndice correspondiente se obtiene mediante:

$$ET = (E + T) / 2$$

donde (E) es la puntuación normalizada de evapotranspiración y (T) la puntuación correspondiente a la tolerancia hídrica.

El tercer grupo reúne variables relacionadas con la amortiguación térmica, relacionadas con la estructura foliar y la permanencia de la cobertura vegetal. En este caso se utilizan el índice de área foliar (LAI), la persistencia del follaje y el albedo foliar. El LAI permite relacionar la cantidad de superficie foliar existente con la superficie de suelo ocupada por el árbol, por lo que constituye una aproximación a la cantidad de hojas disponible para interceptar radiación y participar en la evapotranspiración. La persistencia del follaje permite considerar durante cuánto tiempo a lo largo del año se mantiene esta cobertura vegetal, mientras que el albedo representa la proporción de radiación solar que es reflejada por la superficie foliar. Estas tres variables se integran en un tercer subíndice:

A = (L + F + Al) / 3

donde (L) corresponde al LAI, (F) a la persistencia del follaje y (Al) al albedo, todos ellos expresados previamente en la escala común de 0 a 10.

Una vez seleccionadas las siete variables, surge un problema para poder compararlas, ya que cada una se expresa mediante unidades diferentes. El tamaño de copa se mide en metros, la evapotranspiración utiliza unidades relacionadas con la cantidad de agua transferida a la atmósfera, el LAI es una relación entre superficies y la persistencia del follaje se expresa en meses. Para evitar que una variable tenga mayor influencia simplemente por utilizar números más grandes, todos los valores se transforman a una escala común de 0 a 10.

La normalización se realiza tomando como referencia exclusivamente las 25 especies analizadas. Para cada criterio, la especie que presenta el valor más favorable obtiene una puntuación de 10, mientras que aquella que presenta el valor menos favorable obtiene una puntuación de 0. El resto de especies obtiene una puntuación proporcional a su posición entre ambos extremos. Para ello se emplea la siguiente expresión:

$P_i = 10 \times (x_i - x□_i□) / (x□_{ax} - x□_i□)$

donde (Pi) representa la puntuación normalizada de una especie, (xi) es su valor original para el criterio estudiado, (x{min}) es el valor mínimo encontrado entre las 25 especies y (x{max}) es el valor máximo. De esta manera, todos los criterios pasan a encontrarse en una escala homogénea de 0 a 10.

Finalmente, los tres subíndices obtenidos: sombra, evapotranspiración y amortiguación térmica, se combinan para obtener el valor final del Índice de Eficiencia Térmica Urbana del Arbolado (IETUA). En esta primera propuesta se concede el mismo peso a los tres mecanismos, por lo que el índice se calcula mediante su media:

IETUA = (S + ET + A) / 3

El resultado final se encuentra, por tanto, entre 0 y 10. Una puntuación elevada indica que, dentro del conjunto de especies estudiadas, la especie presenta una combinación más favorable de las características relacionadas con los mecanismos de enfriamiento considerados. Por el contrario, una puntuación más baja indica una menor capacidad relativa según las variables incluidas en el modelo

4.1.2 Alcance e interpretación del IETUA

Es importante señalar que el IETUA no pretende representar directamente una reducción concreta de temperatura en grados Celsius. El índice constituye una herramienta comparativa, diseñada para ordenar y comparar las características potencialmente favorables de diferentes especies frente al calor urbano. Por tanto, una especie con un IETUA elevado no debe interpretarse automáticamente como la especie más adecuada para plantar en cualquier ciudad o espacio concreto.

Esta última consideración es especialmente importante porque la capacidad térmica de una especie y su capacidad de adaptación a un determinado lugar son cuestiones diferentes. Una especie puede presentar características muy favorables desde el punto de vista del enfriamiento y, sin embargo, puede no ser adecuada para determinadas condiciones de clima, suelo, disponibilidad de agua o espacio urbano. Por ello, el IETUA se plantea como una primera herramienta de evaluación térmica, que podría complementarse posteriormente con un segundo sistema destinado a valorar la adaptación de cada especie a las condiciones concretas del lugar donde se pretende realizar la plantación.

4.1.3 El IETUA en Práctica

(Los siguientes textos van acompañados de las tablas correspondientes de elaboración propia situadas al final del trabajo.)

Una vez definido el IETUA y establecidos los criterios que lo componen, se procedió a su aplicación sobre las 25 especies arbóreas seleccionadas. Para cada especie se recopiló información relativa a las siete variables incluidas en el modelo: tamaño de copa, densidad de copa, evapotranspiración, tolerancia al déficit hídrico, índice de área foliar (LAI), persistencia del follaje y albedo foliar. A partir de los datos y características descritos en las distintas fuentes consultadas se establecieron valores estimados para cada variable, mediante la comparación de la información disponible y, cuando fue necesario, el cálculo de medias entre los valores encontrados. Por tanto, los valores empleados en el modelo no corresponden necesariamente a un único dato proporcionado por una fuente concreta, sino que constituyen estimaciones elaboradas a partir de la información recopilada para cada especie. Estos valores se organizaron posteriormente en una tabla común, manteniendo para cada criterio una misma unidad o escala de referencia.

A partir de estos valores estimados se llevó a cabo el procesamiento de los datos siguiendo la metodología establecida para el IETUA. En primer lugar, los valores de cada variable fueron transformados a la escala común de 0 a 10 mediante el procedimiento de normalización definido anteriormente. Posteriormente, las puntuaciones obtenidas se utilizaron para calcular los subíndices correspondientes a la sombra, la evapotranspiración y la amortiguación térmica, a partir de los cuales se obtuvo finalmente el valor del IETUA para cada una de las 25 especies.

4.2 Introducción al material ideal

Por otro lado, se plantea el diseño teórico de un nuevo bloque constructivo destinado a superficies urbanas como calles, pavimentos y edificaciones, con el objetivo de reducir la acumulación de calor producida por la radiación solar. Para ello, se propone modificar sus propiedades mediante la combinación de **geopolímeros, áridos ligeros, fibras y porosidad**, buscando un equilibrio entre resistencia, ligereza y aislamiento térmico.

4.2.1 Uso de geopolímeros

Los geopolímeros representan una posible alternativa al cemento Portland tradicional. Se obtienen mediante la activación alcalina de materiales ricos en sílice y alúmina, como determinadas cenizas volantes o escorias industriales. Su estructura es diferente a la del cemento convencional, por lo que pueden presentar propiedades mecánicas y térmicas interesantes para el desarrollo de nuevos materiales de construcción.

Una de sus principales ventajas es su menor impacto ambiental, ya que su fabricación puede generar menos emisiones de dióxido de carbono que la producción tradicional de cemento Portland. Además, sus características pueden favorecer un comportamiento térmico diferente, algo interesante cuando el objetivo es reducir la acumulación de calor en las superficies urbanas.

Los geopolímeros también pueden ofrecer una buena resistencia a la compresión y una elevada durabilidad, por lo que pueden utilizarse como base estructural del bloque. Sin embargo, todavía existen algunas dificultades para extender su utilización, como la variabilidad de las materias primas y la falta de una estandarización completa. Por ello, en este proyecto se plantean principalmente como una base sobre la que combinar otras tecnologías, en lugar de considerarlos una solución completa por sí mismos. (Segura Sierpe, 2016)

4.2.2 Implementación de áridos ligeros

Otra de las posibilidades consiste en utilizar áridos ligeros, como la perlita expandida, la vermiculita o la arcilla expandida. Estos materiales presentan una densidad inferior a la de los áridos convencionales debido a la presencia de pequeños espacios de aire en su estructura. Esta característica permite reducir el peso del bloque y, al mismo tiempo, mejorar su capacidad de aislamiento térmico.

El aire presente en estos materiales funciona como un aislante, dificultando la transmisión del calor. Por esta razón, los hormigones fabricados con áridos ligeros pueden presentar un comportamiento térmico más favorable que los hormigones convencionales. Además, al tener una menor densidad, pueden almacenar una menor cantidad de energía térmica y favorecer un enfriamiento más rápido cuando disminuye la temperatura exterior.

Otra ventaja importante es la reducción del peso estructural, que puede facilitar el transporte y la manipulación de los bloques y disminuir las cargas que deben soportar las estructuras. Sin embargo, existe un inconveniente: al reducir la densidad también puede disminuir la resistencia mecánica. Por ello, será necesario encontrar una proporción adecuada de áridos ligeros que permita mejorar el aislamiento sin comprometer demasiado la resistencia del material. (Universidad Politécnica de Madrid, s. f.)

4.2.3 Refuerzo con fibras

El refuerzo con fibras se plantea como una solución para mejorar las propiedades mecánicas del bloque. El hormigón convencional presenta una buena resistencia a la compresión, pero es más débil frente a esfuerzos de tracción y puede desarrollar grietas. Las fibras permiten mejorar este comportamiento al actuar como pequeños refuerzos distribuidos por el interior del material.

Estas fibras pueden ser minerales, sintéticas o incluso naturales. Su función principal es controlar la aparición y propagación de grietas, aumentando la resistencia y la durabilidad del bloque. Además, las

fibras permiten compensar en cierta medida la posible pérdida de resistencia provocada por el uso de áridos ligeros y por la introducción de porosidad.

El empleo de fibras naturales, como las obtenidas del coco o del yute, también puede aportar una ventaja desde el punto de vista de la sostenibilidad, ya que proceden de recursos renovables. Sin embargo, presentan algunos inconvenientes relacionados con su durabilidad, especialmente cuando están expuestas a humedad o a procesos de degradación. Por este motivo, sería necesario estudiar su tratamiento y la cantidad adecuada que debería incorporarse al material. (Martín Sendra, 2020)

4.2.4 Porosidad y materiales celulares

Finalmente, la porosidad es uno de los elementos más importantes de la propuesta, ya que permite introducir pequeñas cantidades de aire en el interior del bloque. Este principio se utiliza en materiales como los hormigones celulares o espumados. El aire actúa como aislante y dificulta la transmisión del calor a través del material.

Una estructura con una cantidad adecuada de poros puede reducir tanto la conductividad térmica como la capacidad del material para almacenar calor. Esto podría contribuir a conseguir superficies urbanas que alcancen temperaturas más bajas durante los periodos de mayor radiación solar y que se enfríen con mayor facilidad posteriormente.

Sin embargo, aumentar demasiado la porosidad puede tener consecuencias negativas. Una cantidad excesiva de huecos puede reducir considerablemente la resistencia mecánica y afectar a la durabilidad del bloque. Por ello, uno de los principales retos del proyecto sería encontrar un equilibrio entre aislamiento térmico y resistencia estructural. También sería necesario controlar el tamaño y la distribución de los poros para conseguir que estén repartidos de manera uniforme.

En este proyecto, la utilización de agentes espumantes sencillos permitiría estudiar de forma experimental cómo influye la porosidad en las propiedades del bloque. Aunque este procedimiento sería más básico que los utilizados en procesos industriales, podría servir como primera aproximación para analizar el comportamiento del material. (Chica & Alzate, 2022)

5. Resultados

5.1 Resultados del índice

La aplicación del índice a las 25 especies ha permitido obtener un valor concreto para cada una, facilitando su comparación bajo los mismos criterios. De este modo, los resultados permiten identificar qué especies presentan valores más favorables según las variables térmicas consideradas y establecer una primera referencia sobre su posible contribución al enfriamiento urbano.

Estos resultados también proporcionan una base para futuros estudios en los que los valores obtenidos puedan contrastarse con mediciones reales de temperatura y enfriamiento. Asimismo, el índice podría ampliarse posteriormente incorporando las condiciones climáticas de cada lugar para valorar qué especies pueden resultar más adecuadas en diferentes entornos.

5.2 Resultados del material ideal

Durante la fase experimental se desarrollaron tres modelos diferentes del bloque, cada uno con una proporción distinta de los materiales seleccionados. La finalidad de esta variación fue estudiar posteriormente cómo la composición del bloque puede influir en sus propiedades físicas, térmicas y mecánicas.

Al tratarse de un bloque de nueva propuesta, sus prestaciones todavía no han podido ser comprobadas experimentalmente. Actualmente, los tres modelos se encuentran pendientes de ser sometidos a ensayos de caracterización física y mecánica en laboratorio, mediante los cuales se podrá determinar su resistencia y otras propiedades relevantes.

Por tanto, los resultados obtenidos hasta este momento son principalmente de carácter experimental y teórico, y no permiten afirmar todavía que uno de los modelos presente un comportamiento superior a los demás. No obstante, las características de los materiales empleados y la combinación de sus propiedades hacen que los modelos desarrollados presenten un potencial interesante, que deberá ser confirmado mediante los ensayos de laboratorio.

6. Conclusiones

En conclusión, los resultados obtenidos muestran cómo la combinación de distintas disciplinas, como la ingeniería de materiales, la biología y la tecnología en general, puede contribuir al desarrollo de nuevas soluciones frente a problemas que afectan a las ciudades y a la sociedad. Tanto el desarrollo del bloque como la elaboración del índice de valoración del arbolado representan dos aproximaciones diferentes a un mismo objetivo, el cual es encontrar formas de reducir los efectos del calentamiento de los entornos urbanos.

Aunque algunas de las propuestas desarrolladas todavía requieren una validación experimental, los resultados obtenidos permiten establecer una base sobre la que continuar investigando y perfeccionando estas soluciones. Esto demuestra la importancia de combinar conocimientos de diferentes ámbitos para abordar problemas complejos y desarrollar alternativas que puedan contribuir, a largo plazo, a construir entornos urbanos más preparados frente al aumento de las temperaturas.

7. Agradecimientos

Quiero agradecer especialmente a mis tutores, David López Sánchez, Ana Villena Mota y Antonio Garrigós Escudero, por su constancia, perseverancia e interés durante la realización de este trabajo. Gracias por vuestra ayuda, por orientarme cuando lo he necesitado y por acompañarme durante todo el proceso, contribuyendo a que pudiera desarrollar y llevar adelante este proyecto. También quiero agradecer a mi familia, por el apoyo y la motivación que me han dado día a día, por confiar en mí y por acompañarme durante todo este proceso.

8. Bibliografía

Chica, L. M., & Alzate, A. L. (2022). Propiedades de las pastas espumadas endurecidas con agentes espumantes alternativos en función de la porosidad. Revista Ingeniería de Construcción, 37(2), 242–252. https://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-50732022000200242&script=sci_abstract
Martín Sendra, A. (2020). Estudio comparativo de fibras naturales para reforzar hormigón. Universitat Politècnica de València. https://riunet.upv.es/handle/10251/160345

Segura Sierpe, Y. P. (2016). Reutilización de residuos de construcción en la fabricación de conglomerantes de activación alcalina. Tesis doctoral, Universitat Politècnica de València. RiuNet. https://aplicat.upv.es/exploraupv/ficha-tesis/tesis/10006
Universidad Politécnica de Madrid. (s. f.). Investigación sobre materiales aligerados y sus aplicaciones. Universidad Politécnica de Madrid. https://www.upm.es/investigacion/?fmt=detail&id=d0c88460c8d32610VgnVCM10000009c7648a____&prefmt=articulo
Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. (2023). Informe sobre la Brecha de Emisiones 2023. https://www.unep.org/interactives/emissions-gap-report/2023/es/
Organización Mundial de la Salud. (2026, 31 de julio). Calor y salud. https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-heat-and-health
Organización Mundial de la Salud. (2021, 30 de octubre). Cambio climático. https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health
ONU Cambio Climático. (s. f.). ¿Qué es el Protocolo de Kyoto? https://www.un.org/es/climatechange/all-about-ndcs
ONU Cambio Climático. (s. f.). ¿Qué es el Acuerdo de París? https://unfccc.int/es/most-requested/que-es-el-acuerdo-de-paris
Naciones Unidas. (s. f.). Todo sobre las CDN. https://www.un.org/es/climatechange/all-about-ndcs
Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado. (s. f.). ¿El clima está cambiando? Ministerio de Educación, Formación Profesional y Deportes. https://descargas.intef.es/recursos_educativos/It_didac/Geo_Hist_ESO/1/04/03_Cambio_climatico/el_clima_est_cambiando.html
Gobierno de Canarias. (2026). Calentamiento global. Consejería de Transición Ecológica y Energía. https://www.gobiernodecanarias.org/cambioclimatico/materias/que-es-cambio-climatico/calentamiento-global/
datos.gob.es. (2025, 9 de julio). Islas de calor urbanas: cómo los datos abiertos geoespaciales pueden hacer que nuestras ciudades sean más resilientes. https://datos.gob.es/es/blog/islas-de-calor-urbanas-como-los-datos-abiertos-geoespaciales-pueden-hacer-que-nuestras-ciudades
Agencia Estatal de Meteorología. (2024, 12 de enero). 2023: Un año extremadamente cálido y muy seco. Gobierno de España. https://www.aemet.es/es/noticias/2024/01/resumen_anual_2023
Universidad de Sevilla. (s. f.). Información sobre sombra. Unidad de Medio Ambiente. https://smantenimiento.us.es/uma/info_sombra.php
University of Nebraska–Lincoln. (s. f.). Transpiración - ¿Qué y por qué? https://passel2.unl.edu/view/lesson/d08b772bc7e4/3
Promesse de Fleurs. (2025). Vegetalizar para refrescar el aire ambiente. https://www.promessedefleurs.es/consejos-plantas-jardin/fichaconsejos/vegetalizar-para-refrescar-el-aire-ambiente/
Comunidad de Madrid. (2025). Arbolado urbano. Comunidad de Madrid. https://www.comunidad.madrid/medio-ambiente/arbolado-urbano
Diputación de Pontevedra. (s. f.). Especie vexetal - Almez. Diputación de Pontevedra. https://www.depo.gal/es/-/especie-vexetal-lodoeiro
Ayuntamiento de Zaragoza. (s. f.). Almez. Ayuntamiento de Zaragoza. https://zaragoza.es/sede/portal/medioambiente/elbosquedeloszaragozanos/plantas/almez
Kattge, J., Díaz, S., Lavorel, S., Prentice, I. C., Leadley, P., Bönisch, G., Garnier, E., Westoby, M., Reich, P. B., Wright, I. J., Cornelissen, J. H. C., Violle, C., et al. (2011). TRY – A global database of plant traits. Global Change Biology, 17(9), 2905–2935. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02451.x

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (s. f.). Mapa Forestal de España. https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/index_mapa_forestal.html
Rahman, M. A., Stratopoulos, L. M. F., Moser-Reischl, A., Zölch, T., Häberle, K.-H., Rötzer, T., Pretzsch, H., & Pauleit, S. (2020). Traits of trees for cooling urban heat islands: A meta-analysis. Building and Environment, 170, 106606. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106606
TRY Plant Trait Database. (s. f.). TRY Plant Trait Database. https://www.try-db.org/
Yin, Y., Li, S., Xing, X., Zhou, X., Kang, Y., Hu, Q., & Li, Y. (2024). Cooling benefits of urban tree canopy: A systematic review. Sustainability, 16(12), 4955. https://doi.org/10.3390/su16124955

Especie	Copa (m)	Densidad (%)	ET (mm/día)	Tol. hídrica (1–5)	LAI (m²/m²)	Follaje (meses/año)	Albedo (0–1)
Platanus × hispanica	14	85	4,5	3	5,5	7	0,23
Celtis australis	12	75	4	4	4,5	8	0,24
Morus alba	10	80	4,2	3	4,8	7	0,24
Sophora japonica	12	80	4,3	4	5	7	0,25
Koelreuteria paniculata	8	70	3,5	4	4	7	0,27
Fraxinus angustifolia	11	75	4,5	3	5	7	0,24
Ulmus minor	12	80	4,2	4	5	7	0,24
Populus alba	12	75	5	2	5,5	7	0,29
Salix alba	14	85	5,5	1	6	7	0,24
Tilia platyphyllos	10	85	5	2	5,5	7	0,23
Acer pseudoplatanus	12	85	4,5	2	5,5	7	0,24
Robinia pseudoacacia	11	70	4	4	4,5	7	0,25
Quercus ilex	10	90	3	5	4,5	12	0,24
Quercus suber	11	85	3,2	4	4,5	12	0,25
Quercus faginea	10	80	3,2	4	4,5	9	0,25
Quercus pyrenaica	10	75	3,5	3	4,5	8	0,25
Ceratonia siliqua	10	85	2,8	5	4	12	0,24
Olea europaea	8	65	2,5	5	3	12	0,28
Pinus pinea	12	75	2,8	5	3,5	12	0,26
Pinus halepensis	9	65	2,5	5	2,8	12	0,25
Pinus nigra	9	75	2,7	4	3,5	12	0,24
Pinus sylvestris	8	70	3	3	3,5	12	0,24
Cupressus	6	80	2,2	5	3	12	0,23

sempervirens							
Eucalyptus camaldulensis	10	80	4,5	4	5	12	0,24
Brachychiton populneus	8	75	3	5	4	12	0,26

Fuente: Elaboración propia a partir de datos científicos y estimaciones obtenidas de las fuentes citadas en el trabajo.

	Copa	**Densidad**	**ET**	**Tol. hídrica**	**LAI**	**Follaje**	**Albedo**	**Sombra**	**Evapotranspiración**	**Amortiguación**	**IETUA**
Platanus × hispanica	10	8	6,97	5	8,44	0	0	9	5,985	2,813	5,933
Celtis australis	7,5	4	5,45	7,5	5,31	2	1,67	5,75	6,475	2,993	5,073
Morus alba	5	6	6,06	5	6,25	0	1,67	5,5	5,53	2,64	4,557
Sophora japonica	7,5	6	6,36	7,5	6,88	0	3,33	6,75	6,93	3,403	5,694
Koelreuteria paniculata	2,5	2	3,94	7,5	3,75	0	6,67	2,25	5,72	3,473	3,814
Fraxinus angustifolia	6,25	4	6,97	5	6,88	0	1,67	5,125	5,985	2,85	4,653
Ulmus minor	7,5	6	6,06	7,5	6,88	0	1,67	6,75	6,78	2,85	5,46
Populus alba	7,5	4	8,48	2,5	8,44	0	10	5,75	5,49	6,147	5,796
Salix alba	10	8	10	0	10	0	1,67	9	5	3,89	5,963
Tilia platyphyllos	5	8	8,48	2,5	8,44	0	0	6,5	5,49	2,813	4,934
Acer pseudoplatanus	7,5	8	6,97	2,5	8,44	0	1,67	7,75	4,735	3,37	5,285

Robinia pseudo acacia	6,25	2	5,45	7,5	5,31	0	3,33	4,125	6,475	2,88	4,493
Quercu s ilex	5	10	2,42	10	5,31	10	1,67	7,5	6,21	5,66	6,457
Quercu s suber	6,25	8	3,03	7,5	5,31	10	3,33	7,125	5,265	6,213	6,201
Quercu s faginea	5	6	3,03	7,5	5,31	4	3,33	5,5	5,265	4,213	4,993
Quercu s pyrenai ca	5	4	3,94	5	5,31	2	3,33	4,5	4,47	3,547	4,172
Ceraton ia siliqua	5	8	1,82	10	3,75	10	1,67	6,5	5,91	5,14	5,85
Olea europae a	2,5	0	0,91	10	0,63	10	8,33	1,25	5,455	6,32	4,342
Pinus pinea	7,5	4	1,82	10	2,19	10	5	5,75	5,91	5,73	5,797
Pinus halepen sis	3,75	0	0,91	10	0	10	3,33	1,875	5,455	4,443	3,924
Pinus nigra	3,75	4	1,52	7,5	2,19	10	1,67	3,875	4,51	4,62	4,335
Pinus sylvestri s	2,5	2	2,42	5	2,19	10	1,67	2,25	3,71	4,62	3,527
Cupress us semper virens	0	6	0	10	0,63	10	0	3	5	3,543	3,848
Eucalyp tus camald ulensis	5	6	6,97	7,5	6,88	10	1,67	5,5	7,235	6,183	6,306
Brachyc hiton populne us	2,5	4	2,42	10	3,75	10	5	3,25	6,21	6,25	5,237

Fuente: Elaboración propia de datos a partir de las fórmulas explicadas anteriormente en este mismo trabajo.

Figura 1. “Ingredientes” del material. Fotografía: realización propia.

Figura 2. Resultado final del material. Fotografía: realización propia.

Figura 3. Proceso de mezclado del material. Fotografía: realización propia

Figura 4. El material en estado húmedo tras haber sido colocado en los moldes. Fotografía: realización propia.